

Géoarchéologie des ports antiques du Liban

Le littoral phénicien témoigne d'une riche histoire d'interactions entre les sociétés et leur environnement, remontant au III^e millénaire avant Jésus-Christ. Fondés sur des promontoires littoraux facilement défendables, Beyrouth, Sidon et Tyr furent des centres privilégiés de culture phénicienne, perse, hellénistique, romaine et arabe. En dépit de leur passé maritime glorieux, attesté par de riches découvertes archéologiques, l'évolution de ces trois cités demeurerait, encore de nos jours, énigmatique. Où se localisent les ports antiques de Beyrouth, Sidon et Tyr ? Comment les paysages littoraux ont-ils évolué depuis l'Antiquité ? Est-ce que Tyr fut véritablement une île ? Comment Alexandre le Grand réussit-il à surmonter l'armée tyrienne pour prendre cette 'ville dans la mer' ?

Grâce à une étude pluridisciplinaire, au croisement des géosciences, de l'archéologie, de l'histoire et de la biologie marine, Nick Marriner propose des réponses en analysant et en interprétant les archives sédimentaires de ces trois sites. L'auteur démontre notamment que les bassins portuaires antiques représentent des archives incomparables du passé, se prêtant particulièrement bien à l'analyse de nombreuses questions environnementales et culturelles, à des échelles géographiques et historiques variées.

Lauréat 2007 du prix de thèse Roland Paskoff / EUCC-France / Fondation Procter & Gamble



Nick Marriner est docteur en géographie physique et diplômé des universités de Durham, Londres et Aix-Marseille I. Il est actuellement chargé de recherche au CNRS, au sein du laboratoire du CEREGE (UMR 6635), à Aix-en-Provence. Spécialiste de la géoarchéologie des ports antiques méditerranéens, il est notamment l'auteur de nombreuses publications scientifiques sur les sites de Beyrouth, Sidon et Tyr. Ses travaux actuels portent sur la géomorphologie à l'Holocène en Méditerranée et dans l'océan Indien.



ISBN : 978-2-296-09927-2

Nick Marriner

Géoarchéologie des ports antiques du Liban



Bibliothèque d'Antiquité d'Aix

01 00000000373

naturels et sociétés
des géographes

L'Harmattan

Chapitre 1

Géoarchéologie des ports antiques de Méditerranée

1.1 Introduction

Les ports antiques furent pendant longtemps un objet d'étude privilégié de l'archéologie classique (Grenier, 1934), se focalisant sur l'étude de l'infrastructure portuaire et l'analyse du commerce maritime (Rougé, 1966 ; Foerster Laures, 1986). Traditionnellement, la reconstitution géographique des anciens sites reposait sur les textes anciens de Strabon et Ptolémée (Ardaillon, 1896). Au début des années 1980, des fouilles pluridisciplinaires débutèrent à Césarée Maritime (Israël) et Marseille (France). Elles visaient à dépasser ces rigidités méthodologiques et à donner la priorité aux unités archéologiques, à plusieurs échelles spatio-temporelles (Raban, 1985a ; Hesnard, 1994 ; Raban et Holum, 1996 ; Hermary *et al.*, 1999 ; Rothé et Tréziny, 2005). En effet, plusieurs disciplines (archéologie, histoire, géologie, géomorphologie et biologie) travaillèrent en collaboration pour produire des données complètes des deux sites. Une avancée importante fut l'utilisation des archives sédimentaires pour compléter la démarche archéologique (Reinhardt *et al.*, 1994 ; Reinhardt et Raban, 1999 ; Morhange *et al.*, 2001, 2003a). Il fut démontré que les sédiments portuaires antiques constituaient de riches séquences chronologiques des impacts anthropiques, qui permettaient de comprendre les interactions Homme-environnement au cours de l'Antiquité. Malgré cette « révolution » géoarchéologique, aucune publication n'a encore dressé une vue d'ensemble qui puisse être utile aux spécialistes des sciences de la Terre et aux archéologues de l'environnement (Goiran et Morhange, 2003).

1.2 Une brève histoire des recherches

1.2.1 Recherche sur les ports antiques en archéologie

1.2.1 Premiers voyageurs et savants (du 17^{ème} au 19^{ème} siècle)

Alors que l'archéologie maritime précède à peine l'invention des équipements de plongée sous-marine au début du 20^{ème} siècle, l'intérêt pour les

ports antiques de Méditerranée est un champ d'investigation vieux de plusieurs siècles, remontant à la Renaissance. Le renouveau des classiques à cette époque fit que le grand tour de l'Italie et de la Grèce était un important rite de passage pour de jeunes aristocrates qui cherchaient une inspiration dans l'architecture et l'archéologie des grands sites classiques de l'Antiquité (Bourguet *et al.*, 1998 ; Horden et Purcell, 2000). Pendant ce temps, au Proche-Orient, des pèlerins en route vers la Terre Sainte décrivaient les paysages de nombreux sites de la côte levantine (Pococke, Volney *etc.*).

Bien qu'intéressants du point de vue historiographique, ces premiers travaux étaient dominés par une rêverie spéculative dépourvue de démarche scientifique systématique. De nombreux auteurs tentèrent de représenter graphiquement les topographies portuaires des écrits classiques (e.g. la reconstitution au 16^{ème} siècle de Portus dans *Civitates Orbis Terrarum* de Braun et Hogenberg, volume IV, 1588). Ce premier corpus d'études influença la recherche scolastique pendant les siècles suivants et une vision idéalisée de nombreux ports continua à être produite avec peu de variations (voir Paroli, 2005 pour Portus). Bien que ces représentations de la littérature aient conduit à des résultats fragiles, ils témoignent, néanmoins, de la curiosité que suscitaient les ports antiques.

Beaucoup de voyageurs du début du 16^{ème} jusqu'au 18^{ème} siècle furent intrigués par la petite taille des bassins portuaires antiques, un fait paraissant énigmatique par rapport à leur gloire maritime passée. Par exemple, Maundrell (1703) ne peut s'empêcher de cacher la déception de son séjour à Tyr : « *This city, standing in the sea upon a peninsula, promises at a distance something very magnificent. But when you come to it, you find no similitude of that glory, for which it was so renowned in ancient times* ». Volney (1792) accentue encore plus les mots de son prédécesseur : « *Where are those fleets of Tyre, those dock-yards of Arad, those work-shops of Sidon, and that multitude of sailors, of pilots, of merchants, and of soldiers? [...] I sought the ancient inhabitants and their works, and found nothing but a trace, like the foot-prints of a traveller over the sand. The temples are fallen, the palaces overthrown, the ports filled up, the cities destroyed; and the earth, stripped of inhabitants, has become a place of sepulchres* ». Un siècle plus tard, Renan reprenait les mots de ses homologues : « *I think that no other first order city of antiquity has left behind as few traces as Tyre* ».

Pendant le 19^{ème} siècle, une transition est observée entre de simples descriptions paysagistes vers l'utilisation de techniques scientifiques plus rigoureuses. Le colonialisme et la lutte pour la suprématie culturelle donnèrent lieu à d'importants travaux archéologiques et géographiques. L'ambitieuse expédition militaire de Napoléon en Égypte (1798-1801) incarne ce nouveau courant scientifique. La campagne militaire elle-même fut une débâcle, mais Napoléon avait emmené avec lui 167 savants d'envergure, mathématiciens, astronomes, naturalistes, ingénieurs, architectes, dessinateurs, et hommes de

lettres. Leur tâche était d'étudier ce pays sous tous ses aspects et elle a conduit, une vingtaine d'années plus tard, à la publication monumentale de la *Description de l'Égypte*.

Après la chute de Napoléon 1^{er}, les Français cherchèrent à écarter l'influence grandissante de la Grande-Bretagne en Méditerranée à travers la culture et la science. En 1846, l'*Ecole française d'Athènes*, la première école de recherche archéologique, fut créée en Grèce et engendra une école annexe, l'*Ecole française de Rome*, devenue autonome en 1875. L'institut archéologique allemand fut fondé en 1871. Ces deux écoles furent précédées à Rome par une réalisation commune franco-germanique, l'*Institut de correspondance archéologique* (1829), dont le but était de publier les nouvelles découvertes archéologiques du pourtour méditerranéen dans le journal de l'institution. A Rome, ce modèle a été suivi par d'autres nations européennes et nord-américaines.

En plus des écoles archéologiques, un certain nombre de sociétés géographiques, dont la *Royal Geographical Society*, le *Palestine Exploration Fund* et la Société de Géographie de Paris, sont également apparues à cette époque. L'archéologie était perçue comme une prouesse et un moyen de montrer sa force politique, et se trouvait au centre des mouvements coloniaux de l'Angleterre, de la France et de l'Allemagne. Les travaux encyclopédiques qui en résultèrent, ainsi que le cadre institutionnel qui les accompagnaient, sont des exemples typiques du passage vers la recherche précise dans tous les domaines des sciences naturelles et de l'archéologie. En ce qui concerne l'archéologie côtière, les travaux les plus importants de cette période comprennent les œuvres de Renan (1864), El-Falaki (1872), Ardaillon (1896) et Georgiades (1907). De façon significative, c'est à cette époque que beaucoup d'érudits commencèrent à faire le parallèle entre la progradation côtière et l'envasement portuaire pour expliquer les dimensions réduites de beaucoup de bassins portuaires antiques, notamment Renan à Tyr (1864) et Canina à Ostie (1830).

1.2.1.2 Les débuts de l'archéologie sous-marine

Alors que l'archéologie sous-marine en était à son tout début vers 1850, lorsque les bas niveaux des lacs suisses mettaient à jour des gisements archéologiques, ce ne fut pas avant le début du 20^{ème} siècle que la technologie de la plongée sous-marine obtint ses premiers résultats concrets (Keller, 1854 ; Desor et Favre, 1874 ; Paret, 1958 ; Dumont, 2006). En dépit d'appareils de respiration rudimentaires et encombrants, les découvertes d'épaves à Antikythera (1900-1) et Madhia (1908-13) furent des premières archéologiques (Pomey et Rieth, 2005). Vers la même époque, des chercheurs entreprirent le recensement systématique de structures portuaires submergées (Negris, 1904a-b ; Jondet, 1916 ; Paris, 1916 ; Halliday Saville, 1941). En 1923, Lehmann-

Hartleben établit une des premières études complètes qui firent autorité sur l'infrastructure des ports antiques en Méditerranée.

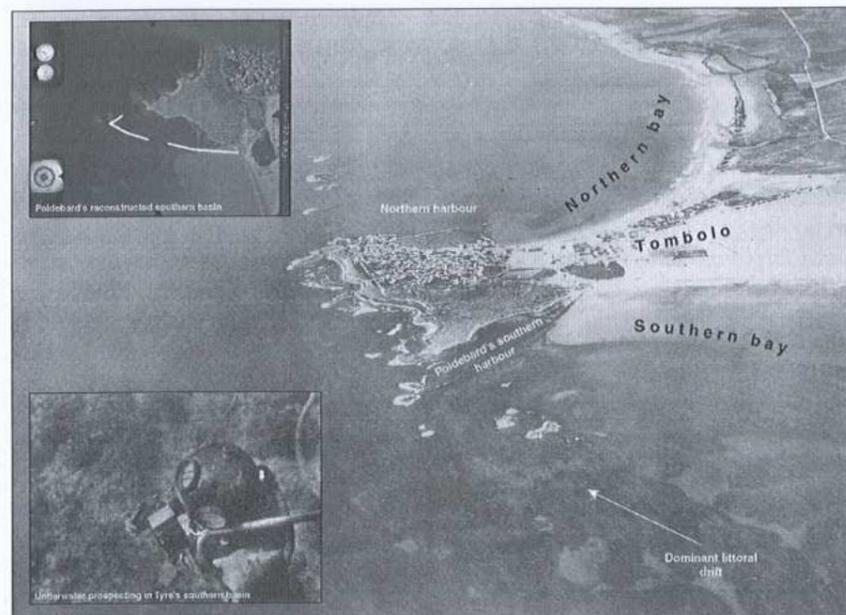


Figure 1.1 : Antoine Poidebard fut un des pionniers de l'archéologie sous-marine. Il allia la photographie aérienne et la prospection sous-marine pour proposer la localisation d'un certain nombre de ports phéniciens. Cette photographie aérienne représente la péninsule de Tyr. Poidebard identifia une série d'ouvrages portuaires sur le flanc sud de l'île antique. Des recherches récentes indiquent que cette zone est un quartier urbain englouti, qui sombra dans la mer pendant l'époque romaine tardive (Photographies de Poidebard [1939] et Denise et Nordiguan [2004]).

Dans les années 1930, Poidebard s'est montré innovateur en transposant les techniques de photographie aérienne, qu'il avait développées en travaillant sur les chaux syriennes, au contexte maritime de la côte phénicienne (Poidebard, 1939 ; Poidebard et Lauffrey, 1951). Comme l'archéologue britannique Crawford (1886-1957), qui avait préconisé l'utilisation des photographies aériennes en archéologie, Poidebard allia la reconnaissance aérienne avec la plongée sous-marine pour proposer des reconstitutions portuaires de nombreuses cités-Etats phéniciennes (Nordiguan et Salles, 2000 ; Viret, 2000 ; Denise et Nordiguan, 2004 ; **Figure 1.1**). L'avion, symbole de la modernité des années 1920, ouvrit de nouvelles pistes de recherche en archéologie et Poidebard fut un pionnier dans le développement d'une méthodologie rigoureuse. En se basant sur les rapports de scaphandriers, il explora et

cartographia un nombre important de sites côtiers dont Arwad, Sidon, Tyr et Carthage. Bien qu'un certain nombre de ses découvertes se soient avérées depuis lors erronées (Frost, 1971 ; El Amouri *et al.*, 2005) son travail a posé les fondements de l'archéologie maritime que nous connaissons aujourd'hui. Ses archives (reconnaissance aérienne, cartographie et photographie sous-marine) sont d'autant plus importantes pour les chercheurs actuels travaillant dans ces régions que les constructions récentes ont entraîné la destruction de nombreux vestiges (Marriner et Morhange, 2005a).

1.2.1.3 La période d'après-guerre

L'invention du scaphandre autonome révolutionna l'archéologie sous-marine après 1945, suscitant ainsi plus de recherche sur les épaves. Au fil des décennies suivantes, des sites d'épaves antiques ont été localisés le long des côtes de France et d'Italie (Pomey et Rieth, 2005). Un groupe minoritaire de chercheurs a continué à s'intéresser aux ports et à leur infrastructures, notamment à Apollonia en Libye (Flemming, 1961, 1965, 1971), Athlit en Israël (Linder, 1967), Carthage en Tunisie (Yorke et Little, 1975 ; Yorke, 1976 ; Yorke *et al.*, 1976), Cosa (Lewis, 1973 ; McCann, 1979 ; McCann *et al.*, 1987), Pyrgi (Oleson, 1977) et Portus en Italie (Testaguzza, 1964), Phaselis en Turquie (Blackman, 1973a), Kenchreai (Scranton et Ramage, 1967) et Porto Cheli en Grèce (Jameson, 1973), ainsi que les ports antiques d'Israël (Galili *et al.*, 2002). Des archéologues sous-marins, comme Honor Frost, contribuaient également au développement des techniques d'exploration sous-marine durant les années 1960 et 1970 (Frost, 1964, 1966, 1971, 1973). Mettant l'accent sur des observations et relevés précis, ses travaux continuent à jouer un rôle important dans l'histoire de l'exploration archéologique en Phénicie (Frost, 2000a-b, 2002a-b, 2004, 2005).

Durant les décennies récentes, les avancées de l'archéologie côtière peuvent être attribuées à l'apparition de nouveaux outils (Leveau, 2005). Par exemple, la photographie aérienne, le scaphandre autonome, la robotique sous-marine, les progrès de la datation et de la géochimie ont tous participé à la révolution des approches traditionnelles.

1.2.2 Histoire de la géoarchéologie portuaire

En bien des manières, la géologie et l'archéologie ont joué un rôle complémentaire. La stratigraphie et les archives sédimentaires ont influencé l'archéologie depuis la fin du 19^{ème} siècle. En dépit de documents écrits, les chercheurs en préhistoire se sont tournés vers les sciences de la Terre pour essayer de comprendre les interactions entre l'Homme et son milieu. Par le même biais, l'archéologie a longtemps été utilisée pour dater des archives sédimentaires pléistocènes (Bridgland, 2000). Dans le domaine côtier, ce fut

notamment les changements du niveau relatif de la mer qui ont tout spécialement retenu l'attention des premiers chercheurs. Durant le 19^{ème} siècle, les chercheurs commencèrent à reconnaître l'importance de la mobilité des paysages, ce qui allait à contre-courant des théories fixistes et catastrophistes ayant dominé la pensée des siècles précédents (Desjardins, 1876). Lyell (1830), par exemple, était intrigué par des bioperforations marines qu'il observait sur les colonnes du marché romain de Pouzzoles ; il en déduisit, de façon ingénieuse, leur potentiel comme marqueur des changements du niveau marin depuis l'Antiquité. Comme l'attestent les ruines submergées de Portus Julius à Pouzzoles, cet endroit, qui se situe au centre d'une caldera active, a été soumis à des modifications rapides du niveau relatif de la mer pendant les deux derniers millénaires (Morhange *et al.*, 2006a).

Lyell opina que la seule façon de comprendre le passé était de supposer que les processus de modification terrestre qui se déroulent dans le présent eurent aussi lieu dans le passé (Ager, 1989, 1995). Pour clairement illustrer sa doctrine actualiste, Lyell utilisa les trois colonnes de Pouzzoles comme frontispice de ses *Principles of Geology* (1830). Le dernier texte de Lyell, *Geological Evidence of the Antiquity of Man* (Lyell, 1863), fut une manifestation encore plus transparente de la réciprocité entre les deux disciplines.

L'existence de vestiges submergés en Crète est connue depuis le 17^{ème} siècle, mais ce ne fut qu'en 1865 que Spratt publia son étude des déformations littorales de l'île (Spratt, 1865). Non seulement Spratt identifia et mesura l'altitude du trait de côte antique dans plusieurs secteurs autour de l'île, mais il fut également le premier à comprendre, sur la base de ses observations à Phalasarna, que le soulèvement de la partie ouest de l'île datait de la période historique. En 1869, Raulin, ayant traduit l'étude de Spratt, postula que l'île avait subi un soulèvement de sa façade ouest en même temps qu'une subsidence de son côté est (Raulin, 1869).

Au début du 20^{ème} siècle, un débat sur les vestiges submergés de Méditerranée orientale (Délès, Leucade, Egine, etc.) opposa le grec Negris (1903a-b, 1904a-b) à l'influent géologue français Cayeux (1907, 1914). Pour Negris, des submersions de l'ordre du mètre, telles que celles observées à Alexandrie (Egypte), ne devaient pas être mises en relation avec des phénomènes locaux mais plutôt à une élévation du niveau marin affectant tout le bassin méditerranéen (Negris, 1921). Cayeux, d'un autre côté, grandement influencé par les postulats fixistes de son maître Suess, affirma que le niveau « global » de la Méditerranée n'avait pas varié significativement depuis l'Antiquité. A Délès, Negris et Cayeux identifièrent des exemples archéologiques de fixité et d'instabilité du niveau marin, et Cayeux interpréta des structures immergées comme étant le résultat de tassement sédimentaire local. Ce dernier ignorait l'exemple bien documenté du port soulevé de Phalasarna (Crète occidentale), refusant de concéder la possibilité de changements du niveau marin à l'échelle locale depuis l'Antiquité. La

conclusion de Cayeux est un bon exemple de rigidité scientifique résultant de la défense d'une théorie préétablie. Ce débat subsista jusqu'aux années 1950, lorsque les progrès de la datation radiométrique apportèrent de plus grandes précisions chronologiques.

Dans les années 1970, des chercheurs comme Flemming (1969, 1971, 1978) et Blackman (1973b, 2005), reprirent la recherche sur les ports antiques, et notamment l'étude des changements relatifs de la mer, comme aide pour comprendre la submersion des sites littoraux. A cette même époque, Schmiedt (1972) utilisa des *fish ponds* romains pour restituer avec précision le changement du niveau marin tyrrhénien durant les 2000 dernières années. Dans le sillage de Poidebard, il croisa ces données avec des photographies aériennes pour proposer des reconstitutions paléogéographiques de nombreux sites portuaires de la côte italienne (Schmiedt, 1970, 1975 ; Acquaro, 1988). Ces recherches « géocentriques », influencées par les enquêtes paléo-environnementales, ont servi d'importants précurseurs à la géoarchéologie des ports antiques telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui. Cette dernière tire son origine de deux programmes de recherche qui ont débuté dans les années 1990: le premier à Marseille, en France et le second à Césarée, en Israël. Bien que la géoarchéologie ne fût pas une notion nouvelle, elle fut rarement appliquée au riche contexte sédimentaire et archéologique des ports antiques. A Césarée, Reinhardt *et al.* (1994, 1998) et Reinhardt et Raban (1999) entreprirent des recherches géochimiques et micropaléontologiques pour enquêter sur l'histoire romaine du port. Autour de la même période, Hesnard (1994), Morhange (1994) et Morhange *et al.* (2001, 2003a) étudièrent de grandes coupes stratigraphiques pour élucider l'histoire du port gréco-romain de Marseille (en l'occurrence, l'élévation relative du niveau marin, la progradation côtière, l'ensablement rapide) et les impacts d'origine anthropique depuis l'Antiquité (Figure 1.2).

L'histoire des géosciences comme outil de compréhension archéologique est nulle part mieux documentée qu'à Marseille où les travaux de construction sur le Vieux Port ont révélé de larges étendues de vases portuaires antiques depuis le 19^{ème} siècle (Vasseur, 1911, 1914). Des interprétations spéculatives, dépourvues de toute analyse sur site ou en laboratoire, ont été produites dans le passé. En effet, beaucoup d'anciens auteurs confondaient déformation côtière et changement relatif du niveau marin (Vasseur, 1914 ; Bouchayer, 1931 ; Duprat, 1935). Ce ne fut pas avant la Seconde guerre mondiale qu'une équipe pluridisciplinaire vit le jour, avec un quatuor de chercheurs comprenant Benoît (un archéologue), Gouvernet (un sédimentologue), Mars (un malacologue) et Molinier (un botaniste). Bien que la plus grande partie de leur travail n'ait jamais été publiée, Gouvernet étudia la formation des plages autour du port antique de Marseille (Gouvernet, 1948). Malgré les difficultés auxquelles ils firent face, notamment la présence de la nappe phréatique et l'absence de mesures chronologiques précises, cette équipe fut l'une des premières à reconnaître l'importance des archives sédimentaires pour reconstituer les

paléoenvironnements portuaires (Morhange, 2001). Dans les années 1960 et 1970, de nouvelles fouilles conduisirent à la découverte majeure de quais romains bien que la recherche fût déparée par le fixisme et une absence notable de travaux paléoenvironnementaux (à l'exception de l'article de Pirazzoli et Thommeret en 1973, dans lequel ils décrivent et datent des bioindicateurs fixés sur les structures portuaires). Des fouilles pluridisciplinaires débutèrent dans les années 90 pour pallier ces lacunes (Hesnard, 2004a-b).

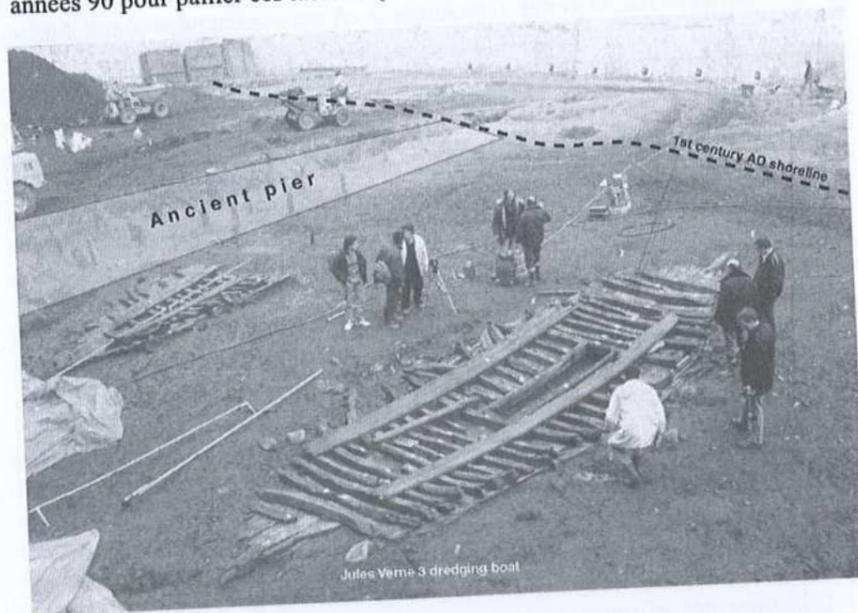


Figure 1.2 : Jules Verne 3, un bateau-drague romain mis au jour dans le port antique de Marseille. Le navire date du 1^{er} ou 2^{ème} siècle après J.-C. Le puit de dragage central mesure 255 cm par 50 cm. La coque en bois a été préservée par les vases portuaires (Photographie : Morhange).

A partir de ces premiers travaux, la géoarchéologie littorale permet de mieux comprendre l'évolution des bassins portuaires antiques (e.g. Kition-Bamboula, Morhange *et al.*, 2000 ; Alexandrie ad Aegyptum, Goiran, 2001, Stanley et Bernasconi, 2006 ; Tyr, Marriner *et al.*, 2005 ; Sidon, Marriner *et al.*, 2006a-b). Ces études démontrent l'intérêt d'étudier ces archives sédimentaires très riches, permettant de reconstituer l'histoire de l'occupation humaine, les impacts anthropiques, les catastrophes naturelles ainsi que la mobilité tectonique locale (Neev *et al.*, 1987).

A une échelle plus large, la recherche sur les systèmes deltaïques est aussi un important domaine d'étude pour comprendre les changements côtiers d'origine anthropique, initiée notamment par des chercheurs comme Kraft et

Rapp dès les années 1970. Ce travail s'est principalement porté sur la recherche géomorphologique intégrant des couches archéologiques ; il a été qualifié de *archaeological geology* par Rapp et Hill (1998). Bien qu'il y ait un grand chevauchement entre les deux, ces travaux peuvent être séparés en deux écoles distinctes :

- (1) une première école qui a cherché à valider les textes classiques. Par exemple, en Grèce et Ionie, Kraft *et al.* (1975, 1977, 1980a-b, 2003, 2005), Bousquet et Pechoux (1980), Bousquet *et al.* (1983), Jing et Rapp (2003) et Pavlopoulos *et al.* (2003) ont employé la stratigraphie côtière pour vérifier les sources homériques ;
- (2) une seconde école s'est focalisée sur des thèmes plus géographiques, notamment la progradation des deltas et le tassement sédimentaire. Cela comprend le travail de Arteaga *et al.* (1988), Rapp et Kraft (1994), Riedel (1995), Schröder et Bochum (1996), Brückner (1997), Brückner *et al.* (2002, 2005) en Ionie, Fouache *et al.* (2005) et Vött *et al.* (2006a-b) en Grèce, et Wunderlich (1988) et Stanley *et al.* (2001, 2004a-b) sur le delta du Nil. En dehors de la Méditerranée, des recherches en cours tentent de reconstituer la progradation de la plaine de Mésopotamie (delta du Tigre et de l'Euphrate) et du comblement holocène du golfe Persique (Baeteman *et al.*, 2005).

De nos jours, la plupart des projets archéologiques utilisent une approche pluridisciplinaire à différentes échelles spatio-temporelles. Depuis 1985, l'archéologie portuaire et les ateliers de géoscience ont servi d'importants forums pluridisciplinaires pour débattre et diffuser les nouvelles avancées scientifiques, et attestent d'un intérêt croissant dans ce domaine (Raban, 1985b ; Euzennat, 1987 ; Raban, 1988 ; Karageorghis et Michaelides, 1995 ; Briand et Maldonado, 1996 ; Pérez Ballester et Berlanga, 1998 ; Leveau *et al.*, 1999 ; Morhange, 2000 ; Zaccaria, 2001 ; Vermeulen et De Dapper, 2001 ; Berlanga et Pérez Ballester, 2003 ; Fouache, 2003 ; De Maria et Turchetti, 2004a-b ; Zevi et Turchetti, 2004a-b ; Fouache et Pavlopoulos, 2005 ; Bochaca *et al.*, 2005 ; Morhange *et al.*, 2005a).

1.3 Définition d'un port antique

Goiran et Morhange (2003) ont formulé une définition tripartite des ports antiques (Figure 1.3). Bien qu'il puisse sembler paradoxal que les sciences de la Terre s'intéressent à ce type d'archive sédimentaire, de bien des façons il n'est pas surprenant que les ports aient retenu l'attention des géomorphologues. En effet, ces bassins sont situés à l'intersection entre l'Homme et son milieu. La géoarchéologie portuaire exploite l'originalité de ces dépôts, dont la préservation a été assurée par les infrastructures portuaires antiques.

1.3.1 Le bassin dans son rôle de conteneur

Pour l'archéologue traditionnel, un port antique se définit sur la base de ses infrastructures artificielles telles que les ouvrages portuaires (quais, jetées, môles) et les entrepôts. En réalité, il y a une grande diversité dans la morphologie de ces mouillages : certains sont naturels à la faveur d'un faible hydrodynamisme (plages de poche, estuaires ou lagunes) et utilisés depuis l'âge du Bronze ; d'autres sont des bassins (semi-)artificiels résultant de l'activité humaine (e.g. les cothons phéniciens [Carayon, 2005] ou les môles en pouzzolane de Césarée [Brandon, 1996], Portus, Cosa [Felici et Balderi, 1997] et Anzio [Felici, 1993, 2002]).

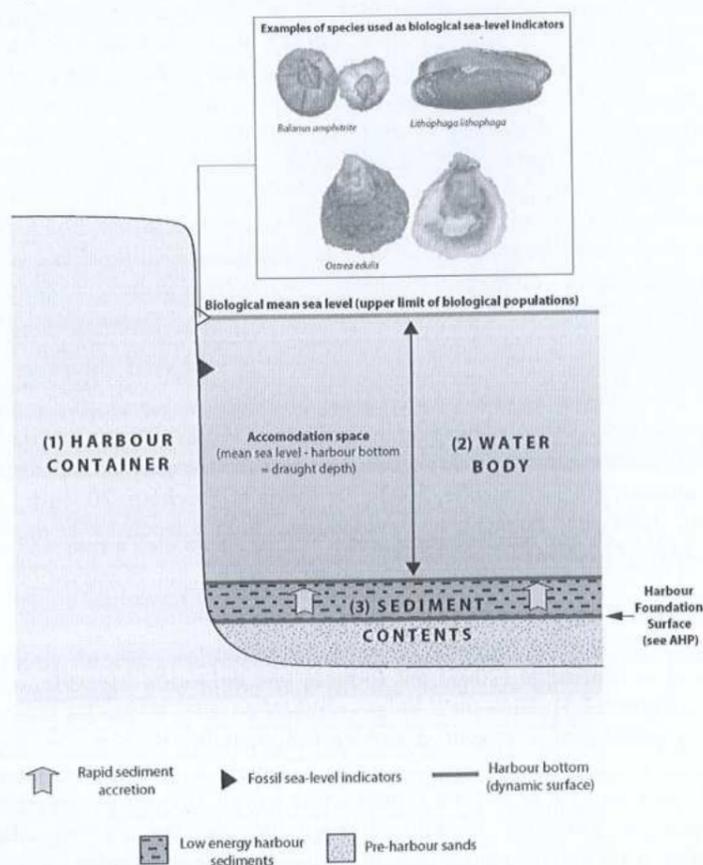


Figure 1.3 : Représentation schématique d'un port antique avec les trois éléments qui le définissent : (1) le conteneur ou les infrastructures portuaires ; (2) la colonne d'eau ; et (3) le contenu sédimentaire.

Pour le chercheur en sciences de la Terre, un port antique ne comprend pas seulement les édifices construits par l'Homme, qui dans bien des cas n'existent plus de façon visible, mais aussi deux objets géologiques d'importance : (1) le contenu sédimentaire des bassins ; et (2) la hauteur de la colonne d'eau.

1.3.2 Le contenu sédimentaire

Les ports antiques constituent des archives sédimentaires témoignant du niveau de base. Un bassin portuaire contient typiquement des sédiments fins traduisant le faible hydrodynamisme induit par les infrastructures portuaires. L'étude haute résolution du contenu biosédimentaire permet d'élucider le degré de protection du port, le confinement et la dégradation des écosystèmes, en plus de l'histoire de l'occupation humaine. La spécificité anoxique de cette couche la rend aussi importante dans la préservation de matériel archéologique périssable (cuir, bois etc.).

1.3.3 Les changements relatifs du niveau de la mer

Les changements relatifs de la colonne d'eau, alliés à une connaissance des budgets et des flux sédimentaires, sont essentiels pour comprendre la mobilité des milieux portuaires. Deux niveaux de référence, le niveau de la mer et le fond marin, sont donc importants pour déterminer la viabilité des bassins portuaires. Ces niveaux de référence sont dynamiques, en fonction des changements du niveau de la mer, de l'isostasie tectonique, des flux et des tassements sédimentaire, déterminant l'espace total d'accommodation. Pour les sociétés antiques confrontées à des vitesses de sédimentation élevées, maintenir un tirant d'eau navigable nécessita des stratégies de gestion portuaire clairement définies (Marriner et Morhange, 2006a).

1.4 Typologie des ports antiques

Rougé (1966) fut le premier auteur à proposer une typologie archéologique des ports naturels et artificiels. Une typologie géoarchéologique n'a cependant jamais été envisagée. Quatre éléments fondamentaux déterminent l'emplacement et le dessin d'un port. (1) **La localisation.** Un port constitue une interface entre l'intérieur des terres et la mer ; son emplacement dépend donc du trafic entre ces deux aires géographiques. Les marges des grands deltas ont souvent été des endroits attractifs, par exemple Marseille pour la vallée du Rhône et Alexandrie pour le Nil. (2) **Les conditions propres du site.** Deux types de contextes géomorphologiques, côtes rocheuses et côtes meubles, furent exploités par les sociétés antiques. Pendant l'âge du Fer, les Grecs et les Phéniciens établirent des complexes portuaires dans des baies et des anses protégées autour de la mer Noire et de la Méditerranée. Les ports sur côtes

meubles furent généralement plus tardifs, fondés par des superpuissances politiques, à l'instar de Rome et de Carthage, possédant un savoir-faire technologique avancé. Lorsque les grands centres urbains étaient situés dans l'arrière-pays, ce type de mouillage artificiel servait d'avant-port et opérait en tandem avec des ports fluviaux plus en amont (e.g. le complexe d'Ostie pour Rome). La découverte de la pouzzolane au 2^{ème} siècle avant J.-C. fit que les Romains n'étaient plus restreints par le contexte environnemental, comme c'était typiquement le cas pendant l'âge du Bronze et l'âge du Fer (Oleson, 1988 ; Brandon, 1996). (3) **Le plan général.** Le plan général d'un port dépend des conditions de navigation (vents et vagues) et des types de bateaux qui l'utilisent. Le nombre de navires utilisant le port dicte la longueur de ses quais et la surface requise pour ses bassins (4) **Les structures portuaires.** Le tirant d'eau des navires définit la profondeur d'eau nécessaire près des quais et donc leur hauteur et leur structure. Les matériaux de construction disponibles (bois, pierre, mortier) et les méthodes de construction définissent les infrastructures portuaires pour une région ou une période historique données.

À la lumière de ces facteurs, il y a une très grande diversité de sites portuaires. Quatre éléments déterminent notre typologie portuaire : (1) la distance des bassins par rapport au trait de côte actuel ; (2) leurs position par rapport au niveau actuel de la mer ; (3) le contexte géomorphologique ; et, finalement, (4) la taphonomie des ports antiques (Figure 1.4). Au total, nous distinguons sept groupes (Figures 1.5 et 1.6).

1.4.1 Les côtes instables

1.4.1.1 Les ports submergés

Avortons de la légende d'Atlantide (Collina-Girard, 2001 ; Gutscher, 2005), les cités et les ports engloutis ont, pendant longtemps, captivé l'imagination du grand public (Frost, 1963 ; Flemming, 1971). Depuis 18.000 BP, la montée glacio-eustatique des océans d'environ 120 m est à l'origine de la submersion d'importantes régions côtières de la Méditerranée, dont de nombreux sites paléolithiques et mésolithiques (Shepard, 1964 ; Masters et Flemming, 1983 ; Kraft *et al.*, 1983 ; Shackleton *et al.*, 1984 ; Galili *et al.*, 1993a-b ; Flemming, 1996, 1998 ; Collina-Girard, 1998 ; Petit-Maire et Vrielinck, 2005). Dans la mer d'Égée, par exemple, de nombreuses îles telles que Kerkira, Eubée et les Sporades du nord, étaient connectées au continent pour former la péninsule des Cyclades (van Andel et Shackleton, 1982). Dans le sud de la France, la grotte paléolithique de Cosquer est l'un des meilleurs exemples d'occupation humaine de la frange continentale de Méditerranée et de la montée post-glaciaire des eaux (Figure 1.6). Des peintures rupestres, datées d'environ 18.000 BP, ont été partiellement érodées vers le zéro actuel, témoignant de l'absence d'un niveau eustatique supérieur à l'actuel. L'avancée de la mer sur la plate-forme

continentale a progressivement déplacé les populations côtières vers l'intérieur des terres, jusqu'aux alentours de 6000 BP. La stabilisation du niveau de la mer à cette époque est à l'origine d'une sédentarisation des sociétés le long des côtes actuelles (van Andel, 1989). D'ores et déjà, la submersion de sites côtiers et de ports peut être mise en relation avec deux facteurs géologiques différents : (1) la mobilité tectonique (e.g. la subsidence de la Crète orientale) ; et/ou (2) la compaction sédimentaire (e.g. Alexandrie, Menouthis et Héraklion en marge du delta du Nil).

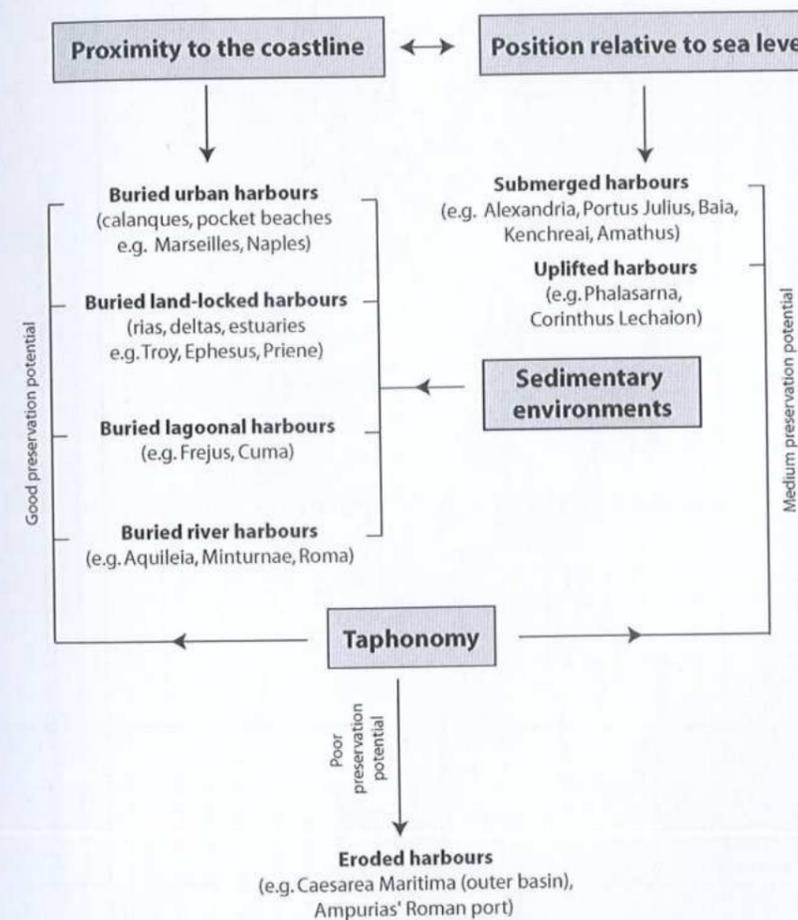


Figure 1.4 : Classification des ports antiques basée sur quatre variables : (1) la proximité du trait de côte ; (2) la position par rapport au niveau de la mer ; (3) les environnements sédimentaires ; et (4) la taphonomie.

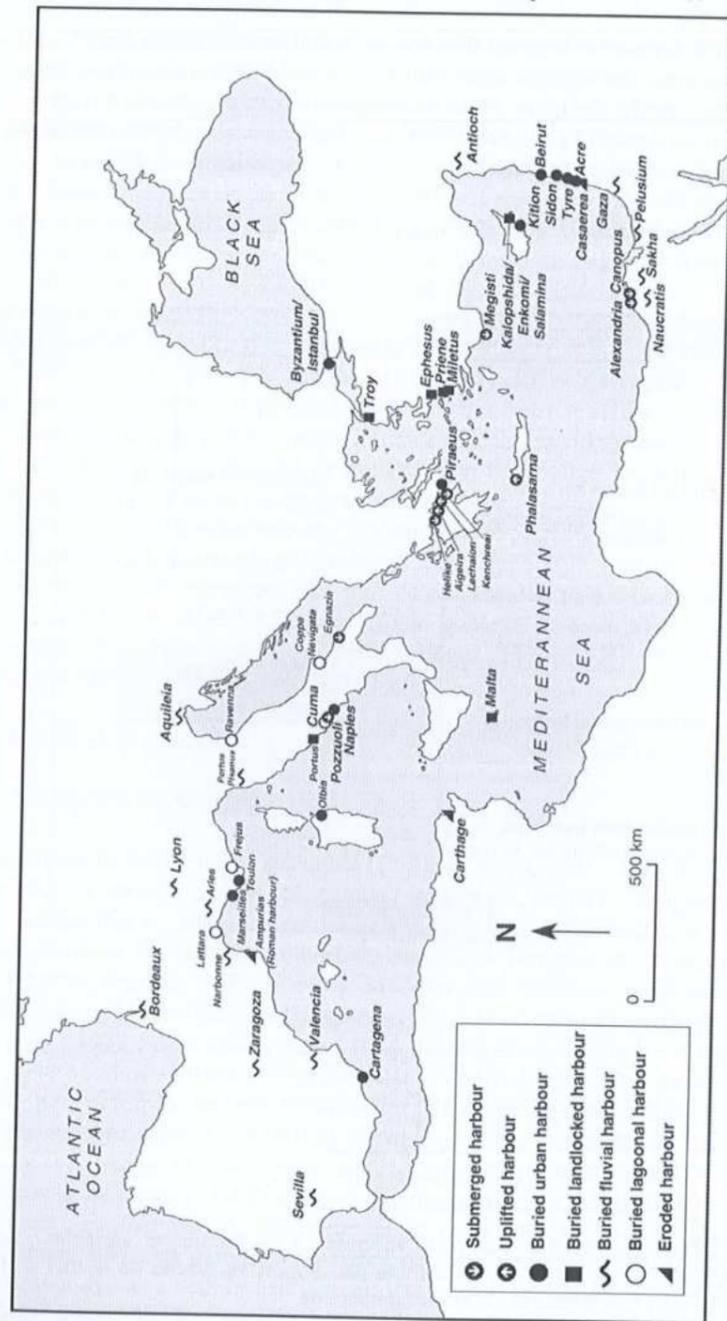


Figure 1.5 : Carte géoarchéologique non exhaustive des ports antiques de Méditerranée.

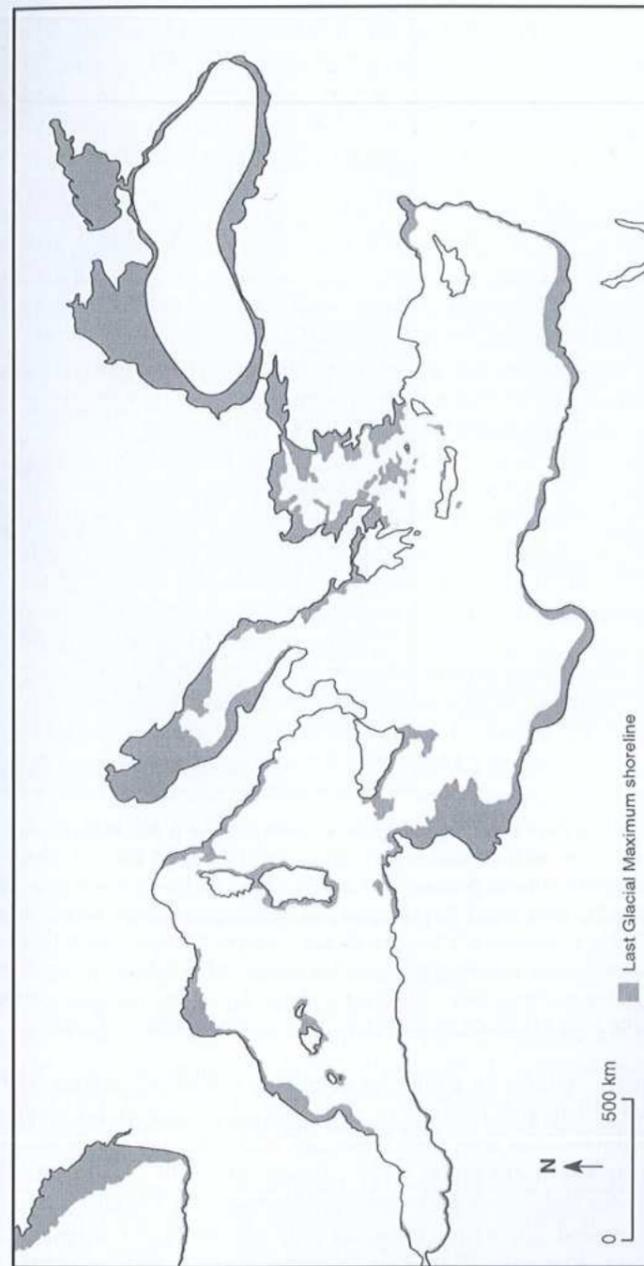


Figure 1.6 : Extension de la plate-forme continentale de la Méditerranée il y a 18.000 ans, lorsque le niveau de la mer était à environ 120 m sous le niveau actuel (d'après Bracco, 2005). L'envoyage d'un grand nombre de sites paléolithiques explique la relative pauvreté de notre connaissance des groupes humains préhistoriques côtiers de la Méditerranée.

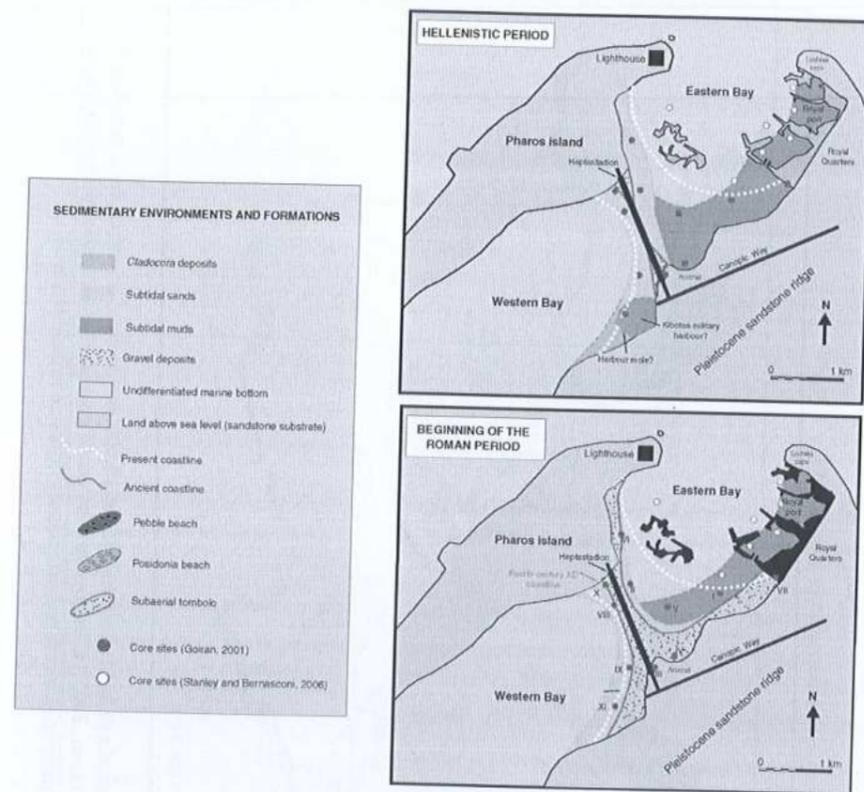


Figure 1.7 : Reconstitution géomorphologique du port antique d'Alexandrie par Goiran *et al.* (2005). L'Heptastade, construit par Alexandre le Grand en 332 avant J.-C., séparait la baie d'Alexandrie en deux anses. La partie est de la baie abritait de nombreux bassins portuaires distincts, dont le port royal qui est à présent submergé sous 5 m d'eau. Goiran (2001) a reconstitué l'histoire du port antique d'Alexandrie à l'aide d'une approche géoarchéologique pluridisciplinaire. Des forages effectués au centre de la baie orientale par Stanley et Bernasconi (2006) ne révèlent pas de sédiments portuaires, suggérant que cette zone est située en dehors des principaux bassins artificiels.

À Alexandrie, l'intérêt du public fut éveillé au milieu des années 1990 par les images spectaculaires de l'équipe de J.-Y. Empereur retirant des blocs et des statues mégalithiques de la mer, dont beaucoup sont attribuées au célèbre phare d'Alexandrie (Empereur et Grimal, 1997 ; Empereur, 1998 ; Hairy, 2006). Au même moment, des recherches sous-marines effectuées par Goddio *et al.* (1998) et Goddio et Bernand (2004) mettaient au jour des structures submergées du port et de la cité, à environ 5 m sous le niveau actuel de la mer (MSL) et recouvertes par une fine couche de sable (Figure 1.7). L'instabilité côtière du secteur d'Alexandrie est attribuée à des mouvements sismiques (Guidoboni *et*

al., 1994), des vagues destructrices de tsunami (Soloviev *et al.*, 2000 ; Goiran, 2001) et au tassement des sédiments nilotiques (Stanley *et al.*, 2001 ; Stanley et Bernasconi, 2006). Des recherches récentes suggèrent que, succédant à l'apogée gréco-romaine, le déclin du port d'Alexandrie eut lieu autour des 8^{ème} et 9^{ème} siècles après J.-C., au moment où l'impact du tsunami et une montée rapide du niveau relatif de la mer endommagèrent sévèrement les infrastructures portuaires (Goiran, *et al.*, 2005).

À l'est d'Alexandrie, dans la baie d'Abou Qir, Stanley *et al.* (2001, 2004a) ont élucidé la submersion de deux cités grecques antiques, Héaklion et Canope Est, après le 8^{ème} siècle après J.-C. (Stanley *et al.*, 2004a-b). Ces deux sites portuaires, à l'embouchure du delta, ont été submergés et noyés sous environ 8 m d'eau au cours des 2500 dernières années. L'équipe attribue cette subsidence à deux phénomènes : (1) une montée relative du niveau de la mer de l'ordre de 4-5 m (d'ordre eustatique), et (2) l'effondrement (3-4 m) de la marge occidentale du delta du Nil, dû à la surcharge des sédiments fluviaux.

La côte sud-ouest du golfe de Corinthe est localisée dans une région de forte activité tectonique. En 373 avant J.-C., la cité grecque d'Héliké et son port, construits sur un *Gilbert type delta* furent détruits par un tremblement de terre (Kiskyras, 1988 ; Soter et Katsonopoulou, 1998). A travers la datation des forages, Soter (1998) estime que le delta d'Héliké s'enfonça d'au moins 3 m au cours de cet événement catastrophique.

Le système volcanique des Champs Phlégréens en Italie du sud présente un contexte tectonique différent. Les ports antiques de Misène, Baïa et Portus Julius (Pouzzoles) sont à présent submergés à environ 10 m sous le niveau actuel de la mer (Dubois, 1907 ; Gianfrotta, 1996 ; Scognamiglio, 1997 ; Figure 1.8). Ces sites, localisés à l'intérieur d'une caldera, sont de bons exemples de la mobilité des rivages attribués au volcanisme et aux jeux de failles. Récemment, les chercheurs ont reconstitué l'histoire post-romaine des changements relatifs du niveau de la mer, en mettant en évidence trois oscillations de la croûte terrestre, à la fois à Pouzzoles (Morhange *et al.*, 2006a) et à Misène (Cinque *et al.*, 1991), entre les 5^{ème} et 15^{ème} siècles après J.-C. Ces travaux suggèrent que des cycles d'inflation et de déflation volcaniques sont à mettre en relation avec une interaction complexe du magma profond, de l'exsolution des fluides et du dégazage (Todesco *et al.*, 2004). Le port romain d'Egnazia, sur la côte sud-est de l'Italie, est également une bonne illustration de port englouti. Durant les 2600 dernières années, une montée relative de 6 m a été mesurée sur le site archéologique, bien que le mécanisme responsable de cette subsidence reste peu clair (Auriemma, 2004).

Sur l'île de Castellorizo en Grèce, les vestiges de la ville et du port antique de Megisti ont été engloutis de -2,5 à -3 m sous le niveau actuel de la mer. Pirazzoli (1987a) attribue cette tendance à une subsidence graduelle de 1,5 à 2,0 mm/an de la côte lycienne depuis l'Antiquité. Ce mouvement continue

aujourd'hui comme l'attestent les maisons abandonnées bordant le bassin de Metraki.

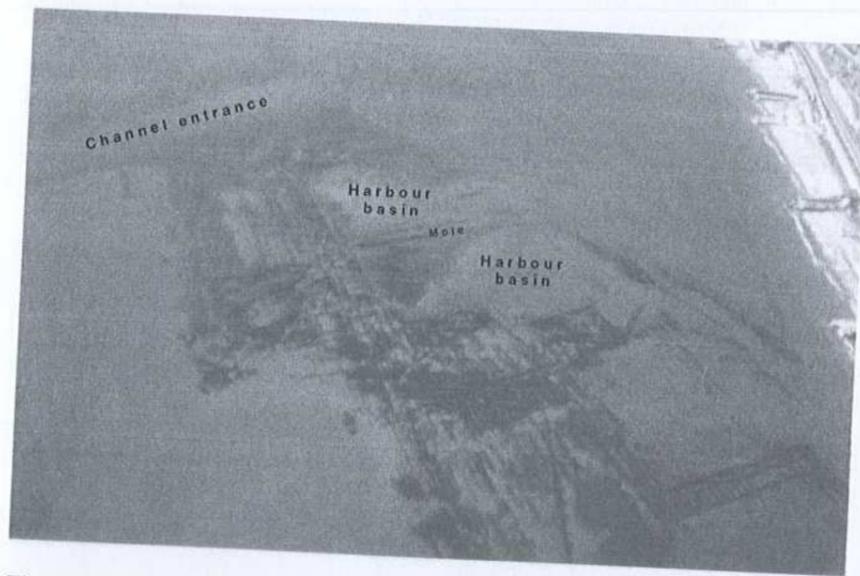


Figure 1.8 : Les restes du port englouti de Pouzzoles se trouvent à présent à environ 10 m sous le niveau moyen de la mer. Le site est localisé à l'intérieur d'une caldera, où la mobilité du rivage est attribuée au volcanisme et la présence de failles actives.

1.4.1.2 Les ports soulevés

Les ports soulevés sont, en revanche, beaucoup plus rares. Les meilleurs exemples pour ce type de mouillage sont situés dans l'arc Hellénique, une zone qui a longtemps été affectée par les jeux de failles entre les plaques africaine et anatolienne (Stiros, 2005).

En Crète occidentale, Pirazzoli *et al.* (1992) ont attribué un soulèvement de +9 m au port de Phalasarna, fondé au 4^{ème} siècle avant J.-C., à une période de forte sismicité en Méditerranée orientale entre le 4^{ème} et le 6^{ème} siècle après J.-C. (Stiros, 2001). Parfois connu sous l'appellation de *Early Byzantine Tectonic Paroxysm* (Pirazzoli, 1986 ; Pirazzoli *et al.*, 1996), cet épisode a été mis en relation avec l'ajustement de la plaque de l'arc Hellénique. Un soulèvement synchrone (1-2 m) est également attesté en Turquie (le port soulevé de Seleucia Piera, Pirazzoli *et al.*, 1991), en Syrie (Sanlaville *et al.*, 1997) et dans des secteurs de la côte libanaise (Pirazzoli, 2005 ; Morhange *et al.*, 2006b). Les archives sédimentaires du port antique de Phalasarna sont d'un intérêt particulier pour les géosciences car elles recèlent des dépôts de tsunami (Dominey-Howes *et al.*, 1998).

Le golfe de Corinthe est une baie profonde de la mer Ionienne, séparant le Péloponnèse de la Grèce occidentale. Il s'agit d'un des décrochements les plus sismiques au monde (6-15 mm/an), et des éléments de relief (rivages surélevés, inversion des pentes de drainage, glissements de terrain induits par des tremblements de terre) et archéologiques sont clairement associés à une forte activité tectonique (Papadopoulos *et al.*, 2000 ; Koukouvelas *et al.*, 2001 ; Kokkalas et Koukouvelas, 2005). Au sein de ce golfe, plusieurs ports antiques sont connus, notamment ceux d'Héliké (submergé, voir ci-dessus), Aigeira et Léchaion (tous les deux soulevés).

A Aigeira, un port romain artificiel fut construit entre 100 et 250 après J.-C. (Papageorgiou *et al.*, 1993). La façade sud du golfe de Corinthe est dépourvue de mouillages naturels, par suite de la régularisation du trait de côte par progradation. Stiros (1998, 2005) a décrit des indicateurs archéologiques témoignant d'un soulèvement d'environ 4 m. Des indices biologiques et radiométriques indiquent que cette baisse relative du niveau de la mer est d'origine co-sismique et associée à un tremblement de terre vers 250 après J.-C.

Les premiers travaux sur l'environnement et l'organisation de Léchaion, le port ouest de la Corinthe antique, remontent aux recherches de Paris (1915). Ce port était particulièrement actif aux temps archaïques, une période de colonisation corinthienne en mer Ionienne et Italie du Sud. Le soulèvement de la croûte terrestre conduisit au comblement rapide des bassins portuaires (Stiros *et al.*, 1996). Des bioconstructions (limite supérieure des *Balanus* sp. ou *Lithophaga lithophaga*) sur les quais à environ 1 m au-dessus du niveau actuel ont été datées d'environ 2500 BP (400-100 cal. avant J.-C.).

Les données archéologiques sur les littoraux à forte sismicité contrastent avec des contextes tectoniques stables, où les infrastructures portuaires se situent à quelques centimètres sous le niveau actuel de la mer (Pirazzoli, 1976 ; Morhange *et al.*, 2001). C'est le résultat d'une montée relativement modérée du niveau de la mer à l'échelle millénaire en réponse à la glacio-hydro-isostasie régionale. La côte Tyrrhénienne d'Italie, où des bassins à poissons romains sont localisés à environ 50 cm sous le niveau moyen actuel, en est un bon exemple (Schmiedt, 1972 ; Leoni et Dai Pra, 1997 ; Antonioli et Leoni, 1998).

1.4.2 Les ports enterrés

Après 6000 BP, la stabilisation du niveau « global » de la mer, alliée à d'importants apports de sédiments terrigènes, conduisit à une progradation côtière accélérée. A l'échelle de plusieurs millénaires, cette progradation explique l'enfouissement d'un grand nombre de ports antiques. A partir de la période néolithique, l'anthropisation des bassins-versants (défrichements, agriculture) accéléra l'érosion des sols. Depuis le début de l'ère chrétienne, les recherches ont identifié trois crises détritiques importantes durant : (1) la période augustéenne (il y a environ 2000 ans) ; (2) l'Antiquité tardive ; et (3) le

petit âge glaciaire. Ces périodes sont caractérisées par des progradations côtière et deltaïque prononcées (Provansal *et al.*, 1995 ; Arnaud-Fassetta et Provansal, 1999 ; Vella *et al.*, 2005). Quatre types de ports enfouis peuvent être identifiés.

1.4.2.1 Les ports sous les villes

Beyrouth, Byzance/Istanbul, Carthagène (García, 1998 ; Del Carmen Berrocal Caparrós, 1998), Kition-Bamboula, Marseille, Naples, Olbia, Le Pirée et Toulon sont par excellence des ports urbains enterrés. Alors que les zones portuaires de ces cités continuent à fonctionner aujourd'hui, le cœur des bassins antiques repose sous les centres-villes modernes. Des taux de sédimentation élevés, de l'ordre de 10-20 mm/an, au cours des périodes romaine et byzantine ont conduit à l'ensablement des limites des bassins. Deux processus sont importants pour expliquer ces déformations côtières : (1) tout d'abord, un fort afflux de sédiments lié aux apports fluviaux, l'érosion de constructions en adobe, les écoulements urbains et l'utilisation des bassins comme dépotoirs (apports culturels) ; et (2) les impacts anthropiques qui ont directement accentué la progradation côtière avec une régularisation des lignes de rivage depuis l'âge du Bronze (Figures 1.9-1.10).

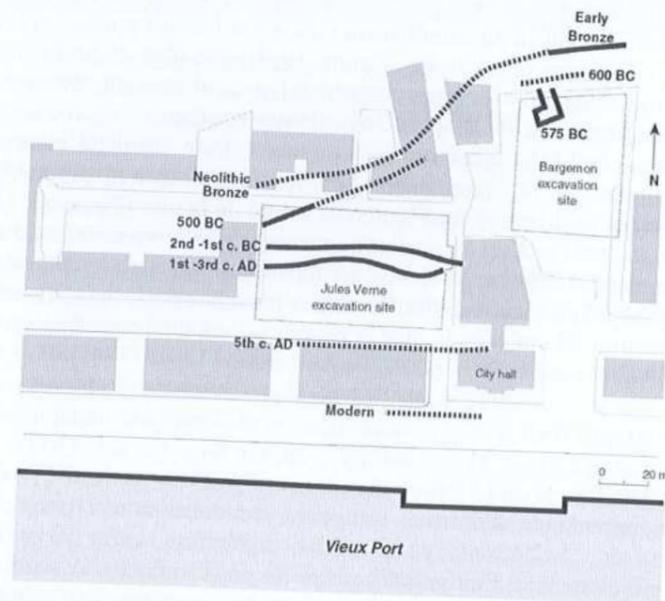


Figure 1.9 : Progradation des lignes de rivage au nord de Marseille depuis le Néolithique. Noter la régularisation progressive de la côte de cette anse. D'après Morhange *et al.* (2003).



Figure 1.10 : Des vestiges gréco-romains ont été découverts dans le quartier de la Bourse à Marseille dans les années 1960. Ces vestiges, au cœur de la cité moderne, ont été depuis reconvertis en musée-jardin. Les infrastructures portuaires préservées datent de la fin du 1^{er} siècle après J.-C. En raison de l'ensablement, la zone fut abandonnée à partir de l'Antiquité tardive. Le Vieux Port des temps modernes peut être clairement discerné dans l'arrière-plan et témoigne de la progradation du trait de côte emprisonnant le port antique à l'intérieur des terres.

Sur la côte phénicienne, par exemple, on trouve entre autres les ports enterrés de Sidon et Tyr (Marriner *et al.*, 2005 ; Marriner *et al.*, 2006a-b). Bien que leurs bassins soient toujours utilisés de nos jours, 5000 ans après leur fondation, leur superficie a été réduite de moitié. Une telle évolution

géomorphologique offre des pistes de recherche multiples dans des zones où, paradoxalement, on ne connaît que très peu de choses sur l'histoire maritime.

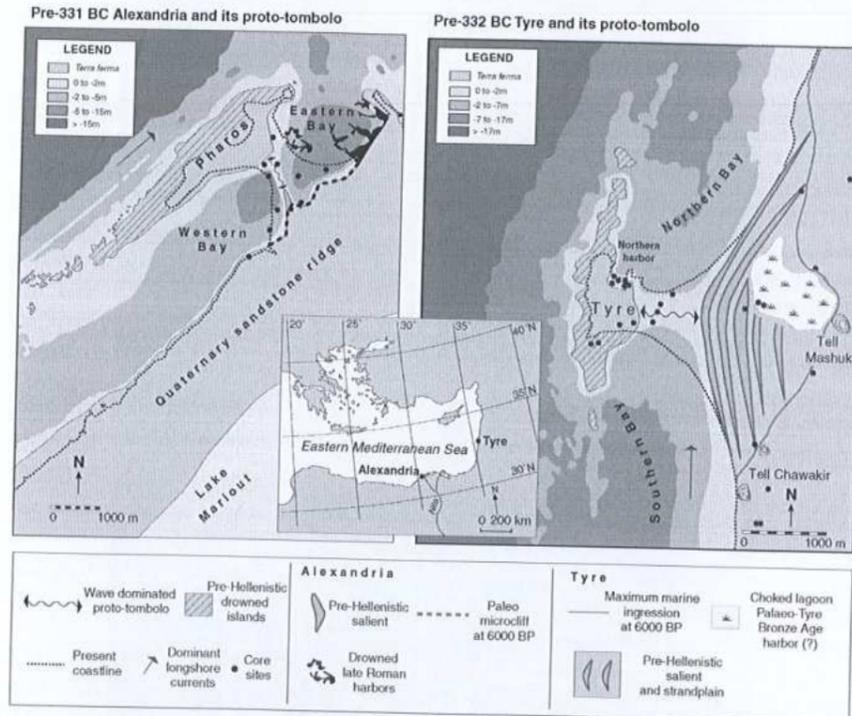


Figure 1.11 : Evolution morphodynamique des isthmes d'Alexandrie et de Tyr depuis l'Antiquité.

Bien qu'ils ne soient pas des ports *sensu stricto*, les tombolos artificiels de Tyr et d'Alexandrie sont des exemples géomorphologiques uniques de modification anthropique des milieux littoraux (Figure 1.11). Ces saillants sont l'héritage d'une longue histoire de forçage morphodynamique naturel et d'impacts anthropiques sur plusieurs millénaires. A Tyr en 332 avant J.-C., à la suite d'un long siège s'étirant sur sept mois, les ingénieurs d'Alexandre le Grand exploitèrent un banc de sable à fleur d'eau pour édifier une chaussée reliant l'île antique au continent ; cet ouvrage a servi de prototype pour l'Heptastade d'Alexandrie qui fut construit quelques mois plus tard. Ces chaussées ont profondément entravé le transit sédimentaire naturel, entraînant une progradation rapide des tombolos (Nir, 1996 ; Goiran *et al.*, 2005). Les deux exemples soulignent le rôle des sociétés dans la mobilité littorale depuis l'âge du Bronze. D'autres exemples de tombolo d'origine anthropique sont

connus à Clazomènes (Ionie), Apollonia Pontica (Sozopol, Bulgarie) et peut-être Orbetello (Italie).

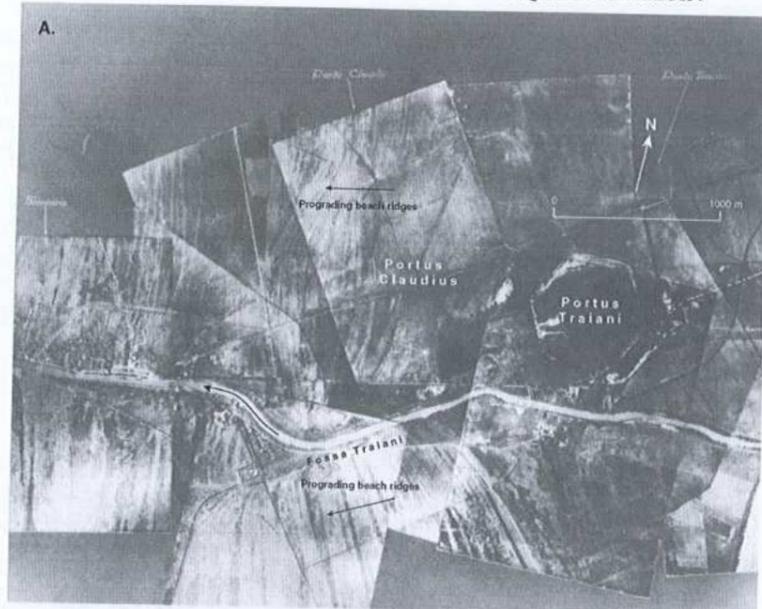
La quantité de sédiments transportés par les fleuves est un facteur déterminant dans la progradation côtière. A Marseille, Toulon ou Kition-Bamboula, les déformations du trait de côte ont été relativement mineures, de l'ordre de quelques centaines de mètres. Dans le détroit du Bosphore, de modestes apports sédimentaires ont permis à Istanbul (Byzance/Constantinople) de rester au premier rang depuis l'Antiquité (Dark, 2004). Un apport sédimentaire modeste signifie que de nombreux ports antiques, partiellement ensablés, sont restés des centres culturels et commerciaux importants depuis leur fondation dans l'Antiquité.

1.4.2.2 Les ports ensevelis dans les terres

Les ports ensevelis dans les terres sont caractérisés par une progradation côtière de l'ordre kilométrique, comme les ports antiques ioniens l'illustrent bien (à Troie, Milet, Priène ou Ephèse ; Brückner, 1997). Une progradation deltaïque aussi importante est liée à deux facteurs : (1) une stabilisation du niveau marin autour de l'actuel depuis 6000 BP (Figure 1.12) ; et (2) la morphologie unique de ces paléo-rias, qui correspondent à d'étroits grabens envahis par la mer et n'offrant qu'un espace disponible limité (Kayan, 1996, 1999). Par exemple, le front deltaïque du Menderes a progradé d'environ 60 km depuis l'ingression marine maximale il y a 7000 ans (Schröder et Bochum, 1996 ; Müllenhoff *et al.*, 2004 ; Figure 1.13).

L'exemple le mieux étudié comprend celui de Troie (Kraft *et al.*, 2003), dont les zones portuaires furent complètement ensablées il y a 2000 ans. Des contextes géomorphologiques semblables existent également à Ephèse, Priène et Milet (Brückner, 1997). La recherche de Brückner à Ephèse nous fournit une bonne illustration de déplacement portuaire, ou « course à la mer », en relation avec une progradation rapide du rivage. Le premier port artificiel de la cité antique, près d'Artémision, a été envasé dès le 6^{ème} siècle avant J.-C., pendant une période de croissance deltaïque rapide. Au 5^{ème} siècle avant J.-C., un deuxième port fut construit plus à l'ouest, avant la désarticulation éventuelle de la cité antique au 3^{ème} siècle avant J.-C.

A Chypre, Devillers (2005) a reconstitué l'inondation marine de la ria du Gialias, il y a environ 8000 ans et la progradation deltaïque qui s'en suivit, il y a environ 6000 ans. En utilisant la stratigraphie, la géomorphologie et la télédétection, il attribue une succession d'environnements côtiers (plains alluviales, lagunes, cordons dunaires) à une migration de la ligne de rivage vers l'est. Les sociétés humaines se sont constamment adaptées à cette mobilité environnementale comme l'illustre le déplacement géographique de quatre ports antiques : Kalopsidha (l'âge du Bronze ancien/moyen), Enkomi (l'âge du Bronze moyen/tardif), Salamine (gréco-romain) et Famagouste (médiéval).



B.

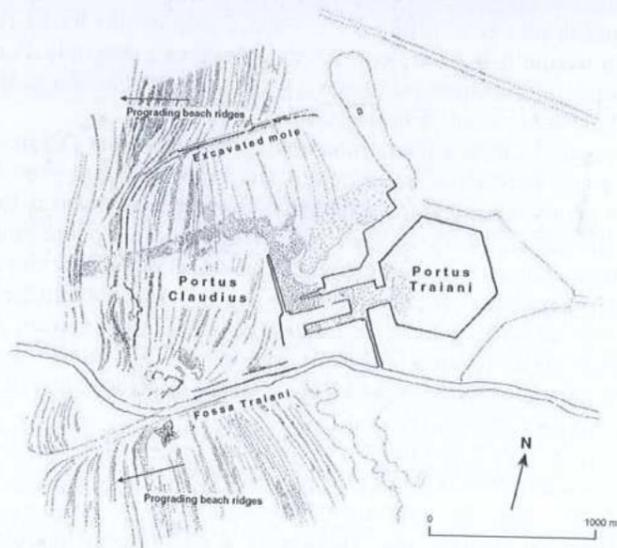


Figure 1.12 : A. Mosaïque photographique de Portus datant du début du 20^{ème} siècle. B. Interprétation géoarchéologique du site (d'après Giuliani, 1996). Portus Claudius a été complètement colmaté depuis l'Antiquité, alors qu'aujourd'hui le port artificiel de Portus Trajan, forme un lac d'eau douce. La progradation du cordon littoral est clairement attestée par la photographie aérienne.

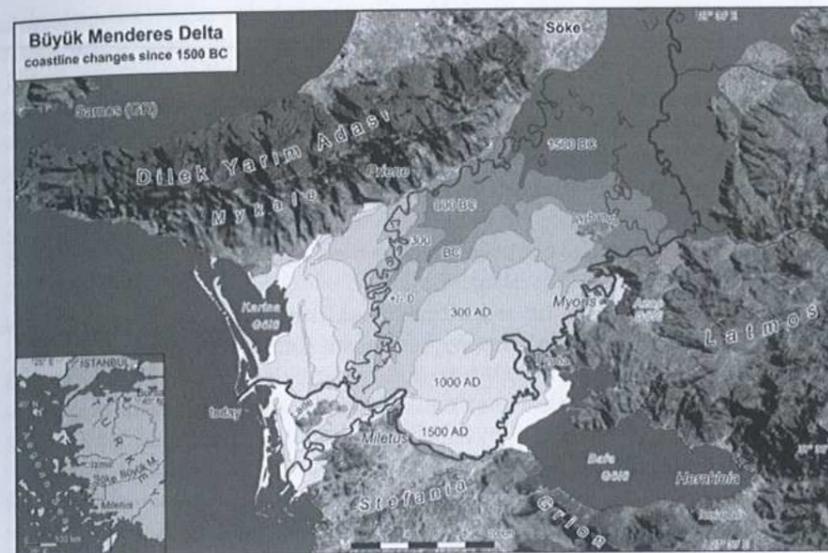


Figure 1.13 : Progradation du delta de Menderes (d'après Müllenhoff *et al.*, 2004).

Au Levant sud, de nombreux proto-ports de l'âge du Bronze ont été fouillés par Raban (1987a-b, 1988) et Marcus (2002a-b). Raban a décrit une série de ports estuariens le long de la côte actuelle de Gaza et Israël. La protection naturelle, de courte durée, fut compromise par la progradation littorale en relation avec les apports de sédiments nilotiques (Raban, 1990). Après 2000 avant J.-C., de nombreux comptoirs côtiers furent abandonnés à cause de l'ensablement de leurs ports naturels et donc de leur isolement des routes de commerce maritime.

Les sites portuaires de l'île de Malte sont un exemple de rias partiellement comblées (Gambin, 2004). La progradation côtière explique le déplacement de nombreux mouillages naturels depuis l'âge du Bronze.

Il y a environ 6000 ans, l'ingression marine maximale créa une morphologie côtière indentée à travers la Méditerranée. Au fil des millénaires qui suivirent, ces invaginations côtières furent graduellement comblées par des sédiments fluviaux remaniés par des courants de dérive, produisant une morphologie littorale régularisée. Ce processus fut particulièrement intense près des grands deltas. La côte du Sinaï et de la Palestine, par exemple, était indentée durant l'âge du Bronze avant d'être transformée en rivage rectiligne dans les millénaires récents (Stanley, 2002 ; Morhange *et al.*, 2005b). Les mouillages proto-historiques servaient de lieu d'ancrage attractif pour les sociétés côtières anciennes mais furent rapidement ensablés et finalement abandonnés.

Le long des rivages de la mer Noire, d'anciennes rias connues sous le nom de *limans* n'ont pas connu de progradation. Par exemple, dans le sud de la Bulgarie, le port romain de Deultum est situé à l'intérieur d'un tel liman. La ria, transformée en estuaire, est à présent déconnectée de la mer par une langue de sable côtière. En Crimée orientale (Ukraine), le port de la colonie grecque de Nymphéion est probablement situé à l'intérieur d'un liman (Ménanteau et Geffray, 2003).

1.4.2.3 Les ports fluviaux envasés

Les ports fluviaux ne sont pas assujettis aux mêmes processus géomorphologiques, et donc les signatures sédimentaires sont différentes. L'étude géoarchéologique de tels contextes a été relativement limitée jusqu'à présent, mais reste néanmoins une voie intéressante pour de futures recherches (Milne et Hobley, 1981 ; Good, 1991 ; Izarra, 1993 ; Bravard et Magny, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2003).

Les Egyptiens et les Mésopotamiens furent les premières civilisations occidentales à s'aventurer dans le transport fluvial. En effet, des structures portuaires primitives de l'âge du Bronze sont connues sur les berges du Nil à Memphis et Gizeh (Fabre, 2004/2005). Elles ont servi inévitablement de prototype aux mouillages côtiers, qui demandaient beaucoup plus de connaissances d'ingénierie de l'environnement, bien au-delà des infrastructures fluviales primitives (Wachsmann, 1998 ; Fabre, 2004/2005). Malheureusement, les apports sédimentaires et des changements rapides de la géomorphologie fluviale ensevelirent rapidement les vestiges de ces sites portuaires. En Mésopotamie, des bassins furent creusés à l'intérieur des murs de la cité d'Our à la fin du 3^{ème} millénaire. Un petit bassin datant de 700 avant J.-C., construit avec des murs en adobe et du bitume, est aussi connu à Til-Barsib, sur l'Euphrate (Blackman, 1982a-b). En Égypte, les travaux furent nombreux et variés. Durant le 3^{ème} millénaire, par exemple, des canaux furent creusés entre le Nil et la vallée des temples des pyramides de Gizeh pour transporter des matériaux de construction. Des quais étaient communément établis le long du Nil. Par exemple, des représentations iconographiques à Amarna, datant du 14^{ème} siècle avant J.-C., dépeignent des bateaux parallèles à des quais équipés de bornes. Un grand bassin a également été décrit pour la cité de Thèbes au 14^{ème} siècle avant J.-C. (Blackman, 1982a-b).

En dépit de grandes fouilles réalisées sur le delta du Nil (e.g. Tell El-Daba, Tell el-Fara'in), la position exacte de nombreux ports fluviaux reste ambiguë. La cité portuaire de Péluse, située sur la marge nord-est du delta, près de l'embouchure de l'ancien bras pélusiaque du Nil, était active pendant la période de la *Late Dynastic Kingdom*. Il s'agit d'un bon exemple de déclin engendré par des changements géomorphologiques (Goodfriend et Stanley, 1999). A présent, Péluse est partiellement enfouie sous des sédiments deltaïques, et est localisée à

3 km au sud de la côte actuelle, coupée de la mer par d'importants cordons dunaires et des sebkhas. Ce site fut soudainement séparé du bras pélusiaque du Nil au 9^{ème} siècle après J.-C. à la suite d'inondations. Ces inondations ont provoqué l'avulsion d'un nouveau bras à l'ouest de Port-Saïd, vraisemblablement le bras de Damiette (Stanley, 2005).

Stanley et son équipe ont également entrepris des recherches sur le bras canopique du delta du Nil (Stanley et Jorstad, 2006). Une démarche géoarchéologique leur a permis de démontrer que la cité ptolémaïque de Scheida fut, à une époque, située sur le canal canopique, actif entre le 3^{ème} ou 2^{ème} siècle avant J.-C. jusqu'au 5^{ème} siècle après J.-C. L'abandon de ce site se produisit quand les eaux du Nil se déplacèrent vers l'est.

Des fouilles et des prospections géologiques entreprises à Naucratis (Grèce) ont révélé une série de canaux abandonnés pendant l'Antiquité. Ils servaient de voie de communication pour le site antique ; cependant la localisation exacte du port fluvial demeure inconnue (Villas, 1996).

Notre connaissance de la période tardive est bien meilleure (Berlanga et Pérez Ballester, 2003). La durabilité des constructions romaines fait que des ports fluviaux envasés sont bien connus pour Aquileia (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2003 ; Rosada, 2003), Rome (Casson, 1965 ; Segarra Lagunes, 2004), Portus Ostia (Mannucci, 1996 ; Keay *et al.*, 2005a), Minturnae (Ruegg, 1988), Londres (Milne, 1982, 1985 ; Milne et Bateman, 2003), Bordeaux (Gé *et al.*, 2005), Lyon, Séville (Ordóñez Agulla, 2003), la Valence romaine puis islamique (Carmona et Ruiz, 2003) et Saragosse (Aguarod Otal et Erice Lacabe, 2003). Certaines études ont conduit à des résultats géoarchéologiques moins probants, comme par exemple pour la Narbonne antique (Ambert, 1995).

L'un des problèmes principaux de ce type de port est l'instabilité de la berge due aux inondations et à l'accumulation des sédiments. Deux processus géologiques sont importants pour expliquer l'archéologie des ports fluviaux. (1) **La canalisation et la morphologie en entonnoir du lit mineur.** A Londres, par exemple, Milne (1985) décrit une déformation du port de l'ordre de 100 m entre 100 après J.-C. et aujourd'hui. Dans un contexte mésotidal, cet entonnoir a conduit à une augmentation de l'amplitude des marées. (2) **L'accrétion verticale des berges par les inondations.** A Bordeaux, l'étagement en escalier de nombreux quais et terrasses a été décrit pour deux sites de la Garonne (Gé *et al.*, 2005). L'accumulation rapide de sédiments lors des paléo-inondations est indiquée par des lithofaciès organiques intercalés entre les plateformes étagées.

1.4.2.4 Les ports lagunaires

Depuis 6000 ans jusqu'à nos jours, l'accrétion des bancs de sables sur les côtes meubles a déconnecté de la mer un certain nombre de paléo-baies. Les dépocentres qui en résultèrent ont formé des lagunes qui, depuis lors, ont été envasées pour former de riches archives sédimentaires (Dalongeville *et al.*,

2001; Lespez, 2003a-b ; Dalongeville et Müller-Celka, 2003). Les lagunes offrent une protection naturelle et leur utilisation comme mouillage a été largement répandue au cours de l'Antiquité. A Coppa Nevigata, par exemple, entre le 3^{ème} et le 1^{er} millénaire avant J.-C., une paléo-lagune connectée à la mer via plusieurs graus fut assez profonde pour accueillir les bateaux (Caldara *et al.*, 2002). Caldara *et al.* (2003) ont reconstitué les paléoenvironnements lagunaires et les modes de développement et d'organisation humaine de cet espace géographique.

Deux grands problèmes géoarchéologiques sont associés aux ports lagunaires. (1) Parce que ce type d'ancrage est localisé à proximité des embouchures de fleuve, l'accès à celui-ci peut être gêné par des barres d'avant côte, rendant la navigation dangereuse (par exemple, l'embouchure de la lagune de Licola près de Cumes, Italie [Stefaniuk *et al.*, 2003] ou de la lagune de Lattara, dans le sud de la France [Garcia et Vallet, 2002]). (2) Le faible tirant d'eau des lagunes ne fut pas propice au développement des sites portuaires à plus long terme. Pendant l'âge du Bronze et l'âge du Fer ancien, les bateaux à fond plat permettaient de les utiliser très largement (Ambert et Chabal, 1992). Ce ne fut pas avant la période romaine que des avancées technologiques facilitèrent le remodelage artificiel des bassins. Carthage et le bassin de Claude à Ostie sont les exemples les plus grandioses de ces travaux d'envergure. Sur ces deux sites, les lagunes devaient être draguées de façon répétée pour maintenir une colonne d'eau navigable.

Reconstituer l'histoire des ports lagunaires en utilisant des techniques biosédimentologiques classiques n'a pas été entièrement satisfaisant (Melis, 2000 ; Lespez *et al.*, 2003a ; Caldara *et al.*, 2003 ; Pasquinucci, 2004 ; Stefaniuk et Morhange, 2005). Seules des modifications artificielles mineures sont nécessaires pour leur utilisation et, de ce fait, discerner la présence humaine avec précision peut être difficile sur des bases purement bio- et lithostratigraphiques. Par contre, la géochimie offre des voies intéressantes pour de futures recherches.

1.4.2.5 Les ports érodés

Les ports érodés peuvent résulter de deux processus géologiques complémentaires : (1) une diminution de l'apport sédimentaire vers la zone côtière ; et/ou (2) la destruction d'édifices portuaires dans des zones exposées à des processus côtiers de haute énergie. Les meilleurs exemples de ports érodés datent de la période romaine, lorsque les mouillages naturels ne furent plus requis pour établir un port. Sur de nombreux sites littoraux, les Romains ont construit de grands mûles de protection pour abriter un bassin d'ancrage du côté sous le vent. De bons exemples de ports antiques érodés comprennent Carthage, Césarée Maritima et le port romain d'Ampurias (Nieto et Raurich, 1998).

Bien que l'emplacement de la Carthage punique n'ait jamais été remise en question, l'endroit, la forme et le nombre de ses ports n'étaient pas connus (Yorke et Little, 1975 ; Hurst et Stager, 1978). Gifford *et al.* (1992) ont utilisé la stratigraphie des lagunes pour reconstituer le trait de côte et les zones portuaires de la cité antique. Leur travail met en évidence l'édification d'un port artificiel de faible profondeur (4-5 m) dans un grès dunaire quaternaire et inondé par les eaux marines au 3^{ème} siècle avant J.-C. L'équipe élucida la présence de deux bassins : (1) un port commercial ; et (2) un port militaire circulaire de plus faible profondeur. L'érosion du port est attestée par des faciès sableux de plage, associés à l'abandon des bassins (Paskoff *et al.*, 1985).

Des vestiges portuaires érodés sont encore clairement visibles à Césarée Maritima. Pendant le I^{er} siècle avant J.-C., le roi Hérode ordonna la construction d'un port royal capable de rivaliser avec celui du Pirée. Les ingénieurs romains employèrent de la pouzzolane pour construire des mûles et créer un port fermé (Raban, 1992a). A la différence des ports du Bronze ancien et de l'âge du Fer, qui exploitaient des rades naturelles, le port extérieur de Césarée, aussi connu sous le nom de Sébastos, était entièrement exposé aux dynamiques de haute énergie du littoral levantin (Raban et Holum, 1996). L'équipe de Raban et Holum a décrit un port extérieur protégé de courte durée, érodé et exposé après 200 ans J.-C. L'érosion côtière du port a conduit Mart et Perecman (1996) à identifier un effondrement néotectonique de 5 à 8 m de la zone ouest de Césarée. Cependant, des recherches géophysiques récentes, n'ont trouvé la preuve d'aucune faille, témoignant ainsi d'une stabilité néo-tectonique depuis au moins 2500 ans (Gill, 1999).

Ampurias, sur le littoral catalan d'Espagne, possédait plusieurs bassins portuaires au cours l'Antiquité. Une anse ou une lagune naturelle servait d'ancrage pendant l'occupation grecque du site. Des problèmes d'envasement portuaire firent que ce bassin fut finalement abandonné et remplacé par un bassin extérieur artificiel pendant la période romaine. L'exposition aux vagues, alliée à l'avulsion du fleuve Fluvia au nord, a conduit à une diminution des apports sédimentaires et à une érosion graduelle des infrastructures portuaires pendant les deux derniers millénaires. Seul un très petit nombre de vestiges portuaires a survécu jusqu'à présent, rendant une reconstitution précise difficile. Des fouilles géophysiques sont en cours pour tenter de résoudre nombre de ces problèmes archéologiques (Nieto *et al.*, 2005). D'autres exemples de ports érodés incluent celui de Caulonia en Italie (Lena et Medaglia, 2002).

À la différence des typologies archéologiques traditionnelles, regroupant les ports sur la base de leurs chronologies et de leurs technologies, cette classification géoarchéologique cherche à cataloguer les ports en utilisant les techniques des sciences de la Terre. Le forçage sédimentaire et les changements relatifs du niveau de la mer sont les deux facteurs géologiques les plus importants pour comprendre la position des ports antiques par rapport au trait de côte actuel. Appréhender comment ces deux processus ont interagi aux échelles

de temps du siècle et du millénaire est essentiel pour exploiter les archives archéologiques, notamment dans des zones littorales où l'on ne dispose que de très peu d'informations historiques.

1.5 Remarques de conclusion

Il serait faux de s'engager dans un discours scientifique sur les aspects positifs de cette nouvelle géoarchéologie des ports antiques sans en exposer les défauts. Alors que l'utilisation des archives sédimentaires facilite une meilleure compréhension de l'évolution des sites, un certain nombre de défauts subsistent, qui souvent ne sont pas spécifiquement associés à la discipline elle-même, mais plutôt aux outils utilisés. Du point de vue de l'archéologue, ce nouveau domaine pourrait être critiqué comme étant trop « géocentrique ». Sur ce point, il semblerait qu'un terrain d'entente ait été trouvé où les données géologiques sont correctement mises en relation avec les contextes archéologiques et vice versa. Des progrès doivent être accomplis sur deux questions-clés :

(1) Les ports antiques peuvent-ils archiver des événements historiques ? Alors que l'on a montré que les ports antiques regorgeaient d'informations archéologiques, repérer avec justesse des événements historiques précis peut être problématique. Les ports antiques ne sont pas des archives annuelles et, bien que des avancées considérables aient été faites, des écarts subsistent entre les chronologies absolues et radiométriques. Sur les sites où des coupes stratigraphiques peuvent être étudiées, le matériel archéologique peut fournir une bonne résolution chronologique de l'ordre de la décennie. Là où cette information n'est pas facilement disponible (e.g. stratigraphies de carotte), les chronologies radiocarbones peuvent produire un large spectre de datations (à la résolution centennale), bien qu'elles ne soient jamais capables de dater avec précision certains événements tels que la construction des ports. Ce problème est encore davantage accentué dans le domaine côtier par les caprices de la calibration marine (Reimer et McCormac, 2002). Des travaux récents ont cherché à établir des âges réservoirs qui sont spécifiques aux sites locaux, bien qu'ils soient assujettis à des variations significatives (Siani *et al.*, 2000). Il existe donc un paradoxe entre les données géologiques haute résolution, capables d'enregistrer des changements culturels rapides, et les chronologies radiométriques utilisées.

(2) Jusqu'à une époque récente, les archives sédimentaires portuaires étaient considérées comme des enregistrements relativement continus des changements anthropiques et côtiers depuis l'Antiquité. Cependant, des recherches récentes ont mis en évidence les pratiques de dragage aux époques romaine et post-romaine suggérant que cette hypothèse devrait être à présent discutée. Sur des sites comme Marseille, Naples, Sidon et Tyr, des inversions chronologiques

nous fournissent des indices de dragages répétés à partir du 3^{ème} siècle avant J.-C. jusqu'au 5^{ème} siècle après J.-C. (Marriner et Morhange, 2006a). Ces pratiques étaient bien évidemment une réponse logique au problème de l'ensablement portuaire et assuraient la viabilité des mouillages. De ce fait, dans beaucoup de ports, des surfaces significatives de strates de l'âge du Bronze et de l'âge de Fer manquent. Mesurer avec précision cette perte de données est fondamental pour évaluer la portée archéologique des archives sédimentaires d'un port. Cela suggère aussi le besoin de mailler les carottes, en vue d'obtenir l'enregistrement stratigraphique le plus complet possible.

Bien que la géoarchéologie des ports antiques soit un paradigme jusqu'ici peu connu en archéologie, nous croyons qu'il représente un changement significatif de la recherche dogmatique vers une recherche pragmatique qui ouvre de nouvelles possibilités d'interprétation. C'est un moyen d'intégrer des échelles et des types de données variés avec des implications importantes pour l'archéologie maritime dans son ensemble. Les champs disciplinaires traditionnels se sont révélés largement insuffisants lorsqu'ils ont été considérés de manière isolée ; l'approche géoarchéologique est particulièrement utile dans les domaines où les données sont pauvres.

Nous croyons qu'il est fondamental de mettre en relation l'archéologie des épaves avec la géomorphologie littorale, et notamment portuaire, pour formuler une image plus holistique des paysages maritimes à l'Antiquité. Nous jugeons important d'ouvrir de nouvelles pistes scientifiques en intégrant l'approche géoarchéologique à l'archéologie interprétative.

Chapitre 2

Morphogenèse Holocène du tombolo d'Alexandre le Grand à Tyr

2.1 Introduction

Le terme tombolo désigne une langue de sable ou de galets reliant une île au continent. En dépit d'une longue histoire de recherches (Gulliver, 1896, 1899 ; Johnson, 1919 ; Escoffier, 1954 ; Guilcher, 1958), les publications se sont traditionnellement concentrées sur les processus géomorphologiques de formation en prêtant très peu d'attention à l'histoire sédimentaire des saillants. Tandis que les origines des langues de terre et des îles-barrières ont fait l'objet d'importants débats scientifiques, notamment avec la riche littérature nord-américaine (voir Davis, 1994 ; Stapor et Stone, 2004 ; Stone *et al.*, 2004 ; Schwartz et Birkemeier, 2004 ; Otvos et Giardino, 2004 ; Gardner *et al.*, 2005 ; Simms *et al.*, 2006), les articles discutant l'évolution des tombolos – leur architecture stratigraphique et étapes d'accrétion – sont peu nombreux. Le maigre corpus de publications récentes s'est focalisé sur : (1) le rôle des processus contemporains se produisant autour des tombolos (Hine, 1979 ; Dally et Pope, 1986 ; Silvester et Hsu, 1993 ; Flinn, 1997 ; Courtaud, 2000 ; Browder et McNinch, 2006) ; (2) la formulation d'une typologie des saillants et tombolos (Zenkovich, 1967 ; Sanderson et Eliot, 1996) ; et (3) la modélisation des relations géométriques de ces formes par rapport aux brise-lames (Ming et Chiew, 2000). Bien que l'utilisation de brise-lames pour la protection des rivages ait renouvelé l'intérêt pour l'accrétion des saillants, la compréhension des dynamiques et de l'histoire sédimentaire de ces formes sur des échelles de temps centennales et millénaires reste pauvre (Clemmensen *et al.*, 2001).

Les processus commandant la formation des tombolos sont semblables à ceux observés dans la morphogenèse des langues de terre, barres et îles-barrières (Anthony et Blivi, 1999 ; Blivi *et al.*, 2002). Les tombolos se développent en eau peu profonde, derrière des îles barrières où un apport suffisant de sédiments, allié à l'action des vagues et du vent, est favorable à l'accrétion d'une plage. Marées, houle et courants servent de vecteurs de transport en interagissant avec l'île pour établir un motif complexe de diffraction et réfraction des vagues du côté abrité du vent.

En terme de stratigraphie séquentielle, les tombolos font partie du *Highstand Systems Tract* (Catuneanu, 2002, 2005) et, comme les deltas et les estuaires, leurs origines remontent à environ 8000 à 6000 BP (Stanley et Warne, 1994). Ceux-ci sont de forme triangulaire, plus large à leur base où l'accrétion débute et s'amenuisant latéralement vers l'îlot obstacle. L'échelle de ces formations peut varier considérablement : de quelques dizaines de mètres seulement, derrière de petits brise-lames, jusqu'à une quinzaine de kilomètres comme à Orbetello sur la côte italienne (Figure 2.1 ; Gosseume, 1973). Bien que le pontage se fasse en règle générale par un seul tombolo, il existe de bons exemples en Méditerranée de tombolos double (par exemple à Giens, France, voir Blanc, 1959 ; Courtaud, 2000) et même triples (Orbetello, Italie, voir Gosseume, 1973). La formation de tombolo double est attribuée aux vagues approchant les flancs de l'îlot à des angles d'incidence différents, avec des lagunes se développant dans la zone abritée entre les saillants jumeaux (Blanc, 1959).

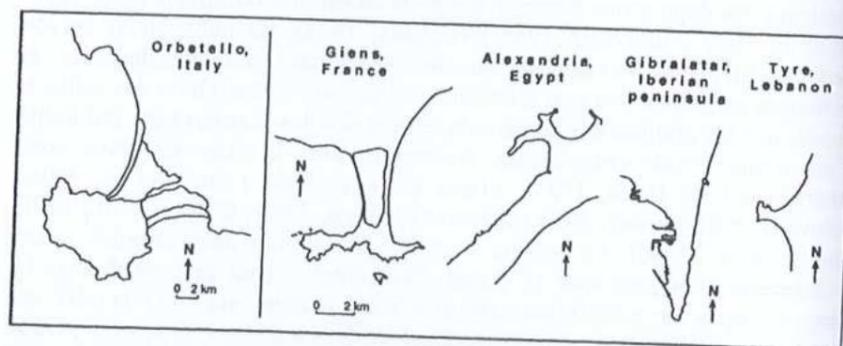


Figure 2.1 : Le tombolo de Tyr comparé à d'autres exemples en Méditerranée.

Les principaux facteurs requis pour la formation de tombolos sont : (1) un fort apport sédimentaire, à la marge des embouchures de cours d'eau par exemple ; (2) la présence d'une barrière physique contre la houle ; et (3) des processus côtiers conduisant au développement de bancs de sables, par exemple, des courants bidirectionnels convergeant vers ces barrières topographiques.

Ici, nous présentons des données géomorphologiques et stratigraphiques de l'isthme de Tyr au Liban. Comparé à d'autres exemples du pourtour méditerranéen (e.g. Orbetello, Giens, Gibraltar et Alexandria), Tyr est un système sédimentaire de taille réduite, ce qui le rend idéal pour mener à bien une recherche scientifique, ainsi que pour formuler un modèle stratigraphique (Figure 2.2). Ces données sont ensuite comparées avec des recherches entreprises sur le tombolo d'Alexandrie dans le delta du Nil en Egypte (Goiran, 2001 ; Goiran *et al.*, 2005).

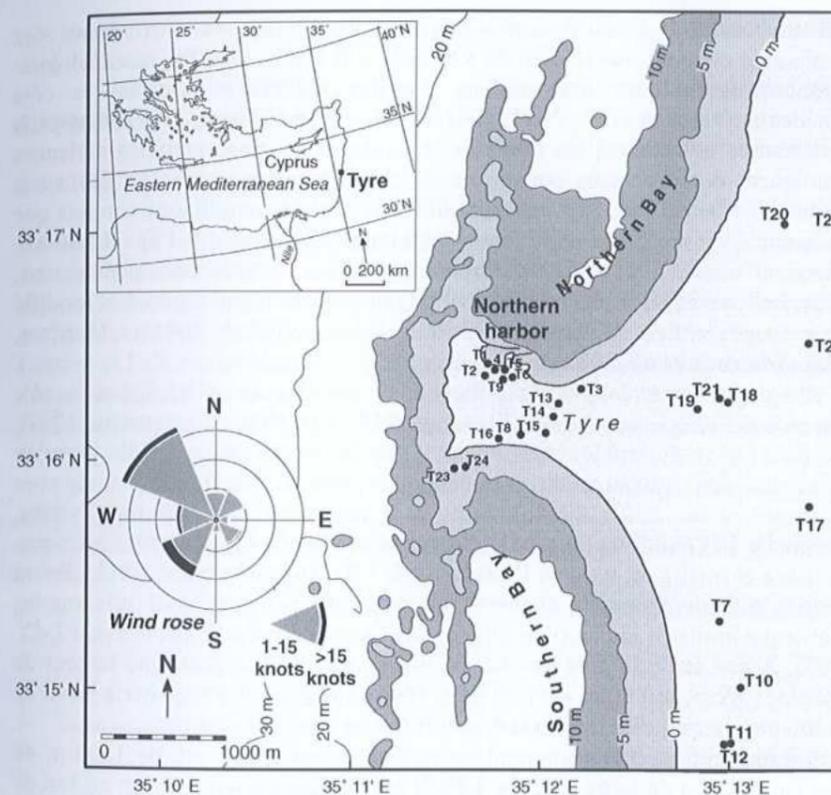


Figure 2.2 : Localisation des sites de carottage sur la péninsule de Tyr.

2.2 Contextes météo-marins et géomorphologiques

La plaine littorale près de Tyr atteint une largeur de 2 à 3 km. C'est atypique du littoral du sud Liban qui est par ailleurs dominé par une série de promontoires du Cénomanien et de l'Eocène qui s'avancent dans la mer (Dubertret, 1955 ; Sanlaville, 1977). Tyr est situé sur un horst soulevé, bordé à l'est par la faille de Roum et au sud par la faille de Rosh Hanikra - Ras Nakoura (Morhange *et al.*, 2006b). Une série de failles orientées E.-N.E. découpe la plaine littorale tyrienne, mettant en contact les formations géologiques du Cénomanien et de l'Eocène. La plaine côtière est dominée par des dépôts quaternaires, à la fois meubles et consolidés. Au cours de l'Holocène, le trait de côte tyrien a été protégé par une chaîne d'affleurements gréseux, faisant partie d'un cordon noyé nord-sud qui s'étendait parallèlement au trait de côte (Dubertret, 1955 ; Sanlaville, 1977). La stratification oblique de ces

affleurements indique qu'ils sont d'origine éolienne. Ces cordons gréseux sont localement connus sous le nom de « ramleh ». Il s'agit, en effet, des analogues chronostratigraphiques des cordons dunaires « kurkar » longeant la côte israélienne (Frechen *et al.*, 2001, 2002, 2004 ; Sivan et Porat, 2004). Ces récifs quaternaires ont atténué les effets de la houle, et les photographies aériennes témoignent des processus complexes de diffraction des vagues sur la façade abritée de l'île de Tyr. Les positions défensives et les mouillages naturels que procuraient ces récifs ont attiré les sociétés humaines à partir de l'âge du Bronze (Marriner *et al.*, 2006a). Des cultures successives, cananéenne, phénicienne, perse, hellénistique, romaine et byzantine ont profondément marqué et modifié les paysages côtiers (Katzenstein, 1997 ; Doumet-Serhal, 2004a ; Marriner, 2007 ; Marriner *et al.*, 2008a).

En dépit des tentatives de Nabuchodonosor II pour relier Tyr à la côte durant le 6^{ème} siècle avant J.-C. (Fleming, 1915 ; Nir, 1996 ; Katzenstein, 1997), nos données stratigraphiques démontrent que la cité demeura une île jusqu'en 332 avant J.-C., séparée du continent par environ 800 à 1000 m de mer (Marriner *et al.*, 2007, 2008b). Suite à la résistance opiniâtre des Tyriens, Alexandre le Grand exploita la bathymétrie peu profonde pour construire une chaussée et mettre un terme à l'insularité de l'île. Quand la cité capitula devant l'armée macédonienne, la chaussée fut renforcée par des blocs pris sur les quartiers détruits de la cité (voir Diodore de Sicile, écrit du 1^{er} siècle avant J.-C., 1967). A son stade le plus avancé, on estime qu'elle atteignait une largeur de 200 pieds grecs, soit 60 m environ (Nir, 1996). Cet exploit d'ingénierie servit de prototype à la chaussée d'Alexandrie édiflée une année plus tard.

Le tombolo de Tyr comprend un saillant orienté ouest/est, de 1500 m de long sur 3000 m de large (Figure 2.2). Il est localisé à environ 9 km au sud de l'embouchure du Litani. Le Litani est le système fluvial le plus important du Liban, transportant environ 284×10^6 m³ de sédiment par an (Abd-el-Al, 1948 ; Soffer, 1994). Nous avons conduit des analyses minéralogiques sur des argiles indiquant qu'elles ont été l'une des sources principales de sédiments pour l'isthme pendant l'Holocène (Marriner, 2007). La composition argileuse du Litani comprend des phases d'illite-smectite (50-60 %) et de kaolinite (40-50 %). Ce très fort contenu en kaolinite est unique pour le sud Liban, tous les systèmes fluviaux entre le Litani et l'Awali attestant d'une signature minéralogique similaire (Ribes *et al.*, 2003).

Le littoral tyrien est soumis à un régime microtidal (<45 cm). L'impact des vagues, les courants et la diffraction de la houle sont les facteurs-clés déterminant la formation du tombolo. Les vents côtiers et la houle dominants viennent du sud-ouest. Or, des changements périodiques de vent venant du nord-ouest donnent lieu à des dérives de courant bi-directionnelles. Les données météo-marines sur les vagues attestent d'états de mer de haute énergie, avec des hauteurs de vagues de plus de 5 m relevées tous les 2 ans environ, et de plus de 7 m tous les 15 ans (Rosen et Kit, 1981 ; Goldsmith et Sofer, 1983 ; Carmel *et*

al., 1985a-b). Le site est exposé à un fetch d'environ 750 km du nord-ouest et de 650 km du sud-est.

2.3 Méthodes et acquisition des données

2.3.1 Méthodes de terrain

A Tyr, un total de 25 carottes a été obtenu (Figure 2.2). Les sédiments ont été extraits en utilisant une tarière mécanique de 10 cm par 200 cm. Toutes les carottes ont été positionnées par GPS et leurs profondeurs calibrées par rapport au niveau moyen de la mer biologique (le sommet de la zone subittorale, Laborel et Laborel-Degeun, 1994). Ce zéro biologique a été établi en utilisant la limite supérieure des populations de balanes (*Balanus*) vivant sur les quais du port moderne. A Alexandrie, 13 carottes ont été forées le long du bord de mer de la cité actuelle (Figure 2.3). Ici, nous présentons les données stratigraphiques de deux carottes, C2 et C9, qui proviennent du tombolo (Hesse, 1998 ; Goiran, 2001 ; Marriner *et al.*, 2008b). Après extraction, toutes les carottes ont été stockées dans les chambres froides du CEREGE à Aix-en-Provence, France.

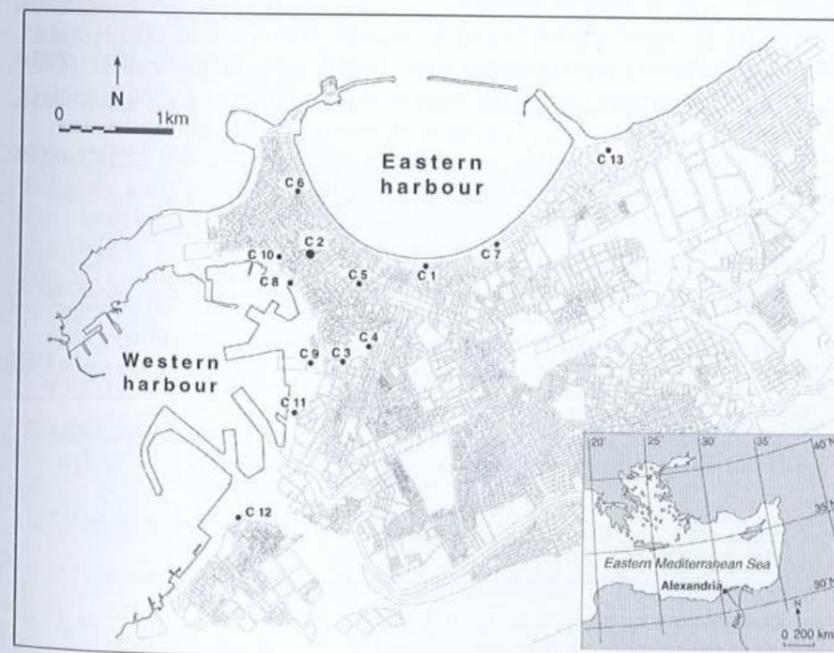


Figure 2.3 : Localisation des sites de carottage à Alexandrie.

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

Échantillon	Code	Échantillon	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	^{14}C BP	±	Cal. BP	Cal. av./ap. J.-C.
T13-9	Poz-9943	1 <i>Tricola pullus</i>	0.9	2650	35	2470-2230	520 av. - 280 av.
T13-15	Poz-9898	4 <i>Rissoa</i> sp.	2	2870	30	2730-2510	780 av. - 560 av.
T13-21	Poz-9944	6 <i>Rissoa</i> sp.	-1.9	2980	35	2840-2690	890 av. - 740 av.
T13-25	Poz-9945	2 <i>L. lacteus</i>	4.7	7450	40	8000-7820	6050 av. - 5870 av.
T13-39	Poz-13916	1 <i>Parvicardium exiguum</i>		7210	40	7780-7580	5830 av. - 5630 av.
T14-6	Poz-13964	<i>Donax semistriatus</i>	-0.3	2245	30	1950-1750	0 ap. - 200 ap.
T14-14	Poz-12137	1 <i>Tricola pullus</i>	3.3	2795	30	2680-2400	730 av. - 450 av.
T14-20	Poz-13915	3 <i>Bittium</i> spp., 1 <i>Rissoa</i> sp., 1 <i>Venus casina</i>	-0.4	6370	35	6950-6730	5000 av. - 4780 av.
T14-23	Poz-12136	4 <i>L. lacteus</i>	3.3	7840	40	8390-8190	6440 av. - 6240 av.
T15-19	Poz-12154	1 <i>Nassarius reticulatus</i>	-0.4	2385	30	2120-1910	170 av. - 40 ap.
T15-25	Poz-13965	2 <i>Mitra ebenus</i>	4	5775	35	6280-6100	4330 av. - 4150 av.
T15-26	Poz-12133	3 <i>L. lacteus</i>	4.4	5740	35	6270-6020	4320 av. - 4070 av.
T15-30	Poz-12134	1 <i>Cerithium vulgatum</i> , 2 <i>P. exiguum</i>	4.3	7680	40	8270-8020	6320 av. - 6070 av.
T18-39	Poz-13966	1 <i>Parvicardium exiguum</i>	-5.6	4180	30	4380-4150	2430 av. - 2200 av.
T18-59	Poz-9946	1 <i>Neverita josephinae</i>	-0.8	5710	40	6240-5990	4290 av. - 4040 av.
T18-64	Poz-9900	1 <i>L. lacteus</i>	3.7	5980	40	6490-6290	4540 av. - 4340 av.
C2-7	Ly-1521	Coquilles	0	1530	35	1180 - 970	770 - 980 ap.
C2-8	Ly-1522	Coquilles	1.05	1635	35	1280 - 1100	670 - 850 ap.
C2-9	Ly-8873	Argiles	-	1720	45	1360 - 1170	590 - 780 ap.
C2-14	Ly-1305 (OxA)	AMS	0.21	1845	45	1510 - 1290	440 - 660 ap.
C2-15	Ly-10567	Coquilles	1.28	1935	55	1630 - 1340	320 - 610 ap.
C2-18	Ly-8871	<i>Cladocora</i>	-2	4195	50	4420 - 4120	2470 - 2170 av.
C2-20	Ly-10570	<i>Cladocora</i>	-2.74	4640	50	5030 - 4770	3080 - 2820 av.
C2-25	Ly-8870	<i>Cladocora</i>	-2.6	5360	55	5870 - 5600	3920 - 3650 av.
C2-27	Ly-8869	Coquilles	1.3	7810	55	8390 - 8160	6440 - 6210 av.
C9-20	Ly-10615	<i>Cladocora</i>	-2,24 ‰	2330	40	2070 - 1830	120 av. - 120 ap.
C9-28	Ly-10617	<i>Cladocora</i>	-2,26	5485	50	5980 - 5720	4030 - 3770 av.

Tableau 2.1 : Datations radiocarbone de Tyr (non grisées) et d'Alexandrie (grisées).

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

2.3.2 Analyse des sédiments

Les descriptions de faciès (e.g. couleur, pétrofaciès) ont été entreprises dans des conditions de laboratoire standardisées, avant échantillonnage pour établir une stratigraphie générale. Les échantillons ont été séchés dans une étuve à 40°C et décrits ensuite avec un code Munsell. Les échantillons bruts de sédiments secs ont été pesés et lavés à l'aide de deux tamis, 2 mm et 50 µm, pour séparer les fractions de ballast (>2 mm), de sable (2 mm à 50 µm), et de limons et argiles (<50 µm). Dans la plupart des cas, 100 g de brut sec furent lavés pour assurer la validité statistique des résultats. Les fractions sèches furent pesées et les données reportées sur des logs stratigraphiques.

La fraction sableuse a été tamisée mécaniquement. Au moins 50 g de sable sec ont été utilisés avec 15 tamis dont les mailles allaient de 1,6 mm à 0,063 mm, et ensuite pesés. Des analyses statistiques ont été conduites ensuite pour caractériser les milieux de sédimentation.

2.3.3 La biostratigraphie

L'identification de la macrofaune a été effectuée sur le ballast, et les espèces attribuées à des assemblages selon les systèmes de classification de Péres et Picard (1964), Péres (1982), Barash et Danin (1992), Poppe et Goto (1991, 1993), Bellan-Santini *et al.* (1994), Bitar et Kouli-Bitar (1998) et Doneddu et Trainito (2005). Les espèces *in situ* et *extra situ* ont été identifiées.

Les ostracodes ont été extraits de la fraction sableuse sèche (>150 µm). Un minimum de 100 valves ont été identifiées et assignées à cinq assemblages sur la base de leurs préférences écologiques : eau douce, eau laguno-saumâtre, eau laguno-marine, eau côtière et marine.

2.3.4 La chronostratigraphie

Les datations radiocarbone et de nombreuses données archéologiques déterminent de façon précise la chronologie des différents milieux de sédimentation observés (Tableau 2.1). Toutes les dates ont été calibrées en utilisant OxCal version 3.10 (Bronk Ramsey, 2001). Les éléments datés incluent des graines, du bois et du charbon de bois, et des coquilles marines *in situ*.

2.3.5 Les modèles numériques

A Tyr, l'ensemble des données stratigraphiques est basé sur une série de quatre carottes (voir Figure 2.2), de 8 à 16 m de profondeur. Un transect nord-sud fut réalisé dans le but d'élucider les étapes d'accrétion des corps sédimentaires. En collaboration avec S. Meulé (CEREGE CNRS), un modèle de propagation de la houle a été utilisé afin de mieux comprendre la diffraction de

la houle autour de l'île barrière, pour la période 5500 BP et aujourd'hui (Marriner *et al.*, 2007). Les données bathymétriques ont été calculées à partir des cartes marines SHOM de la zone littorale tyrienne (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 1998, Ports du Liban, 7514, 1:25000) ainsi que l'ensemble de données chronostratigraphiques, pour obtenir une reconstitution représentative de Tyr il y a environ 5500 ans. En nous basant sur nos observations de l'archéologie et de la stratigraphie côtière, nous avons pris en compte un changement relatif du niveau marin de 5 m. Ce modèle utilise les équations *Steady-State Spectral Wave Model* (STWAVE) avec un spectre de houle JONSWAP (McKee Smith *et al.*, 2001). Au total, les équations furent itérées pour six modèles correspondant à des scénarios de houle pour aujourd'hui et 5500 BP à 225°, 270° et 315° (directions dominantes de la houle). Les spectres de distribution des vagues ont été générés pour chacune des directions en utilisant une hauteur standard de houle de 2,6 m avec une période de six secondes. Chaque spectre a été propagé ensuite sur la bathymétrie numérisée pour modéliser la direction de la houle (Dir), la hauteur significative de houle (Hs) et la période des pics de houle en secondes (Tp). Les fichiers de sorties numériques comprennent une surface de maillage de 99 cellules nord-sud par 65 cellules est-ouest, conduisant à un total de 6425 points.

2.4 Résultats

2.4.1 Résultats chronostratigraphiques

Ici nous décrivons les données stratigraphiques obtenues à partir des quatre carottes.

2.4.1.1 Carotte TXVIII base du saillant El Bass/Mashuk : description

La carotte TXVIII fut forée entre Tell Mashuk et El Bass. Cette zone comprend la partie la plus ancienne du saillant *sensu stricto* ; l'enregistrement sédimentaire atteste de l'accrétion et de la progradation du cordon littoral à partir de 6000 BP. Le substrat argileux est recouvert par une fine couche de sables marins (unité A) datés vers 6000 BP (Figures 2.4 et 2.5). L'unité A est dominée par des mollusques provenant des sables infralittoraux (*Bittium* sp., *Tricolia pullus*, *Rissoa lineolata*) et des sables fins bien calibrés (*Nassarius pygmaeus*, *Macoma* sp., *Macoma cumana*, *Rissoa monodonta*). Des groupes d'ostracodes laguno-marins (*Loxococoncha* spp., *Xestoleberis* sp.) et côtiers (*Aurila convexa*, *Pontocythere* sp., *Urocythereis* sp.) caractérisent cette unité. Celle-ci enregistre l'accrétion rapide d'un cordon vers 5500 BP ; un environnement protégé est indiqué par les proxies biosédimentologiques (unités B et C).

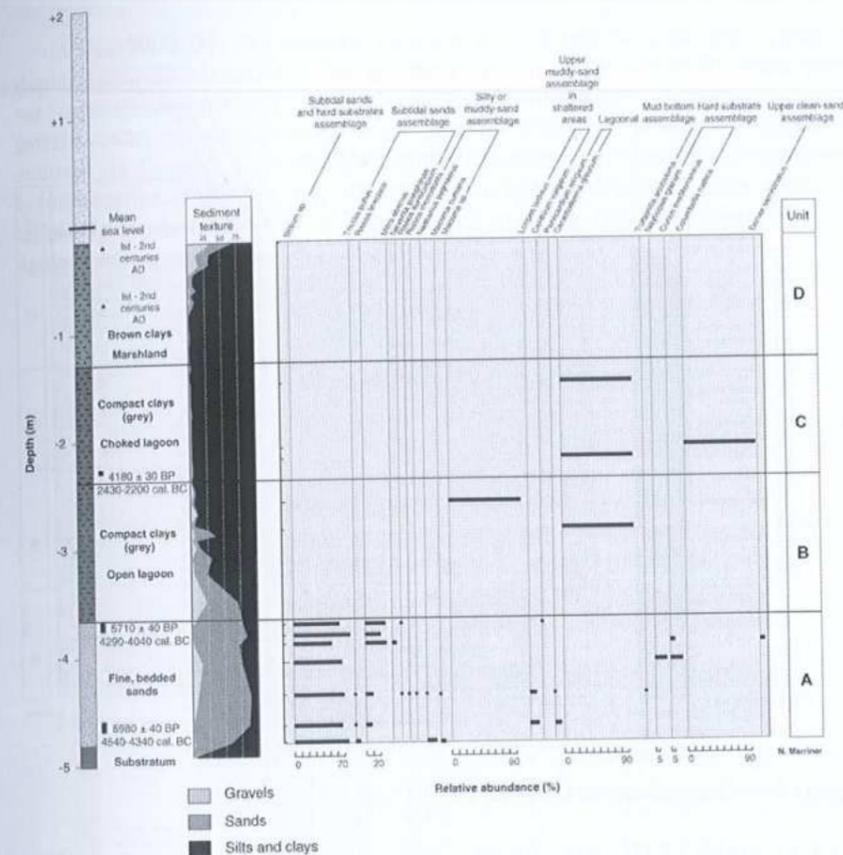


Figure 2.4 : Macrofaune de la carotte TXVIII.

Dans l'unité B, une sédimentologie typique de plages passe à un environnement lagunaire. Le sommet du faciès est daté de 4180 ± 30 BP, ou 2430-2200 cal. avant J.-C. Les rares mollusques présents sont exclusivement dominés par *Cerastoderma glaucum*, une espèce lagunaire. Dans l'unité C, les limons et argiles composent >95 % de la fraction totale des sédiments. Ces sédiments fins, alliés à de rares *Cerastoderma glaucum*, attestent de la présence continue d'une lagune. Nous émettons l'hypothèse d'une lagune, à présent obstruée, qui pourrait avoir servi de mouillage naturel pendant l'âge du Bronze (Marriner *et al.*, 2008a). L'unité D constitue un lithofaciès de vases brunes datant de l'époque romaine. Cette unité n'a pas fourni de faune marine ; des macrorestes de plantes et des tests d'escargots fossiles témoignent d'un environnement marécageux qui persista dans la zone d'El Bass jusqu'en 1864, année à partir de laquelle il fut drainé à des fins sanitaires et agricoles (Carmona et Ruiz, 2004).

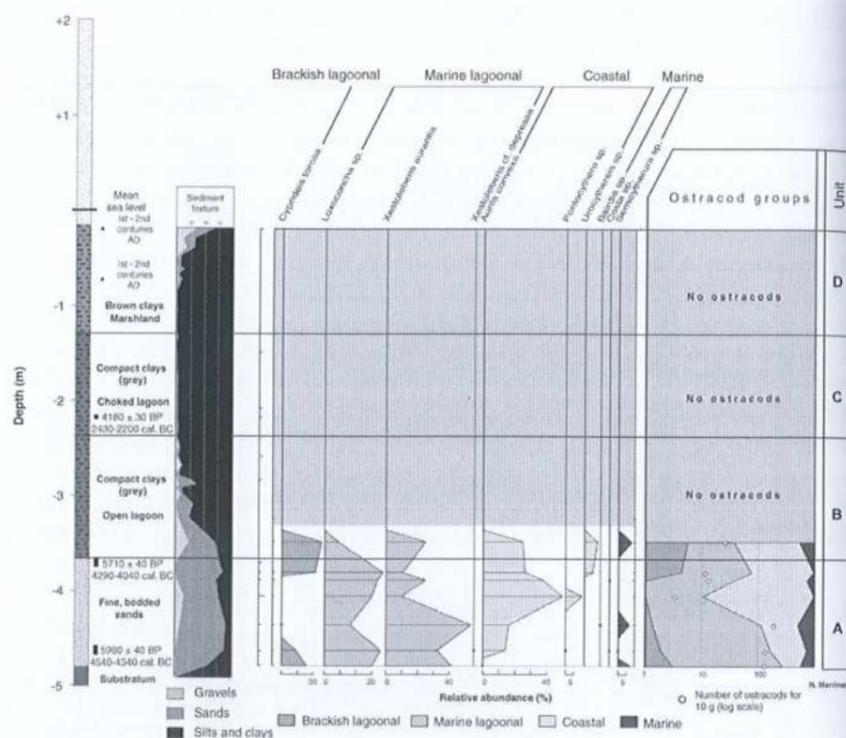


Figure 2.5 : Ostracofaune de la carotte TXVIII.

2.4.1.2 Carotte TXIII : description

La carotte TXIII provient du lobe septentrional du tombolo, juste au nord de l'ancienne chaussée. Environ 10 m de sédiments holocènes enregistrent la transgression marine et la progradation du flanc nord du tombolo. La transgression est datée vers 8000 BP et est recouverte par une unité de limons coquilliers et de sables fins mal triés (Figure 2.6). L'unité A est lithodépendante, avec un remaniement du substrat d'argile sous-jacent (Cohen-Soffer et al., 2005). L'ostracofaune est dominée par l'espèce laguno-saumâtre *Cyprideis torosa*, avec une faible présence d'espèces laguno-marines (*Loxoconcha* spp.) et côtières (*Aurila convexa*, *Aurila woodwardii*) (Figure 2.7). Un environnement marin protégé est attesté par la macrofaune qui comprend des espèces provenant de sables vaseux de mode calme (*Cerithium vulgatum*, *Loripes lacteus*), de sables infralittoraux (*Rissoa lineolata*, *Rissoa scurra*, *Mitra ebenus*) et d'un assemblage lagunaire (*Parvicardium exiguum*, *Hydrobia acuta*, *Cerastoderma glaucum*, Figure 2.8).

Après 7000 BP, des cordons transgressifs ont envahi cette zone, avec un déplacement de ballast et sables grossiers vers le rivage (unité B). Cette unité est caractérisée par les assemblages macrofaunistiques suivants : sables infralittoraux, sables vaseux de mode calme et roches infralittorales. Un déclin soudain de l'espèce *Cyprideis torosa* est compensé par des pics d'ostracodes laguno-marins et côtiers. Des espèces provenant du domaine marin extérieur telles *Semicytherura* spp., *Callistocythere* spp. et *Neocytherideis* sp. sont également venues s'échouer à cet endroit.

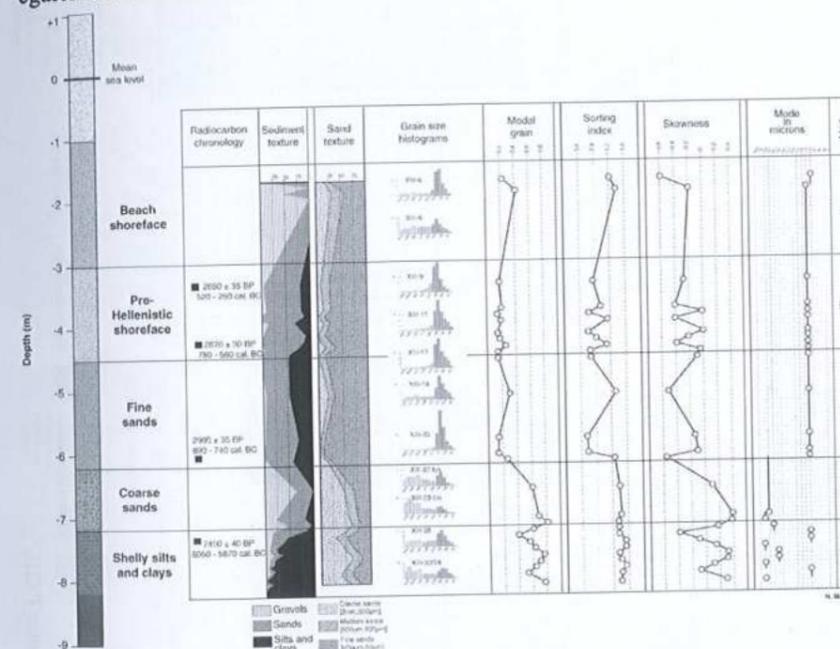


Figure 2.6 : Analyses granulométriques de la carotte TXIII.

Autour de 3000 BP, sur un fond de décélération de la hausse du niveau marin « global » (Sivan et al., 2001), nous enregistrons l'accrétion rapide d'un lithofaciès de sables fins bien triés (unité C). Les espèces *Bittium reticulatum* et *Turboella similis* (sables infralittoraux/roches infralittorales) dominent cette unité. L'abondance des espèces d'ostracodes laguno-marins et côtiers témoigne d'un milieu protégé. Le sommet de l'unité D est daté de 2650 ± 35 BP. Si l'on intègre 3 m de changement relatif du niveau de la mer depuis l'Antiquité, cela suggère que la surface du proto-tombolo fut localisée à 2 ± 1 m sous la surface de l'eau dès le 4^{ème} siècle avant J.-C. L'unité E comprend une couche de sédiments mal triés qui deviennent plus grossiers vers le haut et dans lesquels sont absents les macro- et microfossiles. Nous attribuons cela à une progradation du rivage à l'époque byzantine.

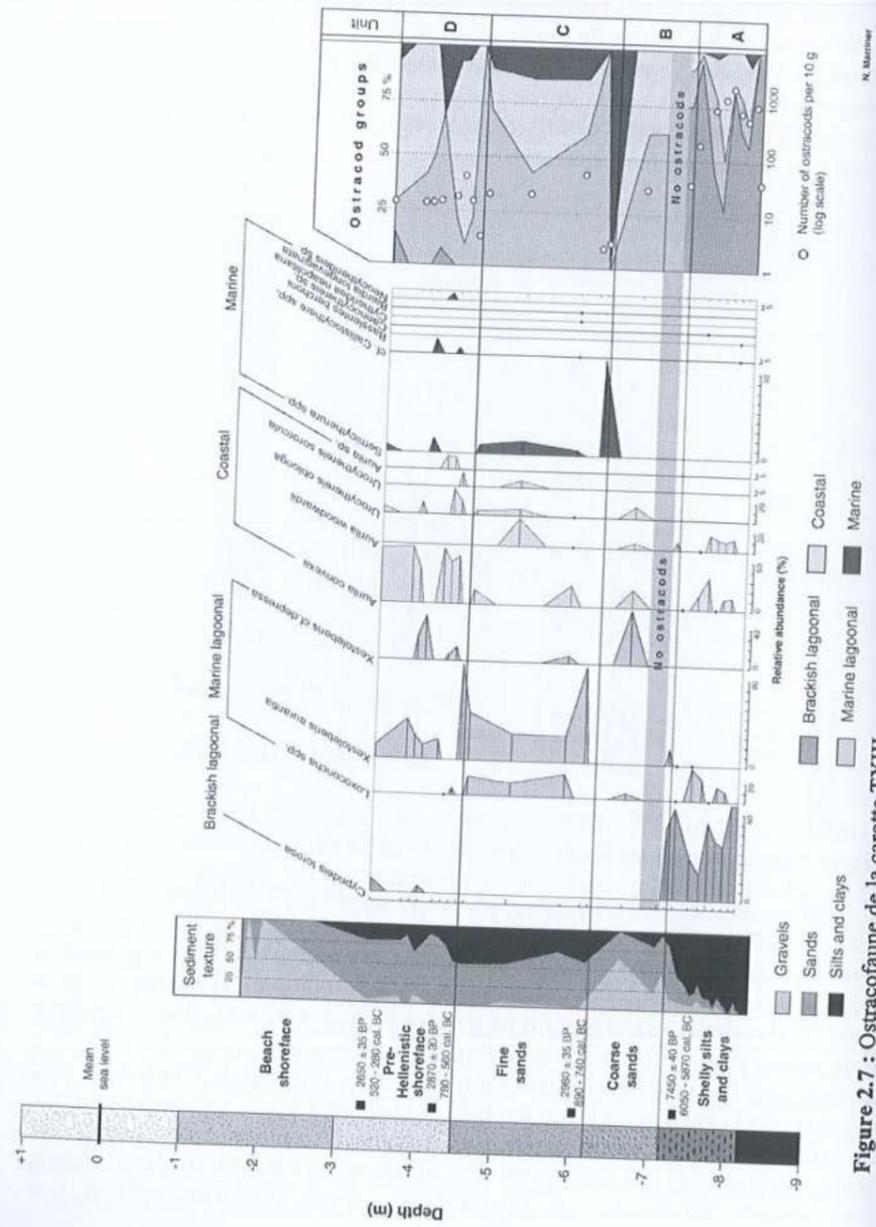


Figure 2.7 : Ostracofaune de la carotte TXIII.

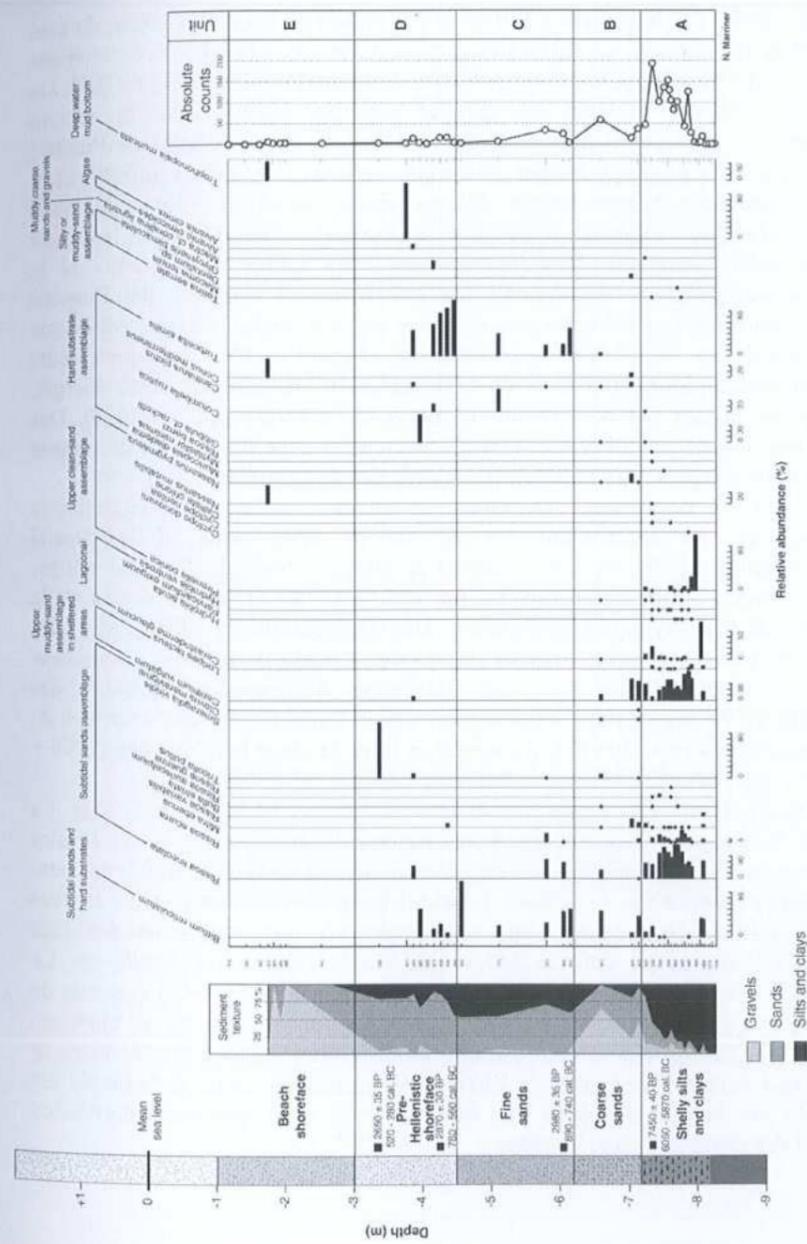


Figure 2.8 : Macrofaune de la carotte TXIII.

2.4.1.3 Carotte TXIV : description

La carotte TXIV se situe à 120 m au sud du site de la carotte TXIII, du côté opposé de la chaussée. La surface marine est datée vers 7800 BP et caractérisée par une unité de sable mal trié qui recouvre le substrat argileux (Figure 2.9). Du sable fin et une fraction de gravier coquillier caractérisent la texture sédimentaire. Quatre groupes écologiques dominent la macrofaune de l'unité : les sables fins de haut niveau (*Pirenella conica*), les sables infralittoraux (*Rissoa lineolata*, *Rissoa dolium*, *Mitra ebenus*), les sables vaseux de mode calme (*Loripes lacteus*, *Cerithium vulgatum*), l'assemblage lagunaire (*Parvicardium exiguum*, *Hydrobia ventrosa*), les sables infralittoraux et le substrat dur (*Bittium reticulatum*). L'ostracofaune est dominée par l'espèce laguno-saumâtre *Cyprideis torosa*, avec des espèces laguno-marines telles que *Loxoconcha* sp. et *Xestoleberis aurantia* (Figure 2.10). Ces indicateurs biosédimentologiques traduisent un environnement lagunaire de basse énergie, protégé de la mer par des cordons de plage et de berme (Otvos, 2000). Des petits pics d'espèces côtières et marines coïncident avec des phases de rupture de ces barrières protectrices pendant des épisodes de tempêtes.

L'unité B comprend des sables limoneux, résultat de l'aggradation sédimentaire. La macrofaune est absente de cette unité et la densité ostracofaunistique faible, avec seulement quelques tests de l'espèce côtière *Aurila convexa*. Elle est recouverte par l'unité C, un faciès de sables et de ballast mal triés, typiques des estrans. Une macrofaune de substrat dur mal préservée (*Gibbula varia*, *Fusinus pulchellus*, *Chama gryphoides*, *Cantharus pictus*, *Conus mediterraneus*) et l'absence d'ostracodes attestent des dynamiques de zone battue, caractérisées par le remaniement des coquilles de mollusques importés. En effet, il s'agit d'un front de plage hellénistique (2795 ± 30 BP, TXIV 14).

L'unité D est caractérisée par un faciès de sables limoneux bien triés. La densité faunistique est pauvre, avec de rares tests de *Donax semistriatus* (sables fins de haut niveau) indiquant des taux de sédimentation rapides qui empêchent le développement d'une biocénose. L'ostracofaune est dominée par des espèces laguno-marines *Loxoconcha* spp. et *Xestoleberis aurantia*, avec des pics secondaires d'espèces côtières telles que *Aurila convexa* et *Aurila* sp. Le sommet de l'unité est daté de 2245 ± 30 BP (0-200 cal. AD) et atteste de taux d'accrétion rapides du saillant, suivant la construction de la chaussée d'Alexandre. Cette croissance rapide du proto-tombolo gêna considérablement la dérive littorale. Une baisse de l'hydrodynamisme autour de la chaussée est indiquée par la granulométrie fine de cette unité ainsi que par l'abondance relative des espèces laguno-marines.

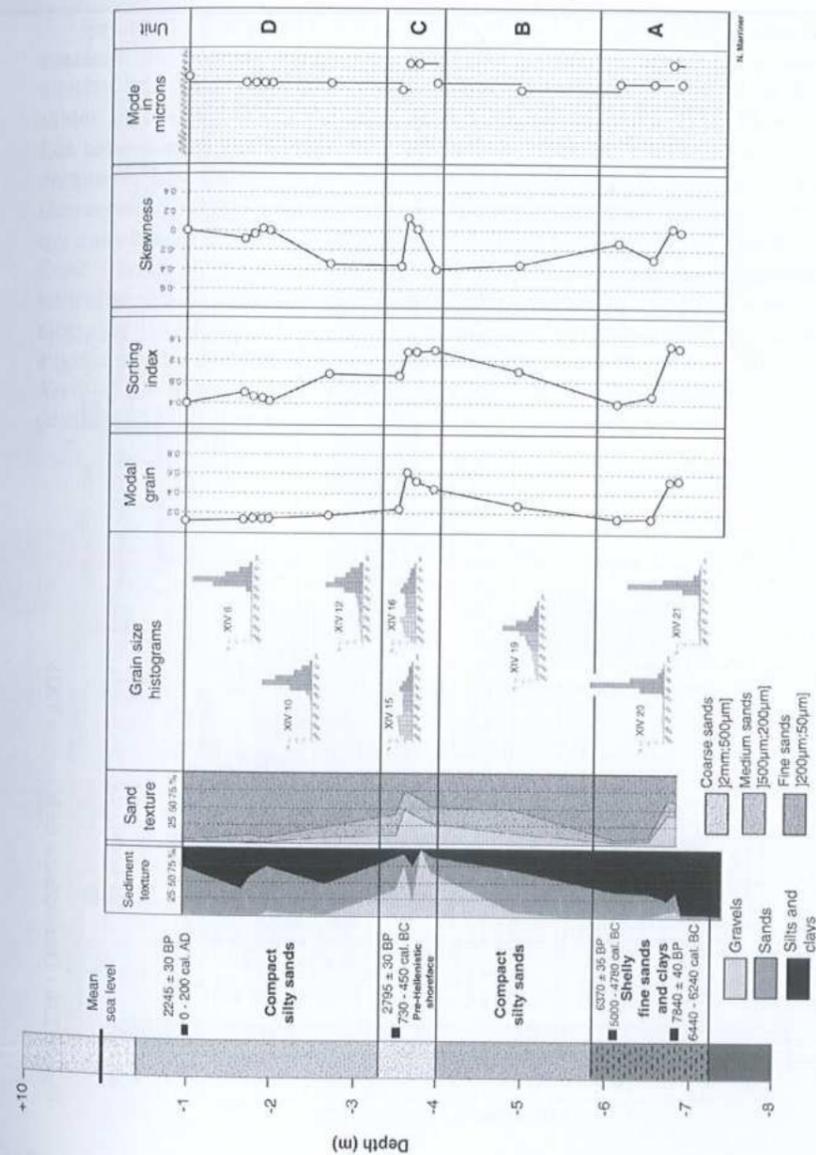


Figure 2.9 : Analyzes granulométriques de la carotte TXIV.

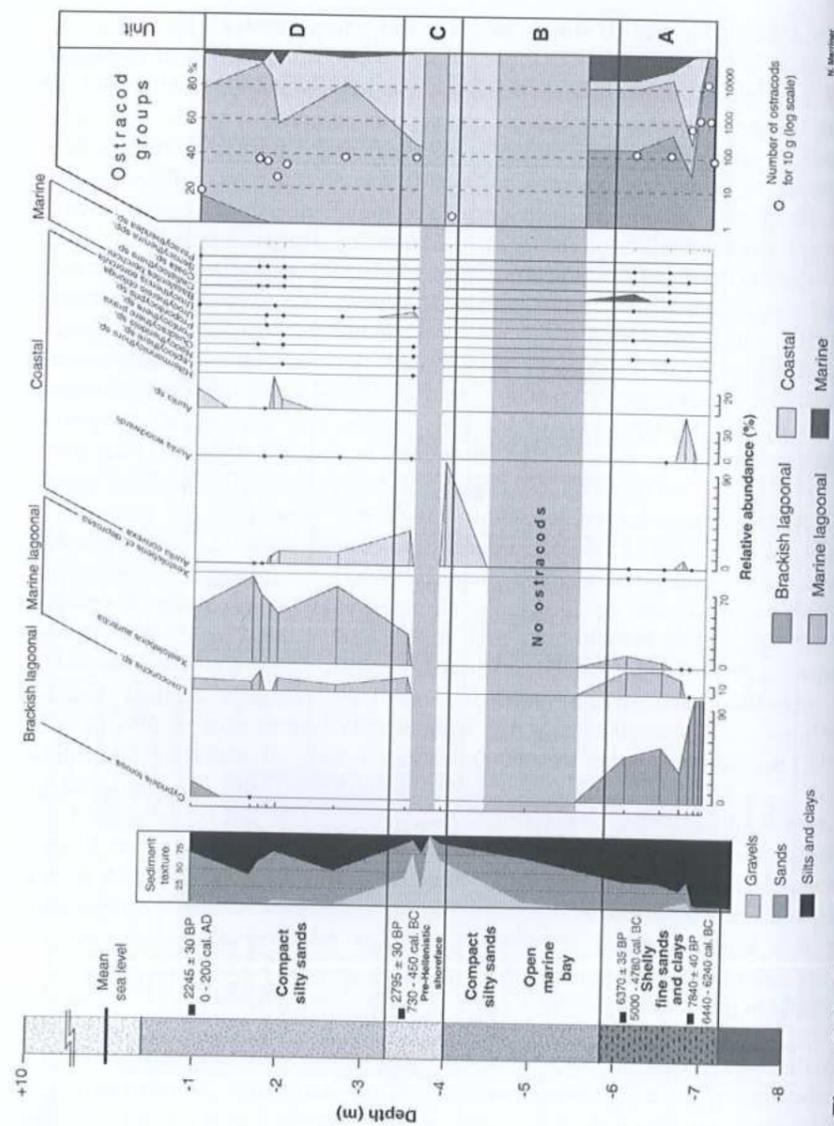


Figure 2.10 : Ostracofaune de la carotte TXIV.

2.4.1.4 Carotte TXV : description

La carotte TXV est située à 250 m au sud de l'ancienne chaussée. Une épaisseur de 16,5 m de sédiments s'est accumulée depuis 8000 BP. Comme l'attestent les autres carottes du tombolo, l'unité basale A comprend un faciès de sables limoneux avec une grande quantité de débris coquilliers (Figure 2.11). Les assemblages de sables vaseux de mode calme et les sables infralittoraux dominant. Les espèces laguno-saumâtre (*Cyprideis torosa*) et laguno-marines (*Loxoconcha* spp., *Xestoleberis aurantia*) caractérisent l'ostracofaune, données qui corroborent l'existence d'un environnement lagunaire abrité (Figure 2.12). Dans l'unité B, la transition vers une fraction sableuse grossière mal triée témoigne des cordons dunaires rétrogradants, remaniant le stock sédimentaire alors que les formes transgressives recouvrent l'environnement lagunaire. Une augmentation des espèces d'ostracodes laguno-marins (*Loxoconcha* spp., *Xestoleberis aurantia*) et côtiers (*Aurila convexa*, *Aurila woodwardii*) se fait au détriment de l'espèce auparavant abondante *Cyprideis torosa*.

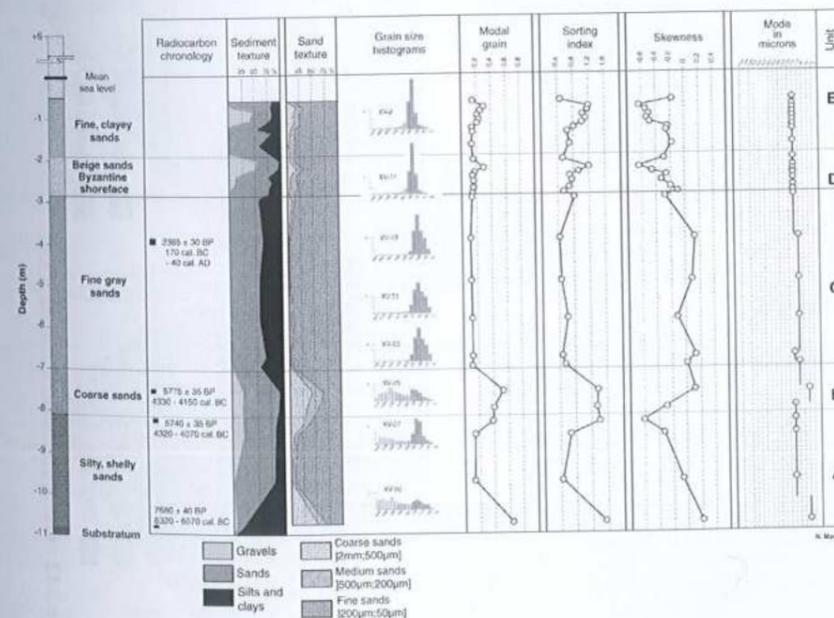


Figure 2.11 : Analyses granulométriques de la carotte TXV.

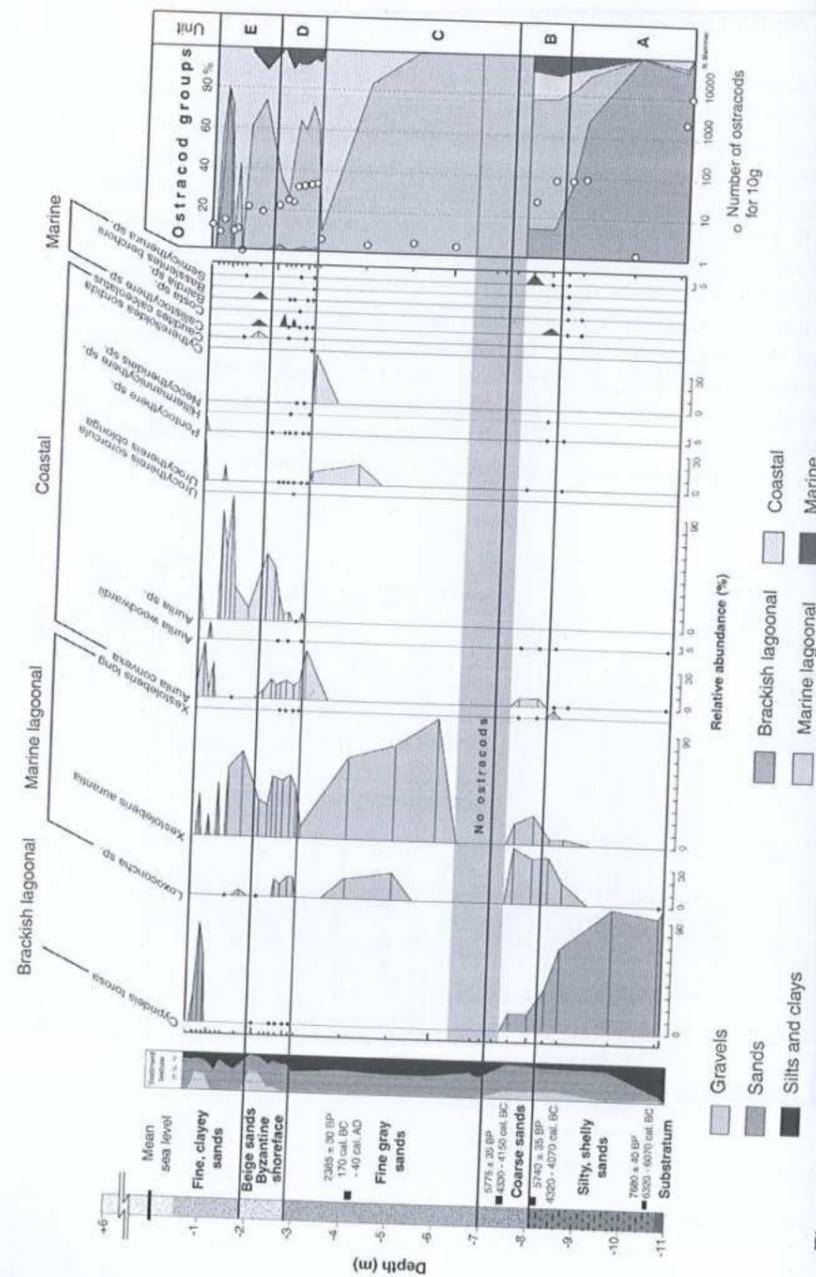


Figure 2.12 : Ostracofaune de la carotte TXV.

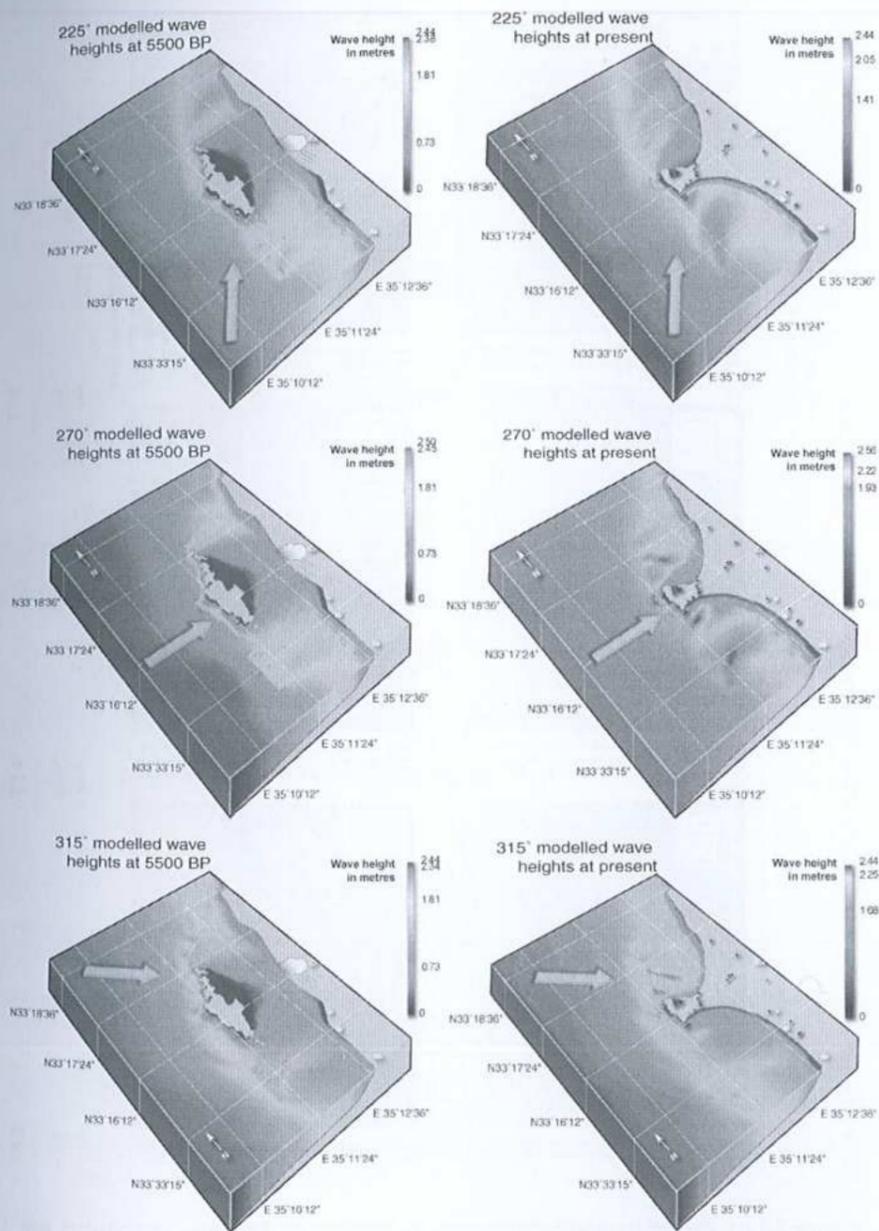


Figure 2.13 : Hauteur des vagues pour la propagation de la houle (d'après Marriner *et al.*, 2007).

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

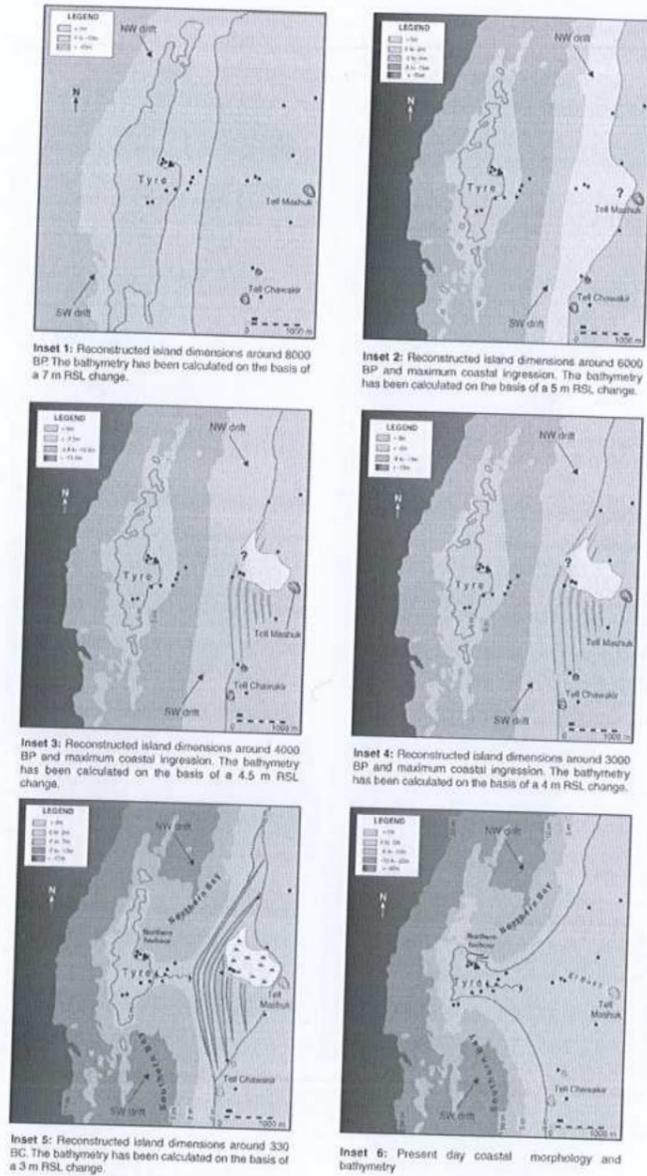


Figure 2.14 : Evolution morphodynamique du tombolo de Tyr entre 8000 BP et nos jours. Les données bathymétriques proviennent de la carte marine SHOM 1998 de la zone côtière tyrienne (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 1998, Ports du Liban, 7514, 1:25000).

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

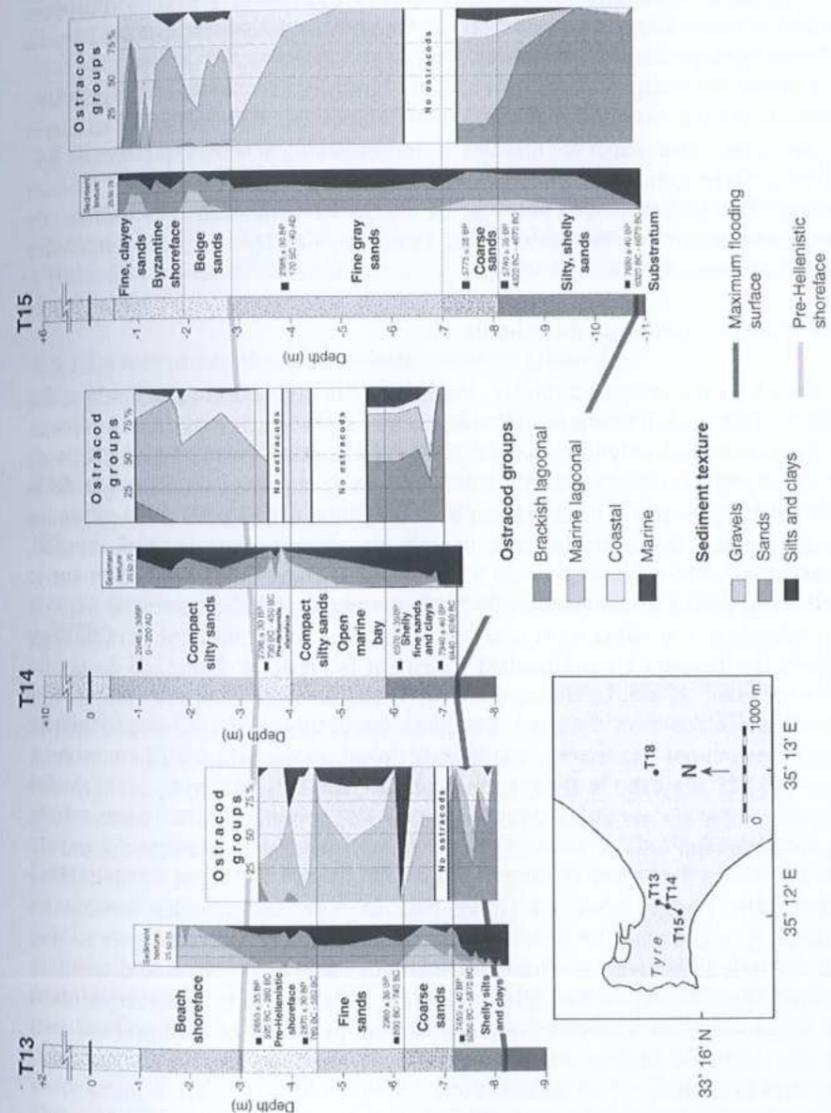


Figure 2.15 : Chronostratigraphie et ostracofaune du tombolo, carottes TXIII-TXV.

L'unité C est constituée d'une unité de sables fins bien triés analogue à celles observées dans les carottes TXIII et TXIV. L'unité est caractérisée par des espèces d'ostracodes laguno-marins, avec une faible présence d'espèces côtières (*Aurila convexa*, *Urocythereis oblonga*, *Neocytherideis* sp.). La base de ce faciès est dépourvue d'ostracodes.

L'unité D comprend un sable plus grossier de couleur beige. Une augmentation des ostracodes côtiers est contemporaine d'un saillant sous-marin en accréation. Des espèces marines comme *Semicytherura* sp., *Costa* sp., *Callistocythere* spp., *Basslerites berchoni* et *Bairdia* spp. sont venues s'échouer pendant des périodes de plus fortes houles et tempêtes. Un milieu de sédimentation protégé est attesté dans l'unité E, dominée par des ostracodes laguno-marins et côtiers.

2.4.2 Modèle numérique de la houle

Pour les simulations à 5500 BP, les effets de la diffraction de la houle et des hauts fonds sont clairement représentés. La houle provenant du large est répartie par des mouvements dynamiques latéraux dans la zone abritée derrière l'île de Tyr. Des projections à 5500 BP indiquent que la majorité de l'énergie de la houle est bloquée par le brise-lames nord-sud (Figure 2.13). Au moment où les vagues passent cet obstacle, leur énergie se répartit dans la zone abritée, réduisant la hauteur des vagues de >1,80 m sur le flanc ouest à <0,75 m sur le côté est (en partant d'une hauteur de houle propagée de 2,6 m avec une période de 6 secondes). Cet angle mort créa un abri naturel important pour le mouillage offshore des bateaux en augmentant fortement la capacité d'ancrage de la cité (Marriner *et al.*, 2007). Le transect des carottages est situé dans une zone de très faible énergie (environ 0,40 m), évoquant l'accréation rapide du fond marin. Nous en concluons que l'accréation initiale du proto-tombolo a eu lieu en deux zones : (1) le long de la marge continentale de Tell Mashuk, les données sédimentologiques montrent qu'un espace disponible limité mena à la progradation rapide de la plaine littorale du saillant. Ceci est corroboré par de faibles hauteurs de vagues le long du flanc continental ; (2) dans un deuxième temps, dans l'angle abrité derrière l'île de Tyr, les modèles mettent en évidence une brusque baisse des hauteurs de vagues accompagnée d'une diminution de la hauteur des fonds marins. La présence d'un espace disponible important signifie, cependant, que le tombolo resta une forme submergée dans cette zone. Par un processus de rétroaction positive, la bathymétrie peu profonde altéra la diffraction, conduisant à la remontée des fonds dans des zones plus profondes entre l'île et la côte.

Une subsidence tectonique de l'île de Tyr au cours de l'époque romaine tardive (Morhange *et al.*, 2006b) se traduit par un effet brise-lames moins prononcé aujourd'hui qu'il y a 5500 ans. Des zones protégées existent au nord et au sud du tombolo pour des incidences de 225° et 315°. Les données

météorologiques indiquent que les vents de nord-ouest sont également très fréquents (33 % du total). En effet, la diffraction de la houle du nord-ouest apparaît être le mécanisme dominant de transport des sédiments du Litani vers la péninsule tyrienne. Les modèles suggèrent que les vents et houles d'ouest, bien que moins fréquents que les vents dominants du sud-ouest et du nord-ouest, jouèrent aussi un rôle important dans l'accréation du proto-tombolo.

2.5 Discussion et interprétations

Dans cette section nous marions les données chronostratigraphiques et les modèles numériques pour reconstituer la morphogenèse du tombolo de Tyr à l'Holocène. Nous comparons, ensuite, ce modèle tripartite avec le tombolo d'Alexandrie.

2.5.1 La morphogenèse du tombolo : modèle tripartite

Les analyses à haute résolution nous éclairent sur trois aspects géomorphologiques importants : (1) l'accréation naturelle du fond marin de Tyr à l'Holocène ancien ; (2) la formation d'un *wave-dominated* proto-tombolo à partir de 6000 BP ; et (3) les impacts anthropiques de la chaussée hellénistique (Figure 2.14).

2.5.1.1 Origine et développement – transgression holocène (8000 à 6000 ans cal. BP)

Le transect nord-sud comprenant trois carottes, TXIII, TXIV et TXV, élucide la stratigraphie du tombolo. Dans cette zone protégée, la Surface Maximum d'Inondation est datée de 8000 BP (Figure 2.15). Les signatures biosédimentologiques de cette transgression comprennent des limons et des sables coquilliers. Des sédiments fins et des faunes d'eaux saumâtres et laguno-marines traduisent une zone protégée et peu profonde à cette époque. Comme l'en attestent les modèles numériques, le cordon gréseux qui abrita Tyr a agi aussi comme un brise-lames protecteur, parallèle au rivage.

La carotte TXVIII fut forée entre Tell Mashuk et El Bass, la partie la plus ancienne du saillant continental *sensu stricto*. Deux faciès témoignent de la première croissance de la marge du tombolo. Le substrat argileux est recouvert par une fine couche de sables marins datés vers 6000 BP (Figures 2.4 et 2.5). Après 5500 BP, le passage des sables marins aux sédiments lagunaires correspond à l'accréation du saillant, culminant avec l'isolation de la lagune. Cette accréation côtière rapide est expliquée par une stabilisation du niveau relatif de la mer à partir de l'Holocène moyen ainsi que par un fort apport de sédiments qui conduisit à une diminution de l'espace disponible. Bien que la densité du maillage de carottes ne permette pas d'établir les dimensions précises

de la lagune, les prospections topographiques et géomorphologiques locales dans cette zone suggèrent qu'à son extension maximale, elle pourrait avoir atteint le pied de Tell Mashuk, un comptoir de l'âge du Bronze qui se trouve à présent enfermé dans les terres à environ 1700 m de la mer (Marriner *et al.*, 2008a).

La stratigraphie au nord et au sud de cette lagune a révélé des systèmes de cordons progradants. La carotte TVII, montre que la base de Tell Chawakir fut submergée avant de prograder rapidement pour former la base continentale sud du saillant. Entre Tell Chawakir et Tell Rachidiye, la stratigraphie a révélé une série de paléosols pléistocènes similaires à ceux rencontrés sur la côte de Carmel (Cohen-Seffer *et al.*, 2005). Aucun dépôt marin n'a été retrouvé dans cette zone, attestant de la stabilité relative de cette partie de la façade maritime de Tyr pendant l'Holocène.

2.5.1.2 L'accrétion du proto-tombolo (6000 à 2400 ans cal. BP)

Après 6000 BP, la baie de Tyr fut recouverte par des dépôts de sable et de ballast grossiers. Un déclin abrupt de l'espèce *Cyprideis torosa* est compensé par des ostracodes côtiers, attestant d'une ouverture importante de l'environnement. Nos données suggèrent que la stabilité du niveau marin après 6000 BP fut le principal facteur du développement initial du tombolo de Tyr (Figure 2.16).

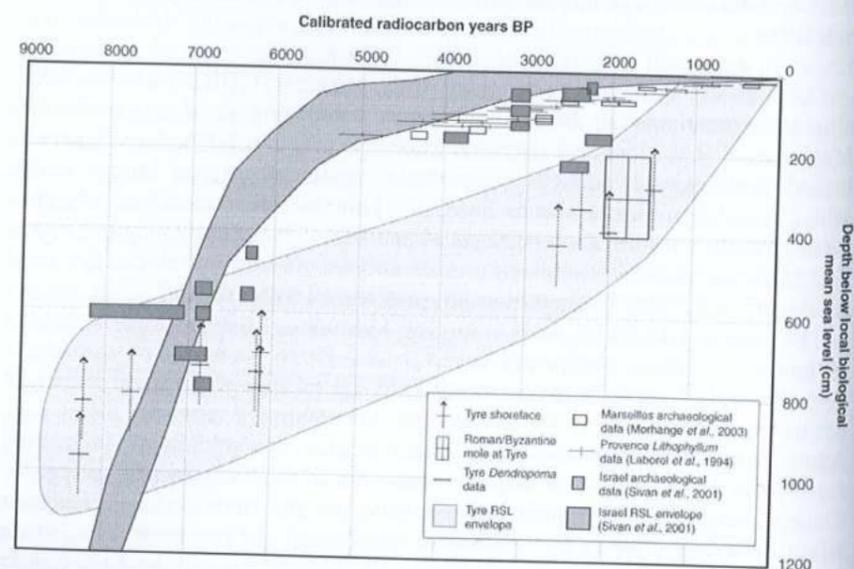


Figure 2.16 : Tendances du niveau relatif de la mer à Tyr depuis 8000 BP.

Après 3000 BP, les données chronostratigraphiques mettent en évidence des vitesses de sédimentation très rapides, $>0,3$ cm/an (Figure 2.17). Nous attribuons cela à l'érosion des bassins versants voisins induite par l'Homme, notamment l'expansion de l'agriculture et les défrichements, qui causèrent un apport accru de sédiments vers les dépo-centres côtiers. Les archives paléoclimatiques du bassin levantin évoquent une transition vers un climat frais et humide pendant l'âge du Bronze tardif et l'âge du Fer ancien ainsi que pendant les périodes romaine/byzantine tardives (Bar-Matthews *et al.*, 1997 ; Schilman *et al.*, 2001 ; Enzel *et al.*, 2003 ; McGarry *et al.*, 2004).

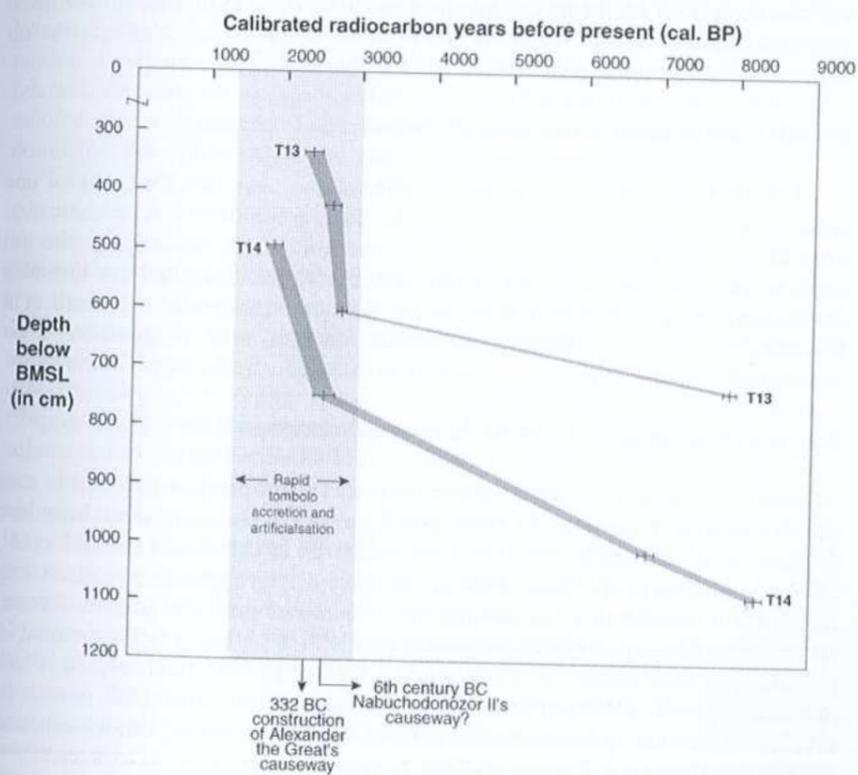


Figure 2.17 : Vitesse de sédimentation, carottes TXIII et TXIV.

Au cours de la période hellénistique, l'île de Tyr s'étendait sur ~2500 m de long par ~750 m de large, flanquée à l'est par un banc de sable naturel à 1 ou 2 m sous le niveau moyen de la mer (Marriner *et al.*, 2007). Sunamura et Mizuno (1987) ont calculé qu'un tombolo se forme lorsque le rapport entre la distance

de l'île à la côte et sa longueur est inférieur ou égal à 1,5 ; un saillant se forme pour un ratio dans l'intervalle 1,5-3,5 ; et aucune avancée de la côte ne se produit quand ce ratio est supérieur à 3,5. A Tyr, le ratio est à présent de 1,47, à la valeur limite de formation d'un tombolo. Cependant, au cours de l'âge du Fer, ce ratio fut moins élevé, par exemple de 0,55, attestant d'une île allongée à proximité du trait de côte voisin (Marriner *et al.*, 2007, 2008b ; **Figure 2.14**). Ces grands écarts sont dus notamment à l'effondrement tectonique du horst tyrien pendant la période romaine tardive (Morhange *et al.*, 2006b ; Elias *et al.*, 2007), avec une réduction d'environ 50 % de la taille de l'île barrière (Marriner, 2007). La diffraction des vagues et une chute de l'hydrodynamisme ont conduit à l'accrétion d'un sédiment fin du côté sous le vent de Tyr, scénario confirmé par la modélisation numérique (**Figure 2.13**). Cette géomorphologie fut un élément critique pour la construction de la chaussée d'Alexandre.

2.5.1.3 L'anthropisation du littoral – impacts de la chaussée

L'édification de la chaussée hellénistique est à l'origine d'une métamorphose anthropique du littoral de Tyr, accentuant les processus de formation du proto-tombolo. Après 332 avant J.-C., la baie de la cité fut définitivement séparée en deux anses caractérisées par deux cellules littorales indépendantes. Un arrêt des courants est lié aux impacts de l'Homme et à l'accrétion de l'isthme. Pendant la période romaine, cette progradation a pu accompagner le développement urbain de la ville (nécropole, hippodrome etc.).

2.5.1.4 Les changements relatifs du niveau de la mer à Tyr

Les changements relatifs du niveau de la mer à Tyr pendant l'Holocène sont décrits dans la **Figure 2.16**. Bien que les résultats se comparent bien aux données du niveau de la mer des côtes stables de la Provence (Laborel *et al.*, 1994 ; Morhange *et al.*, 2001, 2003a), l'absence d'indicateurs fiables du niveau marin à Tyr signifie que l'enveloppe de la courbe ne peut être utilisée comme niveau relatif de la mer (RSL) précis. L'effondrement du horst tyrien pendant la période romaine tardive est attesté par deux types de données, (i) l'une archéologique : le môle nord romain de Tyr est à présent situé à 2,5 m sous le niveau de la mer (Descamps, communication personnelle), traduisant une subsidence d'environ 3 à 3,5 m. Sur la rive sud, des murs et des carrières submergés à -2,5 m sous le niveau moyen ont été également découverts (El Amouri *et al.*, 2005) ; (ii) l'autre stratigraphique : une subsidence similaire est indiquée par la stratigraphie côtière de la cité, notamment un décalage chronostratigraphique de 3 m entre Tyr et Sidon (Marriner, 2007).

2.5.2 Comparaison entre Tyr et Alexandrie : agents de forçage et géomorphologie

Un des exemples de tombolo les plus célèbres, à la fois en termes géologique et archéologique, est celui d'Alexandrie en Egypte (Goiran, 2001 ; Goiran *et al.*, 2005). La paléo-île de Pharos est aujourd'hui une péninsule fortement urbanisée, de 3,25 km de long par 1,1 km de large, reliée au continent par un isthme de 1,3 x 0,7 km (**Figure 2.17**). Le tombolo sépare deux baies marines : une baie est de 2 x 1,5 km (Stanley et Bernasconi, 2006), qui abrita une série de complexes portuaires pendant l'Antiquité, et une grande baie à l'ouest (longue de 10 km et large de 2,5 km), partiellement protégée par le cordon d'éolianite de Pharos. Ce cordon littoral a profondément influencé les courants de houle sur sa façade abritée. Aujourd'hui les deux baies fonctionnent comme des cellules littorales indépendantes alors que la dérive littorale dominante des sédiments va de l'ouest vers l'est.

Les similitudes géomorphologiques et chronologiques entre Tyr et Alexandrie rendent une comparaison des deux sites particulièrement intéressante. (1) La **géomorphologie** de ces deux sites fut fortement influencée par les paysages hérités du Pléistocène, notamment une série de cordons d'éolianite partiellement submergés et parallèles au trait de côte actuel (Butzer, 1962 ; Stanley et Hamza, 1992 ; El-Asmar et Wood, 2000). D'importantes archives sédimentaires holocènes se sont accumulées entre ces cordons d'éolianite. (2) Cette **topographie** noyée donna naissance à deux îles barrières (**Figure 2.18**). Les dimensions de ces deux barrières ont évolué depuis leurs submersions partielles entre 8000 et 7500 BP. Des changements dans la taille de ces brise-lames protecteurs peuvent être discernés dans les archives sédimentaires holocènes. Comme Tyr, l'Alexandrie antique comprenait une longue île barrière parallèle au rivage (le cordon de Pharos) dont les dimensions hellénistiques reconstituées, ~5500 m de long sur ~1300 m de large, sont environ deux fois supérieures à celles de Tyr à la même époque (Goiran, 2001). (3) Les deux sites sont localisés à **proximité d'important systèmes fluviaux**, le Nil (Said, 1993) et le Litani (Abd-el-Al, 1948). Bien que les échelles de ces systèmes fluviaux ne soient pas directement comparables, les deux fleuves jouèrent un rôle important dans les budgets sédimentaires et la nature des dépôts sédimentaires pendant l'accrétion des tombolos respectifs (Chen *et al.*, 1992 ; Warne et Stanley, 1993a-b ; Stanley et Warne, 1998). (4) Alexandrie et Tyr furent modifiées par **les sociétés** au même moment (332 et 331 avant J.-C.). Etablir la chronologie des impacts stratigraphiques est intéressant du point de vue géomorphologique et historique. (5) Les deux sites subirent une importante **subsidence autour de la période romaine tardive** (environ 6 ± 0,5 m à Alexandrie et 3 ± 0,5 m à Tyr). Ces mouvements rapides du niveau relatif de la mer ont eu deux impacts : (a) du point de vue géomorphologique, cela a

grandement diminué les dimensions de l'obstacle formé par la barrière, réduisant la surface de la zone protégée ; et (b) du point de vue stratigraphique, cela a créé un important espace disponible pour l'accrétion de nouvelles strates sédimentaires.

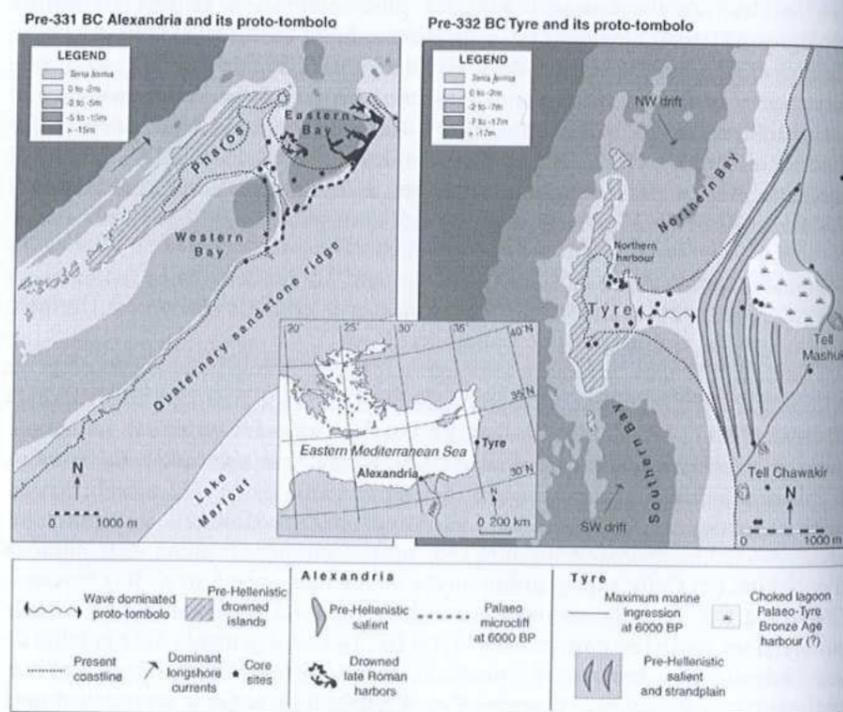


Figure 2.18 : Evolution morphodynamique des isthmes d'Alexandrie et de Tyr depuis l'Antiquité.

2.5.3 Description et interprétation de la stratigraphie du tombolo à Alexandrie

Sur la base d'une séquence sédimentaire transgressive-régressive de 10 m de long (C2) la morphogenèse du tombolo d'Alexandrie a été élucidée par Goiran (2001 ; Figure 2.19). La localisation de la carotte C2 à proximité de l'Heptastade la rend particulièrement sensible pour enregistrer les changements géomorphologiques ainsi que les impacts humains. Nous notons plusieurs similitudes stratigraphiques entre Alexandrie et Tyr.

(1) Phase 1 – Inondation marine (8000 à 6000 ans cal. BP)

Comme à Tyr, le début de la sédimentation marine à Alexandrie est daté de 7800 BP, en cohérence avec la submersion des deltas autour de la Méditerranée (Stanley et Warne, 1994). Cette surface d'inondation est recouverte d'une unité de sable coquillier qui témoigne du remaniement des dépôts transgressés.

(2) Phase 2 - Accrétion du proto-tombolo (6000 à 2400 ans cal. BP)

Entre 5400 BP et 4200 BP, une biodéposition de *Cladocora* est attestée dans les carottes C2 et C9, comprenant des branches de corail cassées enveloppées dans une matrice argilo-limoneuse (Figure 2.19). La chronostratigraphie de Tyr à cette époque est constituée de sables moyens. Cette biodéposition doit son origine à l'érosion des biohermes à proximité d'Alexandrie. La juxtaposition de stocks sédimentaires grossier et fin évoque une saisonnalité des courants. En effet, Goiran (2001) suggère que la biodéposition grossière a été remaniée et déposée pendant les tempêtes hivernales, et ensuite enveloppée dans une matrice argilo-limoneuse lors des crues d'été du Nil. L'ostracofaune est à 95 % dominée par les espèces lagunomarine *Xestoleberis* sp. et *Loxoconcha* sp. Les espèces secondaires comprennent les taxa côtiers *Urocythereis* sp. et *Aurila convexa*. Cela évoque un milieu protégé par le cordon gréseux partiellement submergé. En utilisant les données bathymétriques et topographiques, Goiran (2001) a reconstitué la paléogéographie d'Alexandrie à 5500 BP, mettant en évidence l'importance du cordon affleurant pour la protection de la baie ouest du site. Le cordon formait une barrière de 14 km de long s'étendant depuis l'ouest de la pointe est de Pharos vers le promontoire de l'Agami (Figure 2.20). Ces données biosédimentologiques étayent les données sur Tyr, caractérisées par une faune laguno-marine et une sédimentologie fine. En contraste, l'extension latérale du cordon de Tyr (4 km) fut largement inférieure à celui d'Alexandrie (14 km) entre 6000 et 4000 BP.

Un hiatus sédimentaire est enregistré entre 4000 et 2000 BP, une période de temps qui chevauche la construction de la chaussée d'Alexandre. Une chute des apports sédimentaires est improbable étant donné la progradation rapide et synchrone du delta du Nil à cette époque (Warne et Stanley, 1993a-b ; Stanley et Warne, 1998). Nous suggérons que d'importantes étendues du cordon de Pharos furent submergées et rompues après 4000 BP (Figure 2.20). La mise en place de courants d'ouest plus puissants pourrait être à l'origine de l'absence de sédimentation dans certaines parties du proto-tombolo. A cette époque, Stanley et Bernasconi (2006) ont décrit un environnement marin ouvert au sein de la baie est. Pour faire face à ce problème, les Romains construisirent des marinas artificielles à l'intérieur de la baie (Goddio *et al.*, 1998 ; Goddio et Bernand, 2004 ; Bernasconi *et al.*, 2006). Après 2085 ± 45 BP (200 à 410 ans cal. AD),

une biodéposition de *Serpulidae* correspond à des courants marins dynamiques suivant la construction de la chaussée de l'Heptastade.

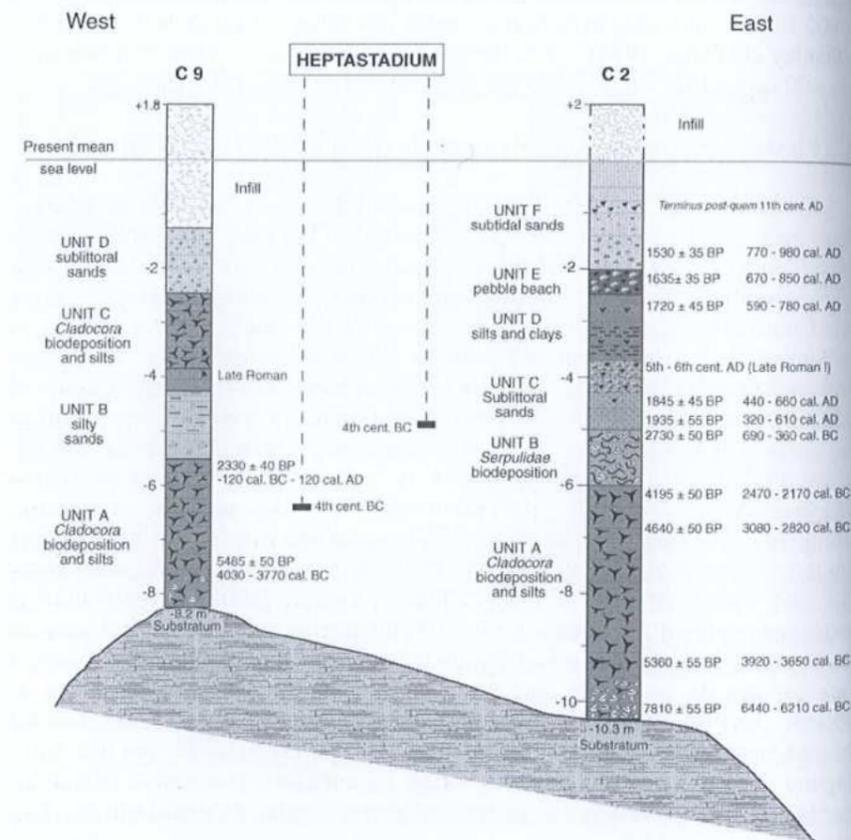


Figure 2.19 : Chronostratigraphie du tombolo d'Alexandrie (Goiran, 2001).

(3) Phase 3 – impacts tectonique et anthropique (après 2400 ans cal. BP)

(i) Phase 1

La progradation du tombolo est attestée par l'accrétion d'une unité sableuse après 1935 ± 55 BP (360 à 610 cal. après J.-C.). La macrofaune est dominée par trois assemblages : les sables fins de haut niveau (*Cyclope donovani*, *Sphoeronassa mutabilis*, *Spisula subtruncata*, *Venus gallina*), les sables vaseux de mode calme (*Venerupis rhomboides*), et les sables infralittoraux (*Bittium reticulatum latreilli*, *Rissoa lineolata*). L'ostracofaune est dominée par les

espèces lagunaires (65 %) et côtières (30 %). La biosédimentologie témoigne d'une progradation des flancs du saillant, avec le passage d'un milieu marin à un milieu continental caractérisé par de grandes plages de sable.

(ii) Phase 2

Pendant les 7^{ème} – 9^{ème} siècles après J.-C., l'effondrement tectonique explique la submersion rapide de grandes étendues du tombolo (Goiran, 2001 ; Goddio *et al.*, 2006). Des recherches archéologiques sous-marines récentes, entreprises sur la marge ouest du delta du Nil (embouchure de la branche canopique et l'ancien port est d'Alexandrie ; Goddio *et al.*, 2006), ont mis en évidence des vestiges datant du 7^{ème} siècle après J.-C., 6 m sous le niveau actuel de la mer (Goddio *et al.*, 2006). Ceci est compatible avec un effondrement du port est d'Alexandrie pendant le 8^{ème} siècle après J.-C. (Goiran, 2001). A la même période, les cités romaines tardives de Canopée Est et Héraklion subirent une catastrophe similaire. L'instabilité régionale a été attribuée à un réajustement de sédiments tertiaires et quaternaires du Nil, épais de 5000 m (Said, 1993).

Cet effondrement de 6 m généra un espace disponible considérable et conduisit à l'accrétion de faciès sédimentaires variés, en synergie avec les impacts anthropiques. La plupart des carottes attestent de la présence de sédiments grossiers à l'exception des bassins portuaires où des faciès de limon traduisent un confinement artificiel. Par exemple, dans la carotte C2, les dépôts de vases et des cristaux de gypse correspondent à un environnement protégé, typique d'un bassin portuaire artificiel.

(iii) Phase 3

La réponse côtière à cette submersion catastrophique fut rapide. L'important budget sédimentaire permit au tombolo de trouver un nouveau profil d'équilibre. Après 1635 ± 35 BP (8^{ème} – 9^{ème} siècles après J.-C.), la transition vers un faciès de galets roulés puis de sables grossiers témoigne de la progradation des flancs du tombolo, accélérée par la création d'un nouvel espace disponible. La déformation côtière rapide durant les périodes islamique et médiévale coïncide avec les données de Tyr. Une telle évolution géomorphologique est typique d'environnements semi-ouverts avec un fort budget sédimentaire.

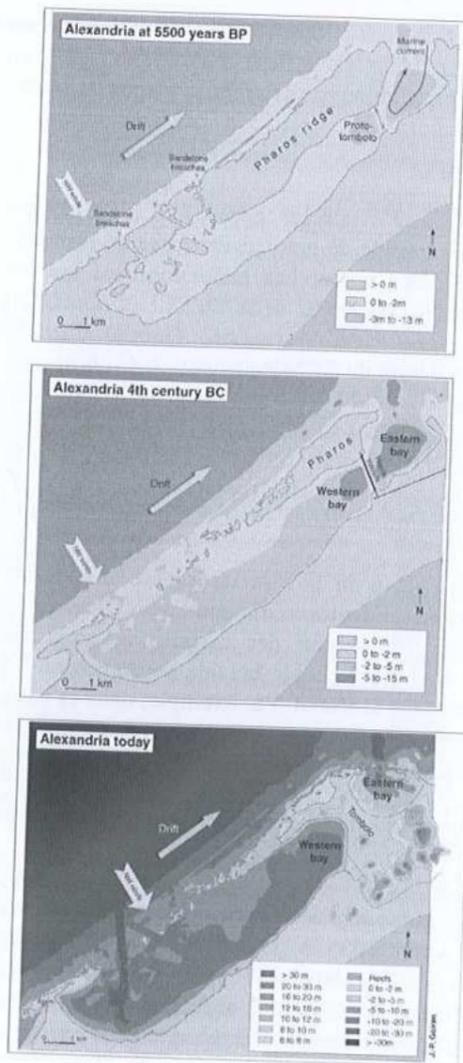


Figure 2.20 : En haut : reconstitution paléogéographique du tombolo d'Alexandrie vers 5500 BP. La reconstitution prend en compte un changement relatif du niveau marin de 7 m depuis cette époque. Noter l'existence d'une barrière littorale de 14 km qui protégeait la baie ouest d'Alexandrie. Nous formons l'hypothèse que plusieurs brèches existaient dans la barrière littorale à cette époque, créant ainsi un environnement lagunaire en amont. Au milieu : reconstitution paléogéographique du tombolo d'Alexandrie vers 330 avant J.-C. La reconstitution prend en compte un changement relatif du niveau de la mer de 5 m depuis la période ptolémaïque ayant réduit les dimensions de l'île de Pharos de façon importante.

2.6 Remarques de conclusion

Les chronostratigraphies largement concomitantes de Tyr et d'Alexandrie attestent de l'importance des îles barrières dans la création de proto-tombolos. Nos données indiquent que les saillants furent localisés 1 à 2 m sous le niveau de la mer à l'époque hellénistique, facilitant considérablement la construction de la chaussée d'Alexandre. Sur les deux sites, les impacts de la chaussée sont quasi-identiques, avec la segmentation irréversible des baies initiales alliée à une chute brutale de la compétence des eaux, entraînant une métamorphose anthropique des systèmes côtiers. Finalement, cette étude démontre l'importance d'une approche géomorphologique appliquée afin de répondre aux questions des archéologues.

Chapitre 3

Géoarchéologie des ports antiques de Tyr

3.1 Introduction

Tyr fut fondée pendant le 3^{ème} millénaire avant J.-C. sur une île facilement défendable à proximité du rivage (Bikai, 1979 ; Katzenstein, 1997 ; Marriner *et al.*, 2008a). Ce bastion sur la mer était particulièrement attractif pour les sociétés antiques car il possédait plusieurs plages de poche pouvant être exploitées comme mouillages naturels (Marriner et Morhange, 2005, 2006a ; Marriner *et al.*, 2005a-b, 2006b). Cependant, malgré son passé maritime glorieux, l'évolution de cette importante cité-Etat phénicienne est restée largement énigmatique (Aubet, 2001). De façon erronée, une grande partie de la littérature actuelle continue de citer les travaux de Poidebard datant des années 1930 (Poidebard, 1939). Bien qu'Honor Frost (Frost, 1971) ait mis en question les interprétations de ses prédécesseurs, notamment à l'égard du port sud de Tyr, beaucoup d'autres n'ont pas passé au crible la très large littérature archéologique (Katzenstein, 1997 ; Moscati, 1997 ; Markoe, 2002 ; Strong, 2002 ; Holst et Harb, 2006). Dans le Levant sud, les ports antiques d'Israël ont fait l'objet d'importantes recherches scientifiques depuis le début des années 1980 (Raban, 1981, 1984, 1985a, 1985b, 1985c, 1988, 1995a). Pour des raisons géopolitiques, des recherches semblables sur le Liban manquaient ; or elles étaient fondamentales pour comprendre non seulement l'évolution archéologique de toute la côte syro-cananéenne (Wachsmann, 1998 ; Marcus, 2002a-b ; Doumet-Serhal, 2004a), mais aussi sa géomorphologie littorale depuis 6000 BP (Raban, 1987a ; Sanlaville, 1977 ; Sanlaville *et al.*, 1997 ; Stanley, 2002 ; Morhange *et al.*, 2006).

Tyr porte le témoignage de modifications côtières significatives depuis 6000 ans. Elles sont attribuées à trois dynamiques complémentaires : (1) une artificialisation côtière importante pendant la période hellénistique, avec la construction de la chaussée d'Alexandre le Grand (Katzenstein, 1997 ; Marriner *et al.*, 2007) ; (2) la position du site sur la marge distale du delta du Litani, le plus grand système fluvial du Liban et une source sédimentaire majeure à l'échelle de l'Holocène (Abd-el-Al, 1948 ; Soffer, 1994 ; Marriner, 2007) ; (3) des changements rapides du niveau relatif de la mer, résultats d'une subsidence

tectonique rapide du horst tyrien à l'époque romaine tardive (Morhange *et al.*, 2006b).

Les textes antiques ainsi que des témoignages iconographiques évoquent quatre complexes portuaires sur le littoral tyrien pendant l'Antiquité : (1) un port face au nord, en direction de Sidon, Beyrouth et Byblos (mentionné comme le port sidonien pendant le siège de Tyr par Alexandre le Grand : Arrien, *An.* II, 16, 7 – 27, 7 ; Diodore de Sicile, XVII, 40, 2 – 47, 6 ; Quinte-Curce, IV, 2-4 ; Plutarque, *Alex.* XXIV-XXV et Strabon, XVI, 2, 23) ; (2) un ancrage au sud, orienté vers l'Égypte ; (3) plusieurs rades foraines qui tiraient avantage du cordon gréseux à cette époque (Achille Tattius, II, 17, 3) ; (4) un quatrième complexe continental, situé près de Tell Mashuk et Tell Chawakir, qui servait de mouillage pour les habitants de paléo-Tyr pendant l'âge du Bronze. Dans ce chapitre nous croisons la géomorphologie littorale à une étude pluridisciplinaire des archives sédimentaires pour reconstituer où, quand et comment les ports antiques de Tyr ont évolué à l'Holocène.

3.2 A la recherche du port nord de Tyr : contexte géoarchéologique

Le port nord de Tyr fait l'objet de spéculation archéologique depuis le 16^{ème} siècle quand nombre de pèlerins passèrent par la côte phénicienne en route vers les Lieux Saints (Villamont, 1596 ; Van Cotvyck, 1620 ; Stochove, 1650 ; Besson, 1660 ; Maundrell, 1697 ; Arvieux, 1735 ; Pococke, 1745). Bien que l'utilisation de l'anse nord en tant que port principal de la cité antique n'ait jamais été mise en question, pour beaucoup d'érudits anciens son petit bassin apparaissait en contradiction avec la gloire maritime passée de Tyr (Shaw, 1743). En effet, Volney (1791) nota que ce port « creusé par la main de l'Homme » était tellement envasé que des enfants pouvaient marcher à travers celui-ci sans mouiller le haut de leur corps.

Alors que les voyageurs du 16^{ème} au 18^{ème} siècle se contentaient de descriptions paysagistes et se livraient à des rêveries nostalgiques sur la grandeur passée de la cité, l'influence scientifique du 19^{ème} siècle introduisit une méthodologie systématique pour l'étude du passé archéologique (Marriner et Morhange, 2007). Ce fut à cette époque que plusieurs savants ont intuitivement fait le lien entre l'envasement des ports et la progradation côtière, formulant ainsi l'hypothèse que le cœur antique du bassin nord se situait sous les centres médiéval et moderne ([Bertou, 1843 ; Kenrick, 1855 ; Poulain de Bossay, 1861, 1863 ; Renan, 1864 ; Rawlinson, 1889] voir Figure 3.1). L'idée fut avancée que ce bassin avait été protégé par un brise-lames qui s'avancait depuis la pointe est du port et était connu de beaucoup d'anciens érudits (Kenrick, 1855 ; Renan, 1864). Toutefois, ce ne fut pas avant les années 1930, avec Antoine Poidebard, qu'une exploration archéologique précise de ce môle fut mise en œuvre (Poidebard, 1939). En dépit de prospections sous-marines récentes (Nouredine et Helou, 2005 ; Descamps, communication personnelle ; Sicre, communication

personnelle) l'âge exact de cette structure reste indéterminé, et en réalité on ne connaît que très peu de choses sur ce bassin portuaire nord, le plus important de la cité antique.

Poulain de Bossay (1861, 1863)

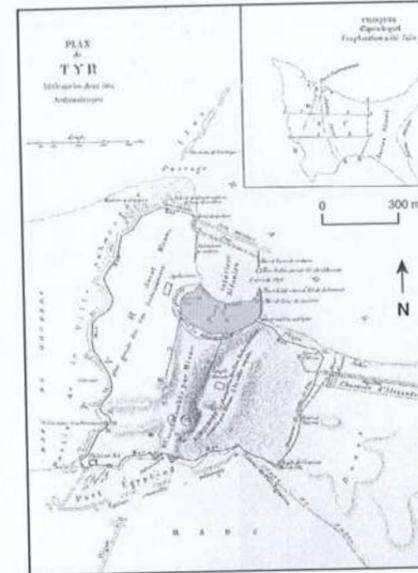


Figure 3.1 : Reconstitutions du port nord de Tyr (comblé par les sédiments) proposées par Poulain de Bossay (1861, 1863) et Renan (1864).

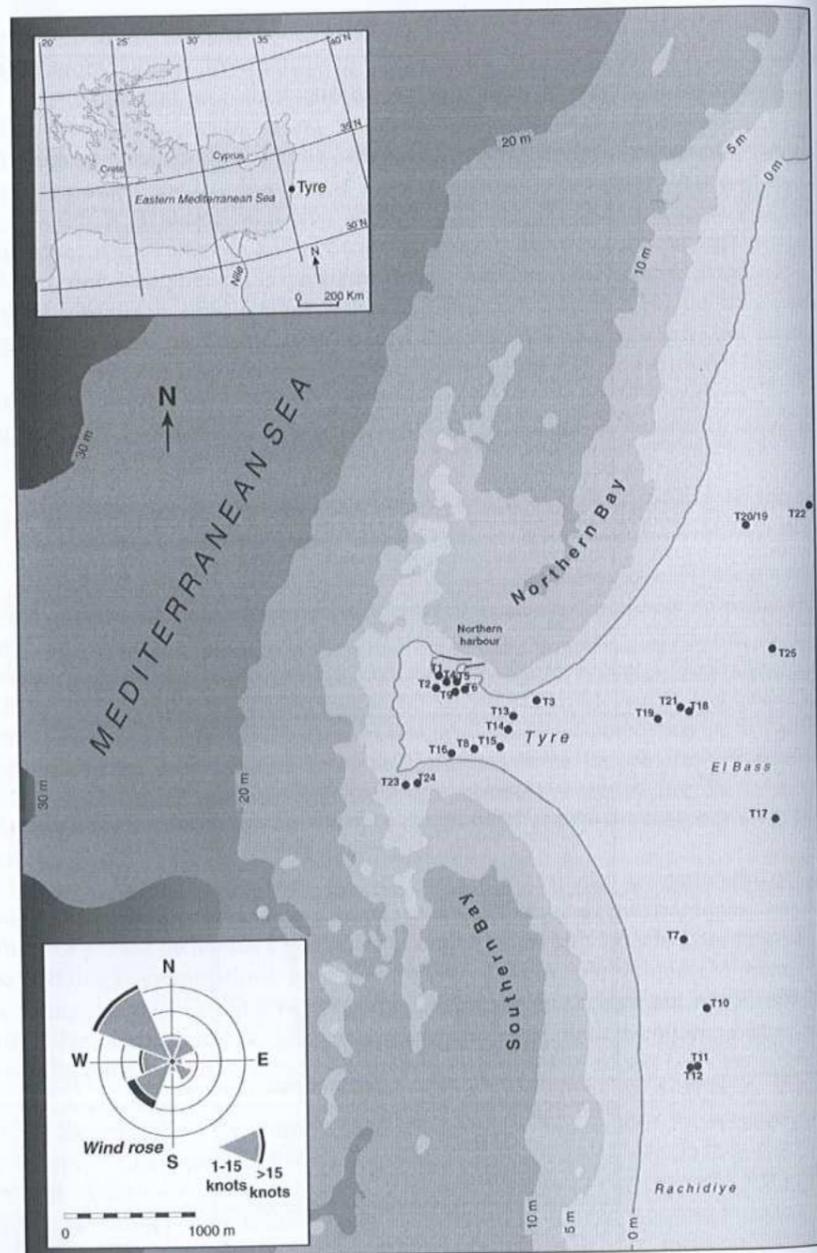


Figure 3.2 : Bathymétrie actuelle de Tyr et emplacement des carottages (indiqués par des points noirs).

Etant donné le manque de données sur cette zone nord, nous avons effectué une série de forages sur les bords du bassin actuel (Figure 3.2) dans le but de reconstituer : (1) l'ancienne topographie du port ; (2) ses phases d'évolution depuis la transgression marine holocène ; (3) tenter de mettre en relation les enregistrements sédimentaires avec les différents aménagements portuaires.

3.3 Méthodes

Les paléoenvironnements holocènes ont été reconstitués à l'aide de 25 carottages stratigraphiques. Toutes les carottes ont été localisées par GPS et calées par rapport au niveau moyen actuel de la mer (MSL). Les interprétations sont basées sur des études biosédimentologiques à haute résolution des carottes sédimentaires, comme décrit par Marriner et Morhange (2007). Les datations radiocarbone et archéologiques fournissent un cadre chronologique pour les changements géomorphologiques observés.

3.4 Résultats et discussion

3.4.1 Où le port antique nord se situait-il ?

Les données géoarchéologiques indiquent que le cœur du port antique de Tyr est à présent enterré sous les centres urbains médiéval et moderne de la ville (Figure 3.3). Ces centres se localisent sur environ 8 à 10 m de sédiments marins, dont l'accrétion a débuté entre 8000 et 6000 BP. Ces découvertes confirment les interprétations de Kenrick (1855), Poulain de Bossay (1861, 1863) et Renan (1864) qui, au 19^{ème} siècle, furent les premiers à suggérer que l'ensablement avait considérablement diminué la taille du bassin antique. Grâce à une étude géoarchéologique des archives sédimentaires et de la topographie urbaine, nous avons pu reconstituer un port antique environ deux fois plus grand que l'actuel (Marriner *et al.*, 2005 ; Marriner *et al.*, 2006a). Une progradation côtière de 100 à 150 m s'est produite depuis la période byzantine, emprisonnant ainsi le cœur du port antique sous le souk moderne. Nous détaillons ces données stratigraphiques dans la partie 3.2.

La carotte TVI, forée juste à l'est du môle sud-nord du port, est dépourvue de faciès portuaire. Nous en concluons que le bassin ne s'étendait pas dans cette direction (Figures 3.4-3.6).

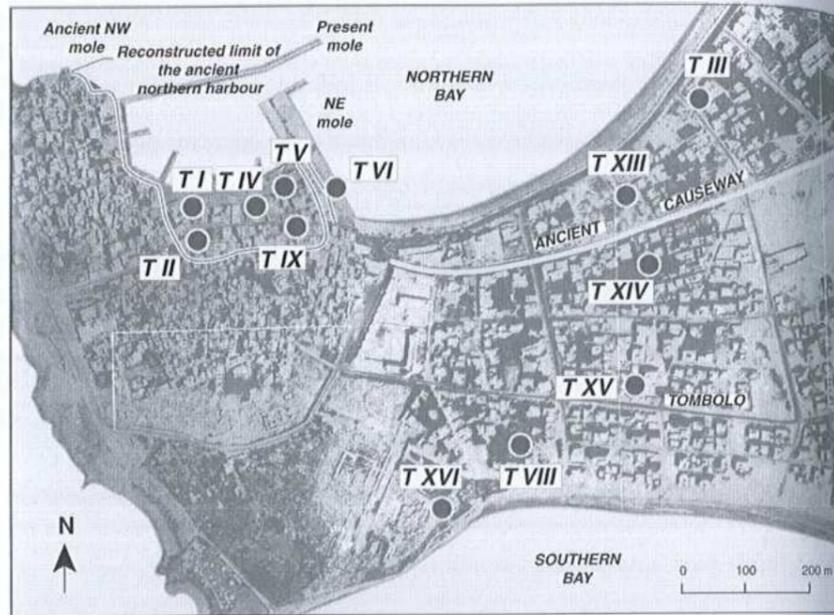


Figure 3.3 : Reconstitution du port nord de Tyr. L'ensablement depuis l'Antiquité a conduit à une progradation de 100 à 150 m, isolant le cœur du port antique sous les centres médiéval et moderne.

Description : L'unité B est caractérisée par des sables coquilliers, dominés par des espèces macrofaunistiques typiques d'une plage abritée, dont *Bittium reticulatum* (sables et roches infralittoraux), *Tricolia tenuis*, *Rissoa dolium*, *Rissoa lineolata* (sables infralittoraux), *Nassarius louisi*, *Nassarius pygmaeus*, *Nassarius mutabilis* et *Donax semistriatus* (sables fins bien calibrés). Dans l'unité A, une transition vers les sables fins (environ 90 %) est attestée après 1700 ans cal. BP. Des valeurs de grain moyen entre 0,2 et 0,4 µm, alliées à des indices de tri moyens, témoignent d'une plage protégée. Ces données sédimentologiques correspondent à une chute des compétences hydrologiques liée à la construction ou au renforcement du môle sud-est du port. La macrofaune est dominée par les espèces arénicoles typiques d'un assemblage de sables infralittoraux (*Rissoa lineolata*, *Tricolia tenuis*, *Smaragdia viridis*, *Bulla striata*), de sables fins bien calibrés (*Nassarius pygmaeus*, *Donax semistriatus*) et de sables vaseux de mode calme (*Cerithium vulgatum*). Le sommet de l'unité B est daté de l'époque moderne. Les unités B et A comprennent des espèces d'ostracodes laguno-marines (*Loxoconcha* spp. et *Xestoleberis aurantia*) et côtières (*Aurila convexa*).

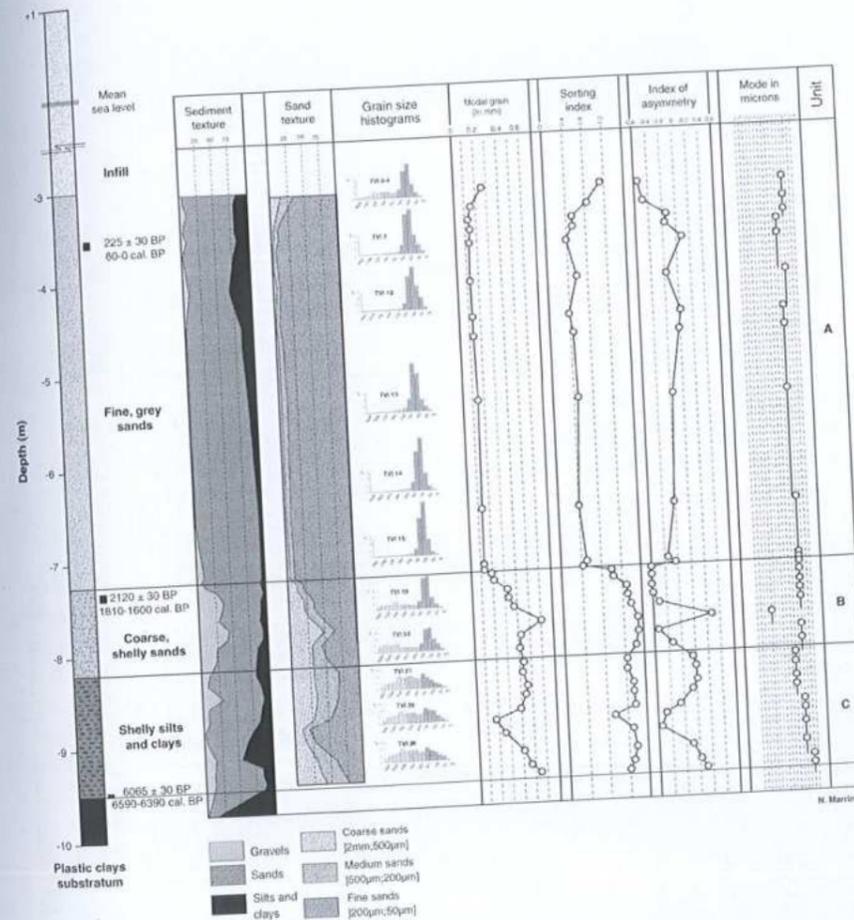


Figure 3.4 : Analyses granulométriques de la carotte TVI.

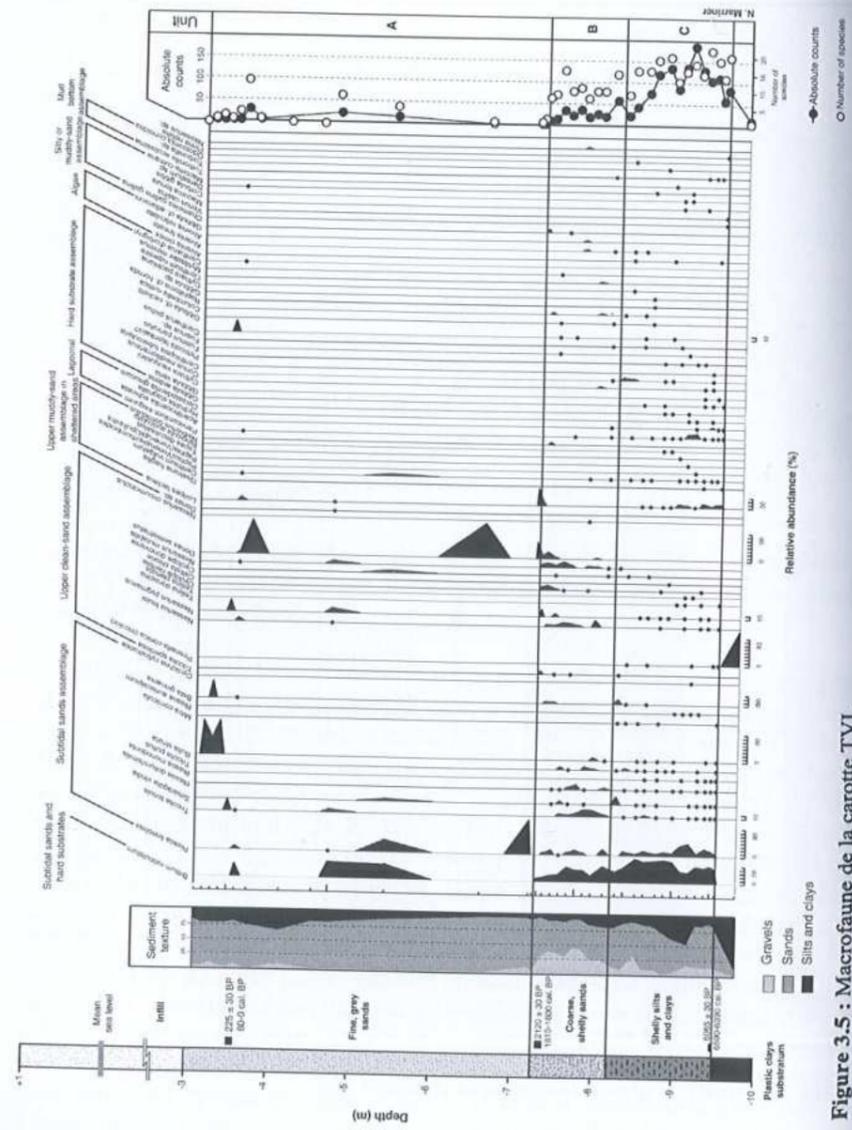


Figure 3.5 : Macrofaune de la carotte TVI.

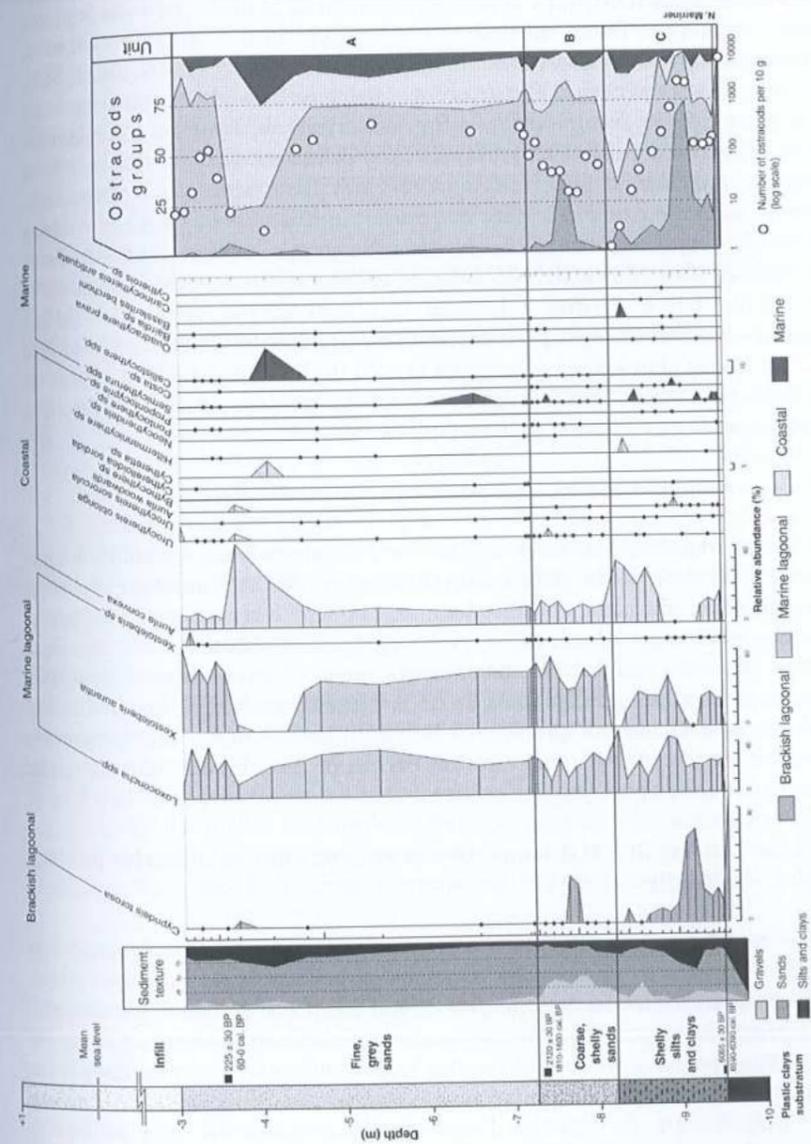


Figure 3.6 : Ostracofaune de la carotte TVI.

Interprétation : A priori, le môle fut continuellement adapté et renforcé depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours, comme il est habituel avec l'infrastructure des ports antiques.

Le brise-lames nord, qui s'avance en direction de la mer à partir de la pointe extrême est de l'île, ferme le bassin. Cette structure se situe à environ 40 m au nord du môle actuel. D'abord mentionnée dans la littérature par Bertou (1843), elle est connue des pêcheurs et marins locaux depuis bien plus longtemps, mais ne fut pas explorée avec précision avant les travaux de Poidebard pendant les années 1930 (Poidebard, 1939). Depuis lors, deux études importantes ont été entreprises par Noureddine et Helou (2005) et Descamps *et al.* (Descamps, communication personnelle). Elles ont révélé un brise-lames de 80 m de long avec une largeur constante de 12,7 m. Ce môle comprend deux murs parallèles constitués de blocs de ramleh de 40/50 x 50/60 x 190 cm, dont la surface se situe aujourd'hui à environ 2 m sous le niveau moyen de la mer (MSL) (Descamps, communication personnelle). Des fouilles par Descamps *et al.* ont mis en évidence cinq assises constituant un mur de 3,1 m de haut. Sur la base de débris de céramique et d'inscriptions sur les blocs de pierre, Descamps a attribué ce môle aux périodes hellénistique ou romaine.

3.4.2 Quand et de quelle façon le port nord s'est-il développé ?

La stratigraphie côtière et les analyses de laboratoire à haute résolution nous permettent de décrire six phases dans l'évolution de cette anse protégée. Ici nous présentons son histoire paléogéographique depuis la transgression marine holocène, et tentons d'interpréter la stratigraphie en faisant référence aux données archéologiques. Nous démontrons que l'histoire du port peut être reconstituée de façon précise à l'aide de la biosédimentologie. Les sédiments portuaires sont également propices à l'étude de nombreuses problématiques culturelles et archéologiques, ouvrant diverses possibilités de recherche (Marriner et Morhange, 2007).

3.4.2.1 Surface maximale d'inondation et environnement lagunaire protégé (~8000 à ~6000 BP)

Description : La surface maximale d'inondation holocène est datée d'environ 8000 BP (Figures 3.7-3.10). Elle est recouverte d'un dépôt limono-argileux coquillier dont l'accrétion dura jusqu'à ~6000 BP. La sédimentologie de cette couche basale correspond à un remaniement du substrat argileux sous-jacent. Ce faciès litho-dépendant est dominé par des espèces macrofaunistiques des sables vaseux de mode calme (*Loripes lacteus*) et lagunaires (*Parvicardium exiguum*; Figure 3.9). La grande diversité d'espèces et la présence de tests adultes et juvéniles témoignent d'une riche biocénose. L'ostracode laguno-saumâtre *Cyprideis torosa* atteint une abondance relative de >80 % avec des pics

intercalés d'*Aurila woodwardii*, *Aurila convexa* et d'espèces marines *extra situ* (Figures 3.7 et 3.10). Les foraminifères sont dominés par *Ammonia beccarii*, un taxon d'eau saumâtre.

Interprétation : Les données biosédimentologiques sont caractéristiques d'une baie marine protégée et peu profonde, envahie par la remontée post-glaciaire du niveau de la mer. Avec un niveau marin relatif à 7 ± 1 m sous l'actuel, la bathymétrie côtière témoigne d'un cordon, orienté nord-sud, environ six fois plus long que l'île actuelle d'1 km (Figure 2.14). Cette configuration géomorphologique a entraîné l'accrétion d'une plage de poche, protégée de la houle et des vents dominants du sud-ouest par cet important cordon submergé. Nous émettons l'hypothèse qu'une série de cordons à sédiments meubles ont fermé la baie, rompus pendant des périodes de tempête et de forte houle.

3.4.2.2 Unité de plage de poche et proto-port de l'âge du Bronze

Description : Après la stabilisation du niveau relatif de la mer autour de 6000 BP, le littoral nord de Tyr resta protégé par son système de cordon gréseux. La Figure 2.14 (Inclusion 2) est une reconstitution de l'île de Tyr autour de 6000 BP, avec pour scénario un niveau marin relatif à 5 m sous l'actuel.

La macrofaune est caractéristique d'un environnement semi-protégé dans lequel des coquilles d'espèces *in situ* et remaniées sont représentés. Les espèces dominantes appartiennent à l'assemblage des roches infralittorales (*Cerithium rupestre*, *Fusinus pulchellus*, *Gibbula varia*) ainsi que des individus *in situ* des sables vaseux de mode calme (*Nassarius corniculus*, *Cerastoderma glaucum*). Une augmentation d'ostracodes côtiers, notamment *Aurila convexa*, se fait au détriment de *Cyprideis torosa*. Les espèces laguno-marines *Loxoconcha rhomboidea* et *Xestoleberis aurantia* attestent d'un environnement littoral relativement confiné. Cette unité correspond à un estran de plage semi-protégé, dont l'accrétion débuta à la fin de la transgression marine de l'Holocène moyen. La présence de nombreuses espèces marines, dont *Semicytherura* sp., *Bairdia* sp., *Cistacythereis* sp., *Jugosocythereis* sp., *Loculicytheretta* sp., et *Callistocythere* spp., indique une communication avec la mer.

Interprétation : Les proxies biosédimentologiques témoignent d'une baie marine semi-ouverte qui a conduit de bonne heure à la colonisation de l'île par les sociétés humaines. La spécificité géomorphologique de la côte tyrienne, une île proche du rivage, facile à défendre et abritant plusieurs mouillages naturels, explique largement la fondation de Tyr pendant le 3^{ème} millénaire avant J.-C. A cette époque, la baie nord était utilisée comme proto-port, où les navigateurs pouvaient soit échouer leurs bateaux sur la plage ou bien les mouiller à l'ancrage dans la baie, selon les conditions météorologiques journalières ou saisonnières.

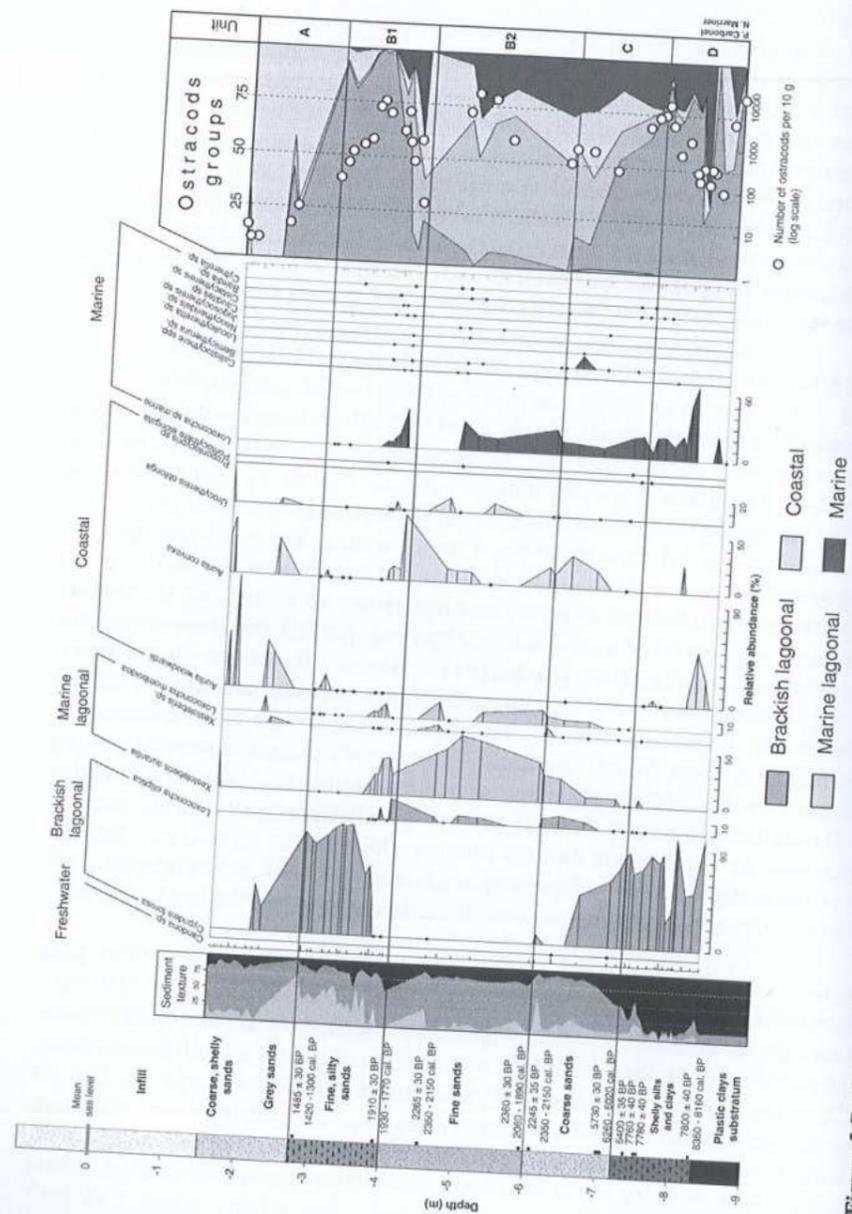


Figure 3.7 : Ostracofaune de la carotte TV.

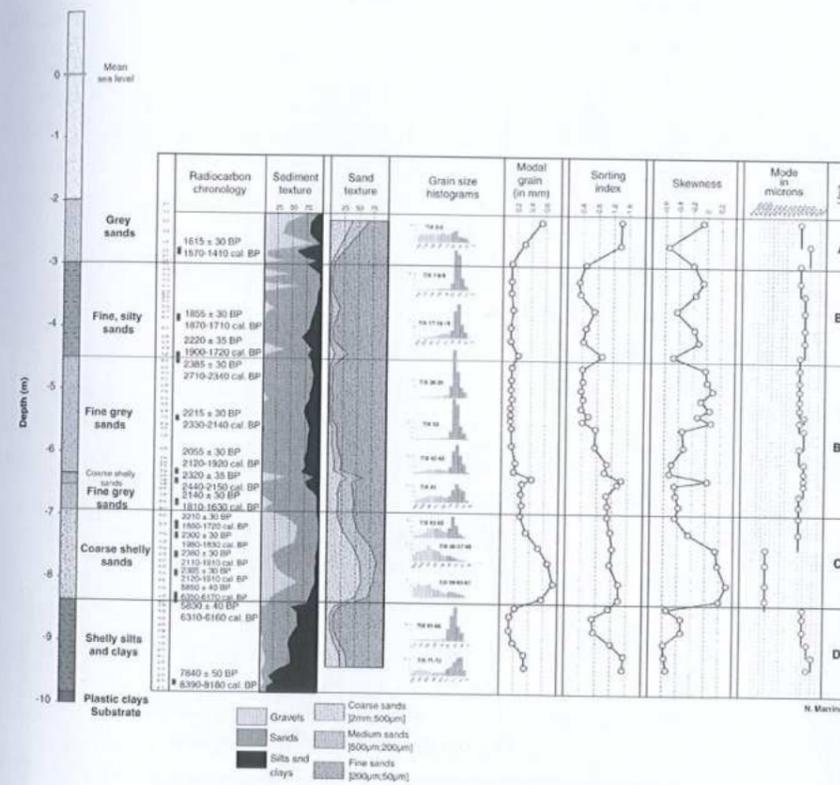


Figure 3.8 : Analyses granulométriques de la carotte TIX.

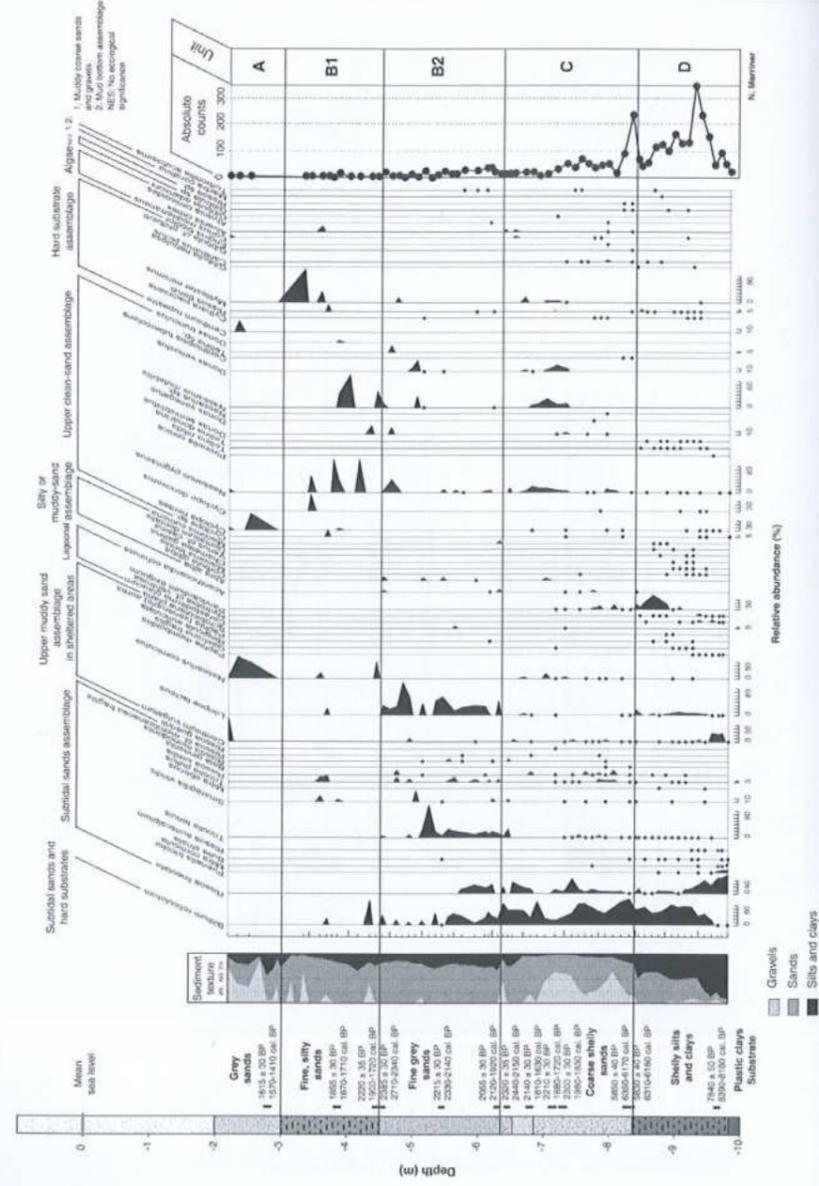


Figure 3.9 : Macrofaune de la carotte TIX.

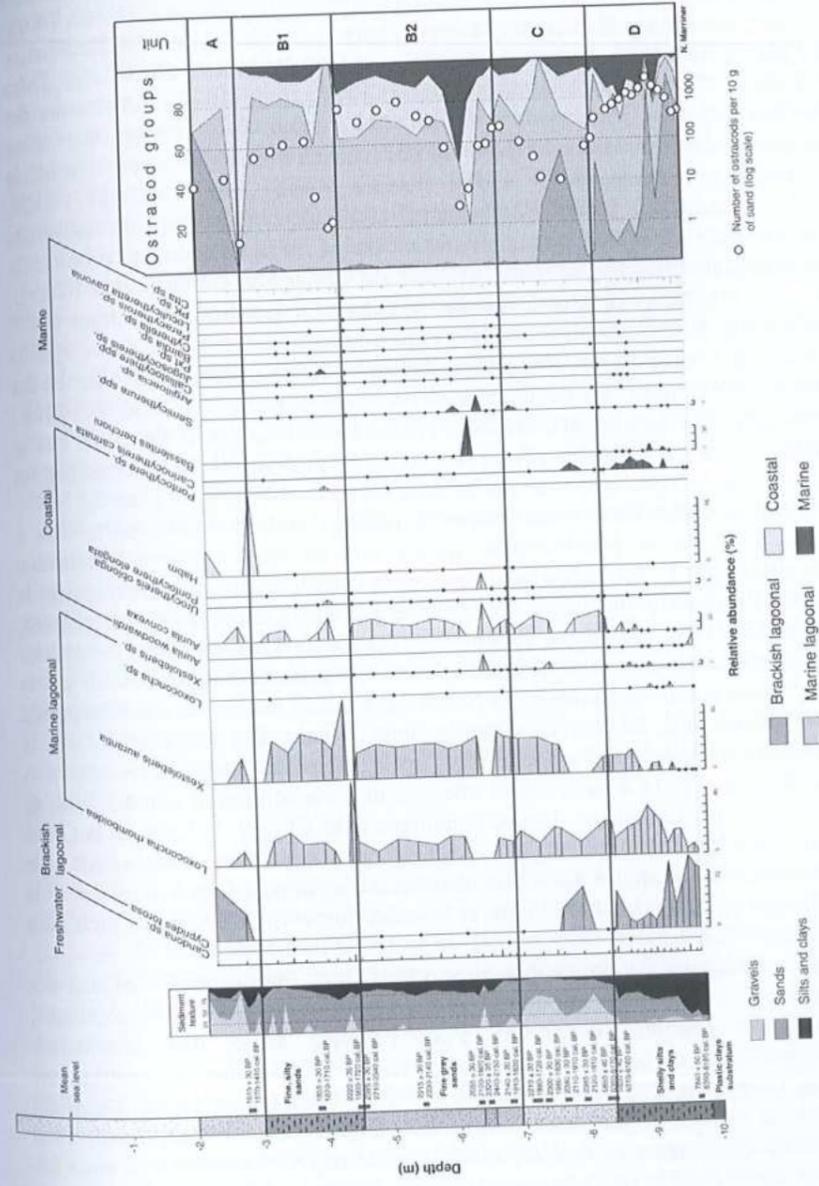


Figure 3.10 : Ostracofaune de la carotte TIX.

L'utilisation de petites embarcations pour charger ou décharger les plus grands vaisseaux était aussi largement répandue à cette époque (Marcus, 2002a).

Le plus ancien témoignage documentaire que nous ayons sur l'utilisation des plages de halage à l'âge du Bronze provient d'Akrotiri, sur l'île de Thera (Casson, 1978 ; Giescke, 1983 ; Gillmer, 1975, 1978, 1985). La fresque des Flotilles (*Flotilla Fresco*), datée vers 1550 avant J.-C., décrit une scène maritime constituée de petits ports où des bateaux sont amarrés ou bien hissés sur la plage (Casson, 1975, 1978 ; Doumas, 1992 ; Marinatos, 1971, 1974, 1976 ; Televantou, 1990 ; Wachsmann, 1998). En se basant sur une étude architecturale des plus grands bateaux de la frise, Cervin a proposé la reconstitution d'un bateau hissé à l'aide de câbles fixés à la poupe (Cervin, 1977, 1978). Dans le monde syro-palestinien, la tombe de Kenamon (14^{ème} siècle avant J.-C.) était décorée de fresques représentant des vaisseaux syriens tirés sur les berges du Nil. Des passerelles en bois, appuyées contre la poupe des navires, facilitaient le déchargement des marchandises (Carayon, 2008 ; Daressy, 1895 ; Davies et Faulkner, 1947). Il est intéressant de noter que le halage des navires sur les plages est toujours pratiqué de nos jours par les pêcheurs méditerranéens, avec des barques légères à faible tirant d'eau.

Pendant l'âge du Bronze moyen à récent, les interactions culturelles à travers l'est de la Méditerranée amena une période d'internationalisation caractérisée par le développement des routes commerciales qui entrelaçaient le Levant, l'Égypte et la mer Egée (Hankey, 1993 ; Knapp, 1993 ; Dickinson, 1994 ; Ilan, 1995 ; Marcus, 2002b ; Kristiansen et Larsson, 2005). Pour les sociétés de la Méditerranée orientale, le contact s'établissait avant tout par la mer (Wachsmann, 1998). Le mouvement des bateaux dans cette zone est attesté par la distribution de marchandises le long de ses côtes et démontré par la découverte de nombreuses épaves de l'âge du Bronze (Bass, 1987, 1991). A cette époque, Tyr et d'autres cités phéniciennes consolidèrent leur position en tant que comptoirs majeurs dans le commerce avec Chypre, la Crète et la Grèce mycénienne (Barnett, 1956, 1969). Bien qu'il soit largement admis que l'expansion du commerce méditerranéen poussa les populations à modifier leurs mouillages naturels, la chronologie et la technologie utilisées restent ambiguës (Raban, 1995a).

Pour beaucoup de chercheurs, le Proche Orient antique est le berceau des ports littoraux, logiquement adaptés aux contextes deltaïques de Mésopotamie et d'Égypte (Fabre, 2004/2005). Pour l'Égypte seule, des descriptions iconographiques de bateaux et de quais fluviaux existent dans de nombreuses tombes (Edgerton, 1922-1923 ; Haldane, 1990 ; Wachsmann, 1998). Un grand nombre de tombes a également fourni des modèles de bateaux aux descriptions variées qui, avec leurs équipages, sont prêts à transporter et approvisionner les défunts dans leur vie après la mort (El Baz, 1988). Le bateau de Chéops, par exemple, est tellement avancé sur le plan technique qu'il faut supposer un raffinement des méthodes de construction sur plusieurs milliers d'années

(Casson, 1994). En effet, un transport fluvial primitif existait probablement sur le Nil dès le Paléolithique (Hornell, 1970 ; Fabre, 2004/2005).

La proximité du Levant avec deux grandes cultures fluviales, celles d'Égypte et de la Mésopotamie (Säve-Söderbergh, 1946 ; Nibbi, 1979 ; Wachsmann, 1998 ; Fabre, 2004/2005), semble compatible avec la diffusion rapide de ce savoir-faire vers la côte syro-cananéenne ; par comparaison, l'infrastructure portuaire de la mer d'Égée était beaucoup moins développée à la même époque (Shaw, 1990 ; Raban, 1991). Même si les techniques de construction fluviale devaient être adaptées à un contexte maritime difficile, la quasi-absence de marées en Méditerranée était un avantage considérable pour l'édification d'une infrastructure portuaire permanente. Des recherches en cours ont fourni de nouvelles données sur le trafic des navires et les ports du Levant (Raban, 1984, 1985a-c, 1987a-b, 1991, 1997a-b ; Raban et Holum, 1996 ; Galili *et al.*, 2002 ; Marcus, 2002a-b). Bien qu'il y ait un consensus général sur l'attribution de nombreux môles et quais aux Romains (Oleson, 1988) et même aux Phéniciens (Haggai, 2006), un très petit nombre seulement peut être assigné sans équivoque à l'âge du Bronze, en raison des difficultés qui existent pour dater des structures taillées dans la roche.

Plusieurs sites se sont révélés importants pour fournir des éléments de datation :

(i) Le quai de **Dor** en Israël est un exemple par excellence d'infrastructure portuaire datant de l'âge du Bronze (Raban, 1995b ; Kingsley, 1996). Ce quai est établi le long d'une lagune côtière au sud du site. Raban a attribué cette plateforme de 35 m sur 11-12 m au 13^{ème}/12^{ème} siècle avant J.-C., à l'aide de céramiques trouvées au pied de la structure (Raban, 1984, 1985a, 1987b). Les techniques de maçonnerie employées sont typiques des sociétés cananéenne et phénicienne.

(ii) A **Yavne Yam**, Israël, un travail récent a décrit un talus de débris mesurant 100 x 50 m, mise en oeuvre pour améliorer la qualité des mouillages antiques (Galili *et al.*, 1993b ; Raban, 1993). Sur la base d'ancres de pierre trouvées aux environs de cette structure, Galili *et al.* (1993) l'ont datée du Bronze récent, bien que Marcus (communication personnelle) concède qu'elle pourrait appartenir à n'importe laquelle des périodes attestées sur le site (Bronze moyen à récent 1).

(iii) Sur la côte levantine nord, H. Frost (1964, 1966) a aussi attribué l'infrastructure primitive du port antique d'Arwad (Syrie) à l'âge du Bronze. Comme Tyr, Arwad était une cité insulaire fondée sur un cordon gréseux à 2,5 km du rivage actuel. De grandes digues sont également présentes sur cette île (Frost, 1964, 1966 ; Viret, 2005). Sa façade sous le vent forme une baie naturelle séparée en deux bassins par une jetée semi-artificielle. Renan (1864) et

Frost (1966) ont émis l'hypothèse que le bassin sud était le plus grand des deux, s'ensablant de sédiments côtiers depuis l'Antiquité.

(iv) A Sidon, la date de modification du cordon gréseux est située aux alentours de 1700-1450 ans cal. avant J.-C. (Bronze moyen et récent) sur la base de preuves sédimentologiques (Marriner *et al.*, 2006b).

(v) D'autres exemples de digues taillées dans le substrat sont connus à Tripoli, Batroun et Byblos mais, faute d'une chronologie précise, ils ne peuvent être attribués sans équivoque à l'âge du Bronze (Viret, 2004).

A Tyr, faire le lien entre la stratigraphie côtière et la technologie portuaire est une tâche difficile pour deux raisons : (1) le manque de découvertes archéologiques datant du Bronze au sein et autour du bassin ; et (2) l'absence relative de sédiments portuaires pour les périodes du Bronze moyen à tardif, due aux dragages romains (Marriner et Morhange, 2006a). Nous développerons ce dernier point plus loin dans le chapitre.

3.4.2.3 Les périodes phénicienne et perse : un port sans archives sédimentaires

Description : A cause des dragages romains, nous disposons de très peu de renseignements stratigraphiques sur les ports de l'âge du Fer à Tyr. Des dépôts limono-argileux découverts dans le quartier sud submergé, ont été datés de la période perse (voir ci-dessous). Nos analyses granulométriques évoquent des sédiments dragués, vraisemblablement en provenance du port nord, qui auraient été déposés dans cette zone pour y être utilisés à des fins culturelles (par exemple, la fabrication de céramiques...). Ces sédiments sont constitués de 4-10 % de ballast, 10-30 % de sables et 60-90 % de limons et argiles tandis que l'ostracofaune est dominée par des espèces laguno-marines (*Loxococoncha* spp. et *Xestoleberis* spp.). Bien que des niveaux de l'âge du Fer soient quasi-absents dans le port nord, ces données biosédimentologiques attestent d'un port protégé pendant la période perse. Cela est à mettre en relation avec les découvertes faites dans le port nord de Sidon (Marriner *et al.*, 2006b).

Interprétation : Au cours du Bronze récent, Tyr consolida sa position commerciale pour devenir, à l'âge du Fer, l'un des premiers centres maritimes de la région (Aubet, 2001). La cité tira sa richesse de l'arrière-pays littoral, notamment le métal, l'ivoire, le verre et le bois de cèdre, produits qui furent ensuite échangés dans tout l'est de la Méditerranée. Tyr devint aussi un important port de transit pour les marchandises d'Égypte et de Mésopotamie en route vers d'autres destinations méditerranéennes. Au début du 1^{er} millénaire avant J.-C., Tyr dépassa Byblos – le principal site portuaire de Phénicie à l'âge

du Bronze – pour deviner le comptoir de commerce le plus éminent du Levant (Katzenstein, 1997 ; Aubet, 2001). Cette cité de commerçants disposait de grandes places marchandes, dont la plus importante était articulée autour du port nord (Lehmann-Hartleben, 1923 ; Bunnens, 1983). Les améliorations dans le stockage d'eau permirent d'approvisionner une population plus importante, et on pense que Tyr, à son âge d'or, fut la cité la plus peuplée du Levant, devant même Jérusalem (Katzenstein, 1997).

Des progrès significatifs dans la technologie navale datent de cette période (Bass, 1974 ; Basch, 1987 ; Casson, 1994 ; Kemp, 2001). Le plus important, la démocratisation du fer à partir du 13^{ème} siècle avant J.-C., permit la construction de navires plus grands et plus solides. C'est en effet aux habitants de Tyr qu'est attribuée l'invention des bateaux-cargos, aussi mentionnés sous les termes de « Navires de Tartesse » dans la Bible (White, 2002). Ces nouveaux vaisseaux, capables de franchir de longues distances, ont servi de précurseurs à la colonisation phénicienne en Méditerranée (Aubet, 2001). Incontestablement, le développement du commerce maritime et l'augmentation de la population nécessitèrent une infrastructure portuaire plus importante avec des installations pour le halage des bateaux, des chantiers de constructions navales, des quais et des entrepôts. Des preuves directes de ces infrastructures sont à présent rares et notre connaissance approfondie des ports phéniciens de Tyr est compromise par la relative absence de sédiments de l'âge du Fer.

On doit chercher dans d'autres ports du Levant pour tenter de mieux comprendre les méthodes de construction et les infrastructures utilisées à cette époque. De bons exemples de môles et de quais phéniciens sont connus à Athlit (Israël) et Tabbat al-Hammam (Syrie). (1) Le port d'Athlit est le port phénicien le mieux conservé du littoral levantin. Ses vestiges ont suscité l'attention des archéologues depuis plusieurs décennies afin de comprendre les techniques de construction et l'ingénierie portuaire de l'âge du Fer (Raban, 1985b, 1997a-b ; Haggai, 2006). Le complexe portuaire d'Athlit se situe au nord d'un promontoire naturel ; le bassin phénicien est séparé en deux zones. (i) **Le quai sud et la jetée N-S.** Le quai sud comprend des blocs d'*ashlars* étroits, 1,2 x 0,5 x 0,5 m, s'étendant vers l'est du rivage, sur une longueur de 38 m. Une jetée large de 10 m repose perpendiculairement à ce quai et se prolonge vers le nord sur une centaine de mètres dans la mer. Cette structure comportait deux murs de moellons perpendiculaires, avec un remplissage de pierres et de débris. (ii) **Le quai est et le môle nord.** Un quai long de 43 m a été construit sur un récif gréseux partiellement submergé par la mer. Il est protégé par un môle orienté vers l'est qui part de l'extrémité nord du quai. Cette structure est d'une construction identique à sa contrepartie sur la rive sud. Haggai (2006) a récemment daté des fragments de bois provenant de ces deux môles, situant le début de ces structures entre les 9^{ème} et 8^{ème} siècles avant J.-C. La séparation de ce port en deux zones d'amarrage permettait de faire la distinction entre les bateaux phéniciens et les vaisseaux étrangers. Les cargaisons devaient être

transbordées sur des embarcations légères avant d'être transportées vers Acre, Tyr et Sidon. (2) Ces découvertes chronologiques appuient des données similaires venant de Tabbat al-Hammam, où un môle de 130 m a été daté de la même période (Braidwood, 1940). Le quai, artificiellement taillé dans la roche, est protégé par une digue.

A Sidon, le cordon gréseux protégeant le port antique nord semble avoir été façonné pour créer un mouillage semi-artificiel en amont. De telles installations sont encore préservées sur l'île de Ziré. La qualité de cette rade foraine fut améliorée pendant la période perse, lorsque deux jetées furent édifiées pour protéger une série de quais d'amarrage. A présent, cependant, on ne sait pas clairement à quelle date furent réalisés les quais semi-artificiels (Carayon, 2003 ; Carayon et Viret, 2004).

Nos reconstitutions paléogéographiques de Tyr à l'âge du Fer mettent en évidence une île longue de 3000 m (Figure 2.14, Inclusions 4 et 5). Des découvertes archéologiques récentes (amphores et ancres de pierre) témoignent de l'utilisation de ces cordons comme ports extérieurs, fonctionnant en tandem avec les mouillages artificiels de la cité (El Amouri *et al.*, 2005).

3.4.2.4 Les ports hellénistique et romain

Description : La transition entre une unité de sables moyens et des sables limoneux est la preuve granulométrique la plus pertinente que nous ayons trouvée en faveur d'un port artificiellement fermé à Tyr. Ce faciès est caractérisé par une série de datations radiocarbone se regroupant autour de 2400 BP et 2000 BP, contemporaines de la période gréco-romaine. La texture sédimentaire est composée de 2-22 % de limons et argiles, 59-92 % de sables et 2-30 % de ballast. Des histogrammes unimodaux bien développés dans les sables fins, associés à des coefficients de dissymétrie de -0.16 à -0.52, attestent d'un environnement littoral à faible hydrodynamisme.

La macrofaune comprend des espèces provenant de biocénoses diverses (Figure 3.9). En dépit d'un environnement protégé, un nombre important d'espèces *extra situ* continuent d'être représentées. Elles sont indicatives soit : (1) d'incursions périodiques de forts courants marins ; ou (2) d'apports des navires (e.g. des coquillages pris dans les filets de pêche etc.). Les espèces *in situ* sont dominées par l'assemblage des sables fins bien calibrés (*Cyclope neritea*, *Smaragdia viridis*, *Nassarius pygmaeus*, *Nassarius mutabilis*) et des sables vaseux de mode calme (*Macoma cumana*, *Haminea hydatis*, *Loripes lacteus*).

Quatre groupes caractérisent l'ostracofaune de ce faciès portuaire : *Loxococoncha elliptica*, *Loxococoncha* spp., *Xestoleberis aurantia* et *Aurila convexa*. *Loxococoncha* spp. et *Xestoleberis aurantia* attestent d'un environnement laguno-marin (Figures 3.7 et 3.10). Pour la carotte TV, *Loxococoncha elliptica*, une espèce d'eau saumâtre, indique un port protégé.

L'exposition continue aux dynamiques maritimes se manifeste par un faible pourcentage d'espèces marines et côtières telles qu'*Aurila convexa*, *Aurila woodwardii*, *Cushmanidea* sp. et *Urocythereis oblonga*.

Interprétation : Les archives sédimentaires du port nord traduisent plusieurs avancées technologiques au cours de la période romaine (Oleson, 1988). La plus importante de ces découvertes techniques fut la maîtrise de la pouzzolane (Fitchen, 1988 ; Brandon, 1996, 1999 ; Garrison, 1998 ; Oleson *et al.*, 2004a-b). La pouzzolane, ou cendre pouzzolanique, est un matériau de silice et d'aluminium qui réagit avec l'hydroxyde de calcium en présence d'eau pour former un ciment hydraulique (Mehta, 1991 ; Malhotra et Mehta, 1996). Sa découverte fut une révolution dans l'ingénierie portuaire. Elle doit son nom à la baie de Pouzzoles, où ce tephra volcanique se trouve en abondance. Une recherche récente a d'ailleurs démontré que la région de Pouzzoles fut la première source de pouzzolane en Méditerranée pendant toute la période romaine (Oleson *et al.*, 2004a).

Alors que les sociétés de l'âge du Bronze et du Fer exploitaient les rades naturelles pour y établir leurs mouillages, la maîtrise romaine du ciment hydraulique ouvrit un grand nombre de possibilités nouvelles dans les zones côtières (Brandon, 1999 ; Oleson *et al.*, 2004a). Dès 200 avant J.-C., on utilisait la pouzzolane pour border les ouvrages portuaires à Pouzzoles (Puteoli). Son utilisation dans la construction portuaire romaine atteignit son apogée au cours des 1^{er} et 2^{ème} siècles après J.-C., comme en attestent les ports entièrement artificiels de Césarée, Cosa et Portus (McCann *et al.*, 1987 ; Oleson et Branton, 1992 ; Raban et Holum, 1996 ; Roller, 1998 ; Gazda, 2001 ; McCann, 2002 ; Oleson *et al.*, 2004b). A travers tout le pourtour méditerranéen, des études géoarchéologiques ont mis en évidence des unités d'argiles plastiques qui témoignent des avancées technologiques importantes de cette période (Hesnard, 1995, 2004a-b ; Goiran, 2001 ; Goiran et Morhange, 2003 ; Giampaola *et al.*, 2004 ; Marriner et Morhange, 2006a-b, 2007 ; Morhange, 2001).

A Tyr, il n'y a à présent que peu d'information archéologique sur la nature des infrastructures portuaires dans l'anse nord. Cependant, à la différence, par exemple, du port externe de Césarée, Tyr bénéficia de la protection naturelle de son cordon gréseux. Entreprendre des aménagements portuaires d'envergure n'était donc pas requis et nous pensons que des structures antérieures furent renforcées et augmentées à cette époque. Le brise-lames ouest-est révèle des couches romaines (Descamps, communication personnelle), et il semble probable qu'une infrastructure portuaire existant dès l'âge du Fer ait été renforcée et améliorée à cette période. Une série importante de datations radiocarbone comprise entre le 1^{er} siècle avant J.-C. et le 2^{ème} siècle après J.-C., témoigne d'un réaménagement majeur des infrastructures portuaires lorsque Tyr tomba sous le contrôle des Romains en 64 avant J.-C.

3.4.2.5 Le port byzantin

Description : Les périodes romaine et byzantine tardives sont caractérisées par un faciès de sables fins limoneux. Cette deuxième phase de confinement portuaire témoigne d'une infrastructure portuaire avancée, engendrant un environnement lagunaire isolé de la mer. Nous observons un déclin brutal de la biodiversité des ostracodes et de la macrofaune. Les espèces macrofaunistiques *in situ* comprennent des taxons des sables fins de haut niveau (e.g. *Pirenella conica*, *Cyclope neritea*), de l'assemblage lagunaire et des sables vaseux de mode calme (*Cerithium vulgatum*). Les ostracodes d'eau saumâtre, *Cyprideis torosa*, atteignent des niveaux d'abondance relative supérieurs à 90 %. L'absence d'espèces marines est le résultat du confinement.

Interprétation : Ces données biosédimentologiques sont le témoignage d'une apogée technologique au cours de la période byzantine, dont le point culminant est un bassin hyposalin protégé (Kjerfve et Magill, 1989). Les Byzantins héritèrent du riche savoir-faire des Romains en ingénierie. Beaucoup de leurs techniques furent améliorées et consolidées pendant cette période (Hohlfelder, 1997). En effet, un bassin aussi bien protégé n'exista plus jamais à Tyr (Borrut, 1999-2000).

3.4.2.6 La phase de semi-abandon : du 6^{ème} au 8^{ème} siècle après J.-C.

Description : La transition vers l'unité A est située entre les 6^{ème} et 8^{ème} siècles après J.-C., postérieure à la période byzantine. Cette unité comprend un faciès de sables coquilliers riche en ballast (3 à 31 %) et sables grossiers (58 à 83 %), contre des valeurs plus modestes de 9 à 18 % pour les limons et argiles.

Les espèces *Cerithium vulgatum* et *Pirenella conica* dominent la macrofaune, avec de nombreux taxons secondaires provenant de différentes biocénoses (*Ringicula auriculata*, *Nassarius pygmaeus*, *Gibberula miliaria*; **Figure 3.9**). L'augmentation du nombre d'ostracodes côtiers, comme *Urocythereis* sp. et *Aurila woodwardii*, se fait au détriment des groupes lagunaires et laguno-marins du port byzantin, autrefois abondants (**Figures 3.7 et 3.10**). Ceci traduit une réouverture du milieu aux influences de la houle et des courants marins. Les coquilles de beaucoup de ces individus ont été cassées par l'action des vagues, témoignage d'un hydrodynamisme plus important lié au déclin du port. Cette phase de semi-abandon a conduit à une progradation rapide de la ligne de rivage, diminuant la taille du bassin d'environ 40 %. L'avancée des plages a permis l'expansion urbaine durant l'époque médiévale, période au cours de laquelle le port devint la place de marché principale de Tyr.

Interprétation : Cette unité de sable grossier est un trait classique des ports semi-abandonnés, non seulement au Levant mais aussi dans toute la

Méditerranée (Marriner et Morhange, 2007). Expliquer sa présence à Tyr est complexe et semble être liée à plusieurs phénomènes. (1) **Culturel** : L'hégémonie byzantine à Tyr dura jusqu'au 7^{ème} siècle après J.-C., lorsqu'une série de crises politiques (querelles internes, assaut arabe) força l'empire à se replier sur son noyau administratif en Anatolie (Norwich, 1993 ; Treadgold, 2000). Dès 650 après J.-C., les Arabes avaient conquis tout le Levant (jusqu'à la Syrie), la Perse, et l'Égypte (Bonner, 2005). Cette époque fut marquée par des permutations importantes dans le réseau commercial de la Méditerranée orientale, ce qui eut un impact direct sur les ports de la région. (2) **Catastrophes naturelles** : du 4^{ème} au 11^{ème} siècle après J.-C., il y eut une période d'instabilité tectonique bien documentée (Guidoboni *et al.*, 1994 ; Elias *et al.*, 2007), génératrice de plusieurs tsunamis sur la côte levantine.

3.4.2.7 Dragages romains et byzantins

Jusqu'à récemment, les ports antiques étaient considérés comme étant des archives quasi continues de l'interaction entre l'Homme et son environnement, qui embrassaient la période néolithique tardif jusqu'à nos jours (Morhange, 2001 ; Goiran et Morhange, 2003). Au cours de notre recherche récente, cette idée a été soumise à un examen minutieux. En effet, des données nouvelles indiquent que les chercheurs doivent maintenant nuancer la façon dont ils interprètent ces enregistrements sédimentaires. A Tyr et Sidon, d'importantes inversions chronologiques ont été mises en évidence dans toutes les unités portuaires artificielles. Initialement, leur interprétation fut problématique en et évoquait un âge réservoir radiocarbone non quantifié pour les littoraux du sud Liban. En l'absence de coquilles macrofaunistiques d'avant 1930, nous avons effectué une série de datations radiocarbone sur du charbon de bois (2215 ± 30 BP Poz-5777) et des coquilles de *Loripes lacteus* *in situ* (2505 ± 30 BP Poz-5775). Ces échantillons proviennent de la même couche stratigraphique, TIX 35. Le décalage, lié aux effets réservoirs, confirme ce qui a été découvert ailleurs en Méditerranée (Reimer et McCormac, 2002), et indique que les anomalies radiocarbone ne sont pas à l'origine des modèles chronostratigraphiques empiriques observés. Ces données, qui viennent renforcer des scénarios semblables à Marseille et à Naples, démontrent que les Romains ont réaménagé de façon importante leurs infrastructures portuaires au début de l'ère chrétienne, notamment en retirant d'importants volumes de sédiments de l'âge du Bronze et du Fer (Giampaola *et al.*, 2004 ; Hesnard, 2004a ; Giampaola et Carsana, 2005). Cela explique le paradoxe stratigraphique de ports phéniciens sans archives sédimentaires.

Les sociétés romaine et byzantine ont eu un impact majeur sur les processus de sédimentation dans le bassin nord de Tyr. L'influence de l'Homme sur ce milieu littoral a entraîné d'importants déséquilibres anthropogéniques. Au cours de cette période, nous observons des vitesses de sédimentation environ 10 fois

plus élevées que sur les côtes « naturelles » avoisinantes. Par exemple, pour la période 6000 à 4000 ans avant J.-C., des vitesses de sédimentation de 0,5 à 1 mm/an sont à comparer aux 10 mm/an pour la période de 500 avant J.-C. à 500 après J.-C. Le bassin agit comme un piège sédimentaire, accumulant de puissantes séquences limono-argileuses. Des vitesses d'envasement comprises entre 10 et 20 mm/an ont aussi été observées à Alexandrie (Goiran, 2001) et Marseille (Morhange *et al.*, 2003a). Dès la période romaine, ce problème était devenu si aigu qu'il menaçait la viabilité du port nord de Tyr et nécessita une réaction efficace. Bien que des infrastructures de désenvasement, comme des écluses et des canaux, aient pu partiellement atténuer le problème, elles furent relativement inefficaces sur la longue durée (Blackman, 1982a-b). Le dragage répété restait donc le seul moyen de créer artificiellement un espace disponible assurant à long terme la praticabilité du port.

Dans le restant du chapitre, nous aborderons la question des autres complexes portuaires tyriens, notamment l'hypothèse d'un bassin sud, des rades foraines ainsi que d'un éventuel port continental situé entre les tells de Mashuk, Chawakir et Rachidiye.

3.4.3 A la recherche du port sud de Tyr

Bien que la question d'un port sud ne fût pas évoquée avant le 19^{ème} siècle (Kenrick, 1855 ; Poulain de Bossay, 1861 ; Guérin, 1880), des vestiges archéologiques submergés au sud de la ville actuelle avaient depuis longtemps attiré la curiosité des premiers pèlerins et voyageurs. Dès le 12^{ème} siècle après J.-C., Benjamin de Tolède décrit les tours, palais, places et rues submergés qu'il observa sur le flanc sud de la cité. Plus tard, Maundrell (1703) aborde brièvement le sujet quand il observe que les baies sud et nord « *are, in part, defended from the ocean, each by a long ridge, resembling a mole, stretching directly out, on both sides, from the head of the island; but these ridges, whether they were walls or rocks, whether the work of art or nature, I was too far distant to discern* ». L'idée de construire un double port pouvait être motivée par le fait qu'il y a deux vents principaux affectant le littoral tyrien. En effet, les mouillages doubles sont un thème récurrent des complexes portuaires de l'âge du Fer (Lehmann-Hartleben, 1923).

3.4.3.1 Preuves épigraphiques et iconographiques de deux ports à Tyr

Le développement du commerce méditerranéen pendant l'âge du Bronze nécessita l'aménagement des bassins de la cité (Katzenstein, 1997). Une série de preuves indirectes étayent l'existence de deux bassins sur cette île.

(1) La première, et peut être la plus intéressante du point de vue paléogéographique, provient d'une description iconographique assyrienne de

Tyr à Balawat (près de Mossoul dans l'Iraq moderne [Figure 3.11]). La partie supérieure de cette frise montre Salmanazar dans la première année de son règne (858 avant J.-C.), recevant des tributs des Tyriens. Les Phéniciens, que l'on distingue grâce à leurs capuchons pointus, apportent des offrandes, depuis leur île forteresse, au Roi Salmanazar (?), qui attend sur le continent avec un arc et des flèches en guise de conquérant. L'île forteresse est représentée par de hauts murs portant des tours et percés de deux portes menant à l'intérieur de la cité. Des chercheurs ont interprété ces entrées séparées comme un symbole des deux ports de la cité antique (Barnett, 1969 ; Katzenstein, 1997). D'autres, toutefois, ont contesté cette explication, remarquant que les deux portes ne donnent pas directement sur la mer (Bunnens, 1983).

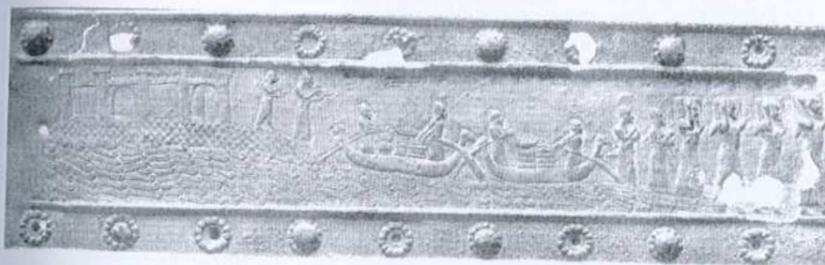


Figure 3.11 : Représentation de Tyr au 9^{ème} siècle avant J.-C. provenant du site assyrien de Balawat en Irak. Photographie: N. Marriner au British Museum.

(2) L'idée d'un double port à Tyr est également attestée par une description de Tyr dans l'Ancien Testament où la ville est décrite comme « *throned above your harbours* » (Ezéchiel 27:3; [Katzenstein, 1997]). Carayon (2008) note, cependant, que la Bible hébraïque n'utilise pas le terme « port » mais « accès », évoquant une porte ou un passage. A la lumière de quoi, l'interprétation de Katzenstein du texte d'Ezéchiel n'est pas totalement justifiée.

(3) La première preuve indubitable de deux ports à Tyr date des narrations du siège d'Alexandre le Grand. Arrien, écrivant à l'époque d'Alexandre, nota que Tyr avait deux ports, l'un étant une baie naturelle et le second artificiel (Arrien II, 20, 10: « vers Sidon » et « vers l'Egypte »). Diodore de Sicile (90-30 avant J.-C.), utilise le pluriel de « port » (XVII, 42, 4) en décrivant les mouillages de la cité, mais ne fournit pas d'information détaillée.

(4) Finalement, Strabon (vers 40-25 avant J.-C.), décrit deux ports à Tyr, l'un qui est fermé (*limen kleistov*) et l'autre ouvert (*aneimenon*). Ce texte est particulièrement intéressant, car il peut être mis en relation avec les bas-reliefs du palais de Sennachérib (704-681 avant J.-C.) à Ninive. Ces bas-reliefs sont aujourd'hui perdus mais peuvent être encore étudiés grâce aux dessins de

Layard et Barnett (Barnett, 1956). Il fut suggéré que la scène décrit la fuite de Lulî, roi de Tyr et Sidon. La vue représentée se déroule dans un port, apparemment extérieur aux murs principaux de la cité et accessible par une poterne (Figure 3.12). Cette idée se poursuit avec Lehmann-Hartleben (1923) qui définit le port fermé (*limen kleistos*) comme un port *intra muros*, par opposition au port *extra muros* (*limen aveimenon*) qui, lui, est ouvert sur la mer. Sur cette base, il est vraisemblable que les bas-reliefs de Ninive correspondent au port sud.

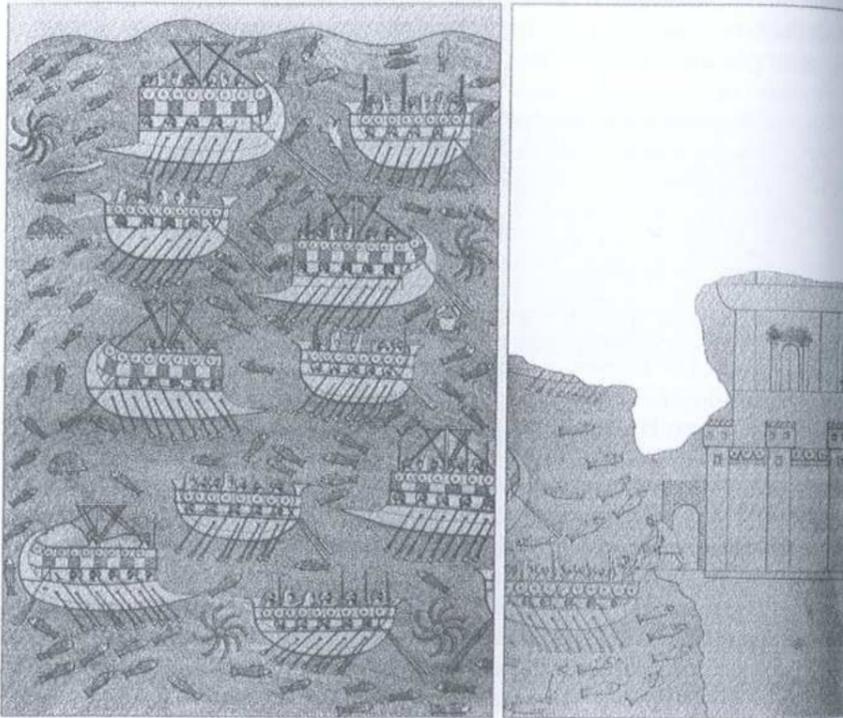


Figure 3.12 : Bas-reliefs du palais de Sennachérib (704-681 avant J.-C.) à Ninive, dont on a déduit qu'il représentait la fuite de Lulî par le port sud de Tyr.

3.4.3.2 Le port sud de Poidebard

Au début du 20^{ème} siècle, deux écoles de pensées s'opposèrent sur l'interprétation des vestiges archéologiques sud : (1) une école « port antique », soutenue par Kenrick et De Bossay entre autres ; et (2) une école « cité submergée », conduite notamment par Renan. Malheureusement, les limites méthodologiques de l'époque ne permettaient à aucune des deux écoles de recueillir de preuves archéologiques solides sur lesquelles fonder leurs hypothèses.

Fasciné par les conjectures de ses prédécesseurs, Antoine Poidebard associa la photographie aérienne et la plongée sous-marine pour explorer l'archéologie engloutie du sud de Tyr (Poidebard, 1939). Son intérêt pour Tyr fut éveillé en 1934 lorsque, en tant qu'officier de l'armée de l'air française, il entreprit la photographie aérienne de la côte phénicienne. C'est grâce à elle qu'il réalisa la richesse du potentiel archéologique de la cité.

La plupart des vestiges archéologiques sud se localisent dans un bassin orienté est-ouest, d'environ 700 m de long sur 200 m de large, et qui s'étend parallèlement au flanc sud de l'île antique (Figure 3.13). Le fond marin repose à environ 3-4 m sous le niveau actuel de la mer. De nos jours, cette zone est parfois utilisée comme mouillage de pêche, mais n'est pas, du moins aujourd'hui, suffisamment protégée pour être considérée comme un bassin portuaire au sens strict du terme. En vérité, il semble même paradoxal que les sociétés antiques aient construit un bassin portuaire si important sur cette façade exposée de l'île.

Après une recherche étendue de 1934 à 1936, Poidebard décrivit ce qu'il pensait être un bassin artificiel, fermé par un imposant môle de 670 m de long. Pour beaucoup de chercheurs, le port sud de Tyr avait été redécouvert et, malgré une remise en question par Honor Frost (1971) pendant les années 1960 et 1970, archéologues et historiens acceptent toujours les interprétations erronées de Poidebard (Bikai, 1979 ; Bikai et Bikai, 1987 ; Jidejian, 1996 ; Katzenstein, 1997 ; Kassis, 2005). En se basant sur les travaux de Frost, de nouvelles prospections sous-marines, entreprises en 2002, ont confirmé que cet espace était un quartier submergé de la cité antique (El Amouri *et al.*, 2005). Le supposé môle de Poidebard a fourni des céramiques de la période romaine tardive, confirmant qu'il n'est pas d'origine phénicienne ; El Amouri *et al.* (2005) ont émis l'hypothèse qu'il s'agirait d'un mur de polder. La présence de structures urbaines, murs et carrières submergées au sein même du bassin remet encore plus en question son utilisation comme complexe portuaire pendant l'Antiquité.

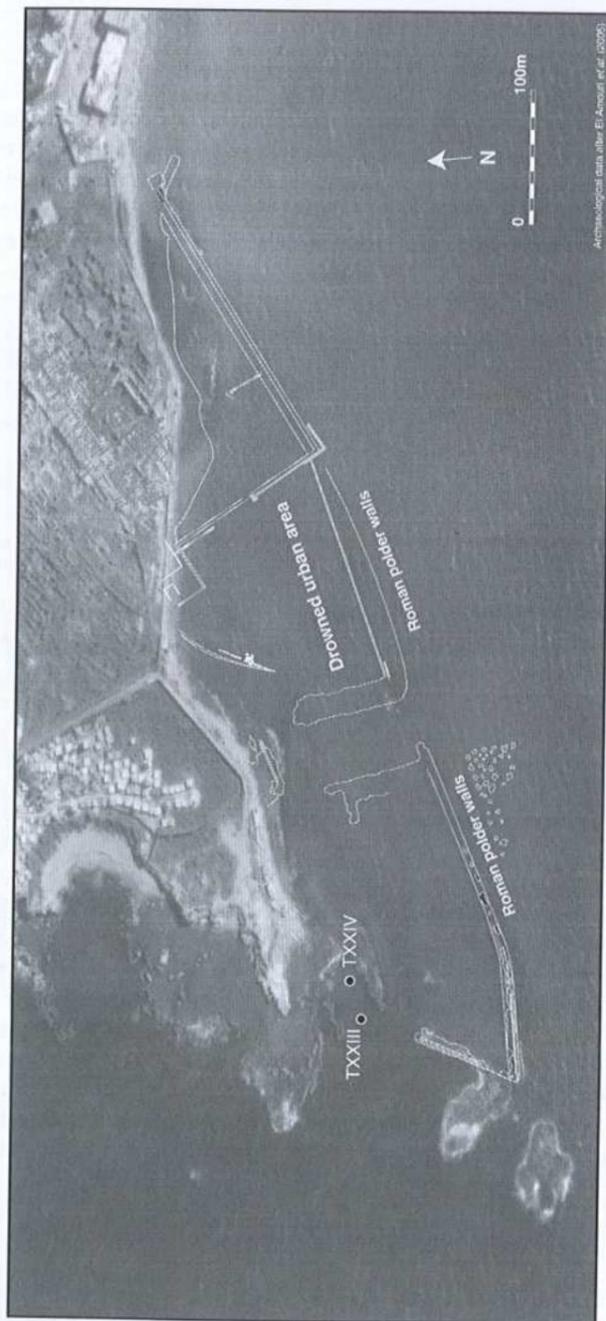


Figure 3.13 : Photographie aérienne du quartier sud submergé de Tyr (données archéologiques [El Amouri *et al.*, 2005 ; Poidebard, 1939]).

3.4.3.3 Réinterprétation du supposé port sud de Tyr

Pour tester de façon indépendante ces données archéologiques, nous avons effectué deux carottes à l'intérieur du bassin (TXXIII et TXXIV; Figure 3.13) afin de répondre à plusieurs interrogations : (1) existe-t-il des preuves sédimentologiques d'un port antique dans cette zone (qu'il soit de l'âge du Fer, romain ou byzantin) ? ; (2) si ce bassin fut à l'origine un quartier urbain, est-il possible de dater avec précision la subsidence de l'île ?

3.4.3.3.1 Le polder (unité C)

Une couche très fine (50 cm) de sédiments meubles fut trouvée dans cette zone sud (Figure 3.14). L'unité C des carottes TXXIII et TXXIV comprend un sable grossier avec des indices de tri pauvres, entre 1,2 et 1,6. Cinq groupes dominent l'ostracofaune, *Loxococoncha rhomboidea*, *Xestoleberis aurantia* (laguno-marines), *Aurila convexa*, *Aurila woodwardii* et *Urocythereis oblonga* (côtiers). Les densités faunistiques sont faibles, entre 20 et 40 carapaces pour 10 g de sable (Figure 3.15). Des groupes divers sont représentés par la macrofaune, avec des assemblages de sables infralittoraux (*Tricolia pullus*, *Rissoa dolium*, *Mitra cornicula*), de roches infralittorales et de sables fins de haut niveau (Figure 3.16). Ces données biosédimentologiques indiquent la présence d'un polder, où les sédiments côtiers avoisinants furent déposés pour surélever le niveau général du sol. Dans le dessein d'accroître sa superficie habitable, plusieurs zones de l'île antique ont été ainsi comblées depuis l'âge du Fer (Katzenstein, 1997).

3.4.3.3.2 Dépôts de dragage de l'âge du Fer (unité B) ?

Les dépôts de sables grossiers de l'unité C sont recouverts par une unité sablo-limoneuse. La fraction des limons et argiles constitue jusqu'à 80-90 % de la texture totale des sédiments. La fraction du ballast contient de nombreux morceaux de racines, de charbon de bois, de fragments de bois et des graines, semblables aux dépôts romano-byzantins trouvés dans le port nord de Tyr. Une très faible diversité ostracofaunistique, dominée par les groupes laguno-marins et côtiers, témoigne d'un environnement semi-protégé. Les assemblages des sables et roches infralittoraux caractérisent les mollusques. Trois datations radiocarbone ont été effectuées sur la carotte TXXIV, toutes comprises entre 750 et 400 ans cal avant J.-C.

Nous avançons deux hypothèses pour expliquer l'origine de ces sédiments fins.

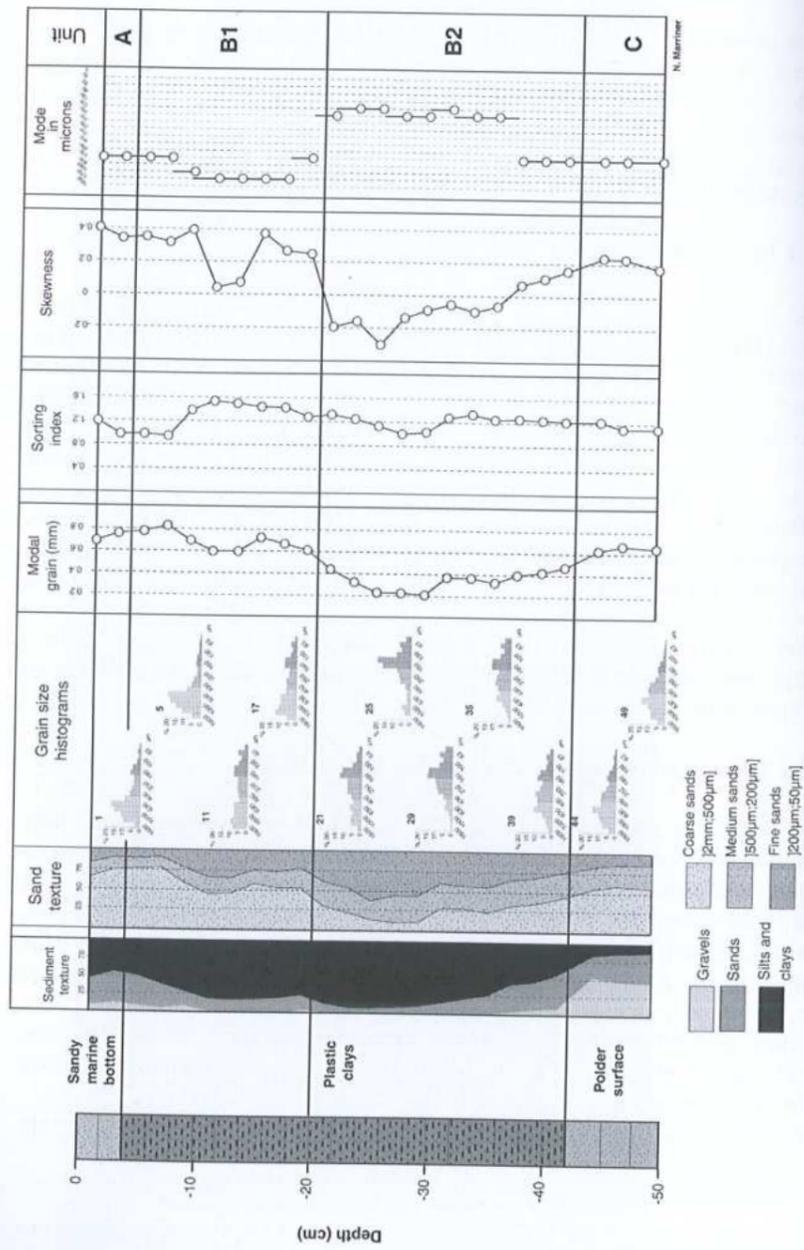


Figure 3.14 : Analyses granulométriques de la carotte TXXIV.

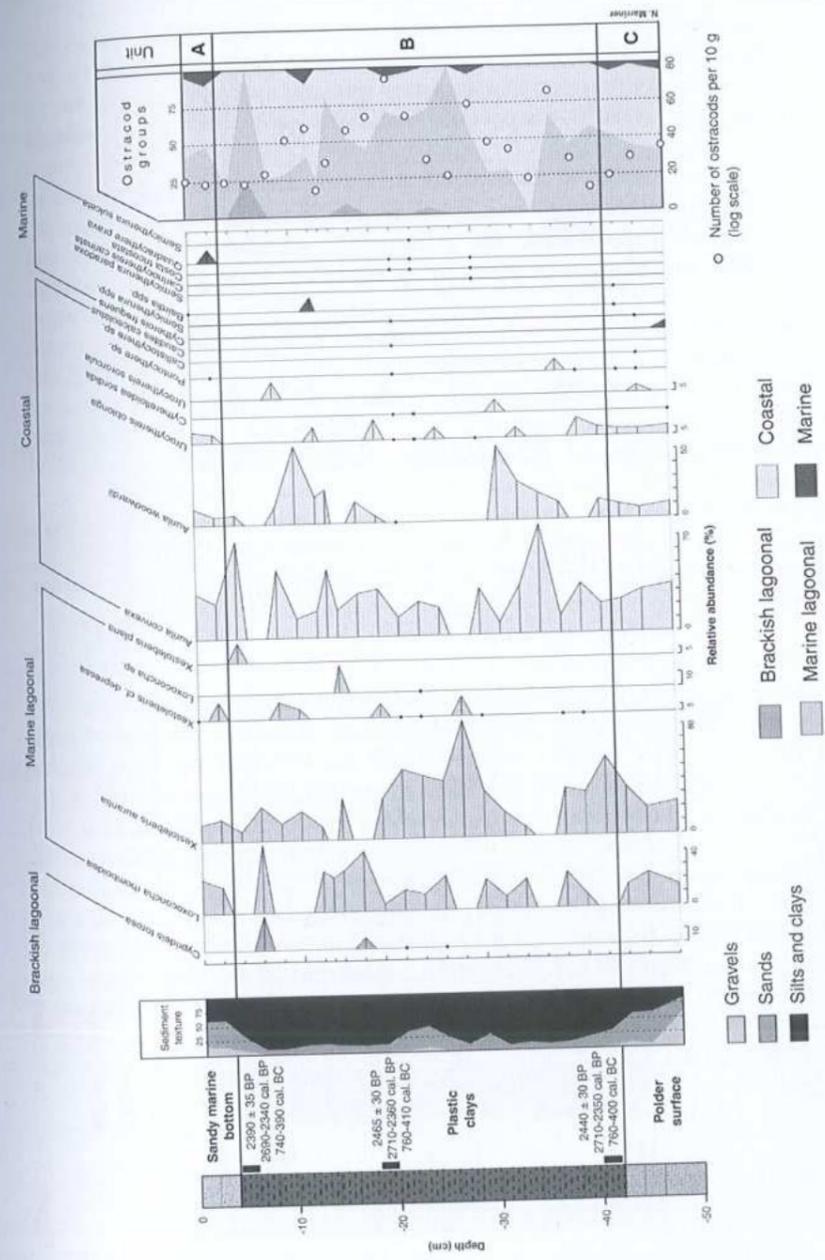


Figure 3.15 : Ostracofaune de la carotte TXXIV.

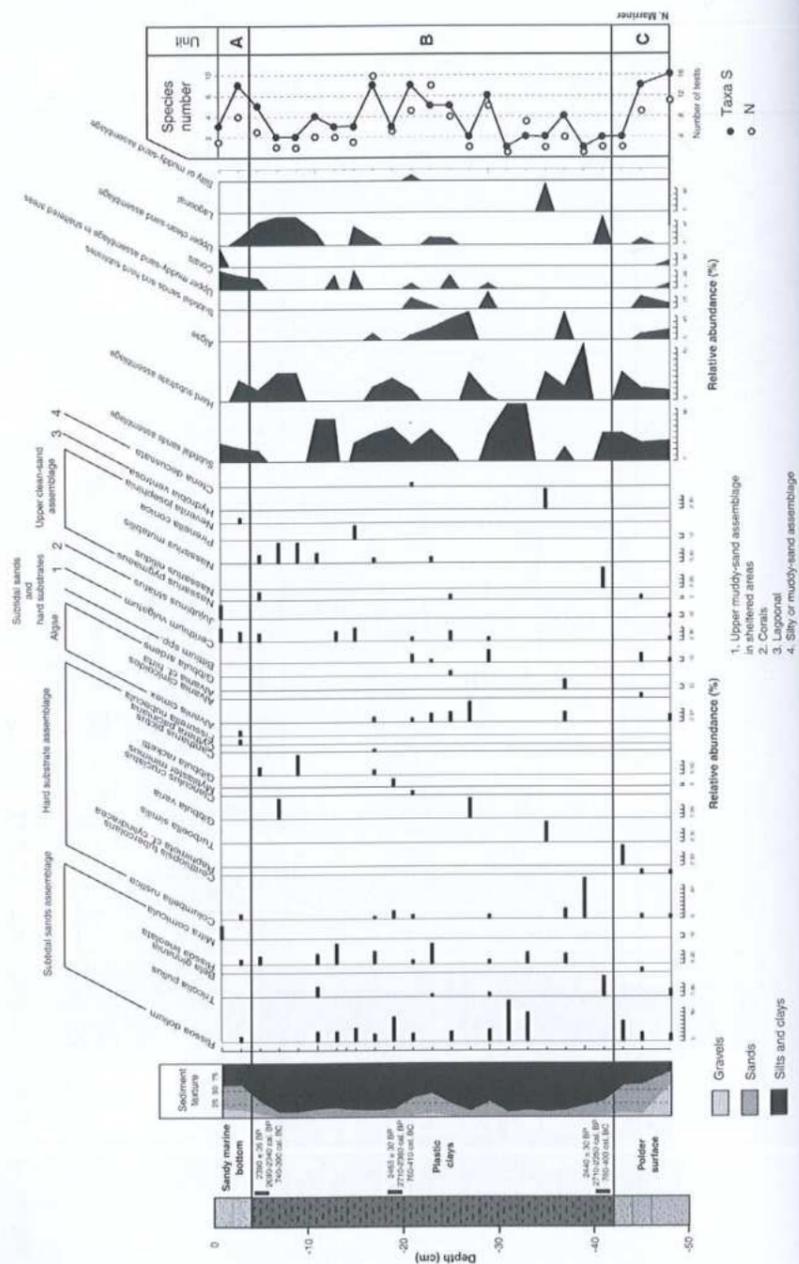


Figure 3.16 : Macrofaune de la carotte TXXIV.

(1) Une subsidence tectonique du cordon littoral qui ennoya le quartier sud de la cité pendant l'Antiquité, formant ainsi une enclave semi-protégée, abritée par les murs du polder. Des données archéologiques et stratigraphiques nouvelles appuient l'hypothèse d'un effondrement tectonique du horst tyrien pendant l'Antiquité. Deux types de preuves existent : (i) Archéologiques : Le môle nord romain de Tyr se situe à présent à 2,5 m sous le niveau actuel de la mer, traduisant une subsidence d'environ 3 à 3,5 m (Noureddine et Helou, 2005 ; Descamps, communication personnelle). Sur la rive sud, des murs et des carrières submergés à 2,5 m sous le niveau moyen de la mer (MSL) ont été également mis en évidence (Frost, 1971 ; El Amouri *et al.*, 2005). (ii) Stratigraphiques : une subsidence similaire se traduit également dans la stratigraphie côtière de la cité, notamment par un décalage d'environ 3 m entre les strates tyriennes et sidoniennes. Les données archéologiques démontrent que cette zone de la cité antique était fonctionnelle pendant les périodes hellénistique et romaine (El Amouri *et al.*, 2005), en contradiction avec l'idée d'un effondrement pendant l'occupation perse. Nos reconstitutions paléogéographiques attestent d'une île hellénistique/romaine de 2800 m (N.-S.) sur 800 m (E.-O.) comparée à 1000 m (N.-S.) sur 700 m (E.-O.) après la subsidence romaine (Figure 2.14). A la lumière de ces désaccords chronologiques, comment peut-on expliquer la présence de dépôts portuaires sur la *terra ferma* ?

(2) Cette question nous a suggéré une deuxième hypothèse plus plausible. Nous pensons que ces matériaux provenaient du port nord, et ont été déposés à cet endroit pour être utilisés à des fins artisanales (Figure 3.18). Cette hypothèse est confirmée par la distribution relativement localisée des dépôts argileux et leur proximité avec le rivage gréco-romain de cette période. Il apparaît donc vraisemblable que des bateaux-dragues ont déposé dans cette zone de petites cargaisons de sédiments en provenance du port nord. El Amouri *et al.* (2005) ont noté que ces argiles sont relativement localisées, couvrant moins de 5 % de la superficie totale du bassin. Des recherches récentes dans la rade de Marseille démontrent que des *maries-salopes* furent utilisées de façon importante pour transporter les matériaux dragués pendant la période romaine (Pomey et Rieth, 2005). Ces bateaux étaient conçus pour contenir des sédiments de dragage. Une fois qu'ils étaient remplis, ou bien ils déversaient leur contenu sur la terre, ou bien ils le larguaient en mer à travers une trappe spécialement conçue à cet effet dans leur coque (Pomey, 1995 ; Long, communication personnelle).

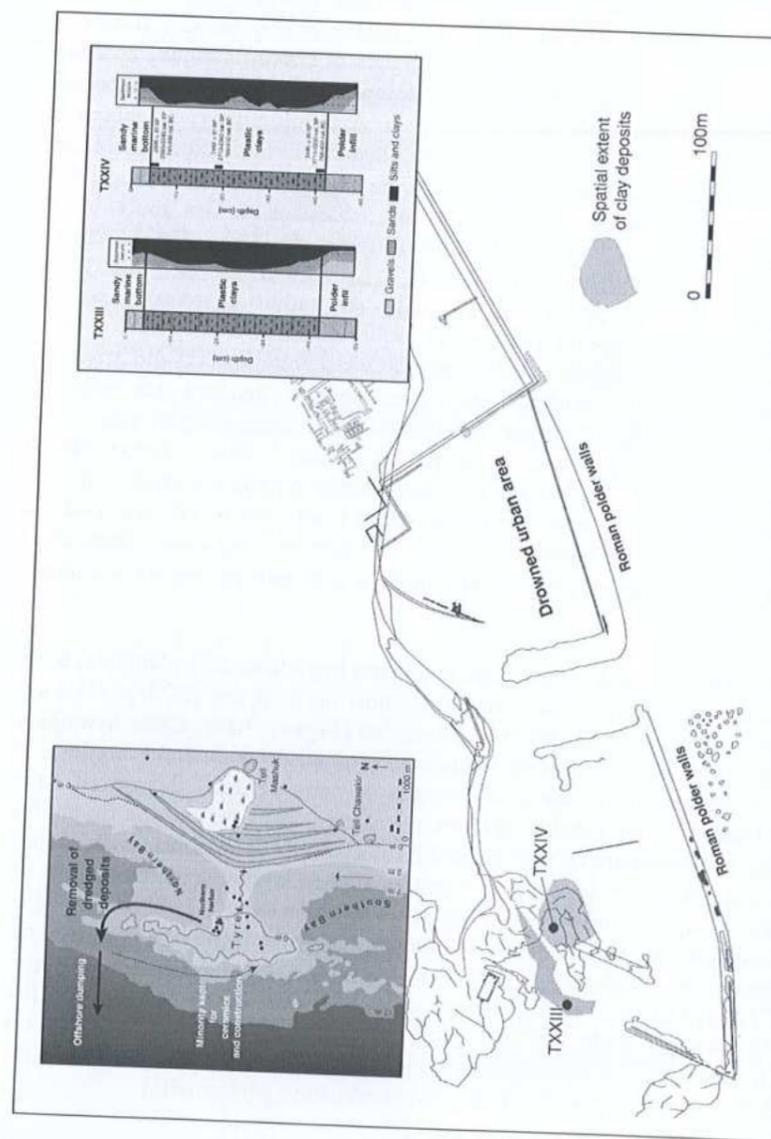


Figure 3.17 : Localisation des dépôts de vases dragués dans le bassin sud de Tyr (données archéologiques [El Amouri et al., 2005]).

3.4.3.3 Fond marin actuel (unité A)

Des sables grossiers caractérisent l'unité A des carottes TXXIII et TXXIV. Cette fine couche de sédiments est caractéristique du fond marin actuel. Malheureusement, il n'a pas été possible de dater avec précision l'inondation marine de la zone sud sur des bases purement radiométriques. Toutefois, les données archéologiques attribuent cet effondrement tectonique à la période romaine tardive. D'après les données disponibles aujourd'hui, il est plausible que le bassin submergé ait été utilisé comme port de pêche par de petites embarcations à partir de la période byzantine. Cependant, aucune preuve archéologique n'existe en faveur d'infrastructures portuaires élaborées, si bien que les interprétations initiales de Poidebard peuvent être irréfutablement rejetées.

3.4.4 Où se situait le port sud de Tyr ?

À la différence de nombre de ses homologues, Renan (1864) a toujours mis en question la validité d'un port sur le flanc sud de l'île. En se basant sur ses observations du site, il proposa un mouillage au sud-est de l'île, dans une zone maintenant recouverte par d'importantes épaisseurs de sédiments côtiers. Pour tester cette hypothèse nous avons effectué plusieurs forages afin de décrire la stratigraphie.

Les modèles numériques indiquent que, durant l'Antiquité, l'île de Tyr généra une zone de faible hydrodynamisme, de 3 km par 1,5 km, ayant pu favoriser plusieurs mouillages secondaires (Marriner *et al.*, 2007). Une des zones de plus faible énergie se localise là où Renan situait le port sud (voir Figure 3.1) ; cet espace se trouve aussi à proximité du centre urbain de la ville antique. Les récifs qui s'étendent au nord et au sud de l'île auraient été utilisés comme rades foraines de la même manière qu'à Ziré au large de Sidon. Un tel complexe portuaire aurait donc fortement augmenté la capacité d'amarrage de la cité.

3.4.4.2 Que peut nous apprendre la stratigraphie côtière sur le port sud de Tyr ?

Plusieurs carottes ont été forées sur la bordure sud-est de l'île, dans la zone dite « port sud de Renan » (Renan, 1864). Cette aire atteste d'une histoire stratigraphique complexe caractérisée par l'accrétion de sédiments côtiers naturels juxtaposés à une série de phases de remblaiement gréco-romains.

3.4.4.2.1 Le port sud-est de Renan

3.4.4.2.1.1 La transgression marine, carotte TVIII

La transgression marine est datée de 6300 ± 40 BP (6880-6650 ans cal. BP). Cette unité comprend des sables fins (Figure 3.18) avec des espèces macrofaunistiques provenant de sables et roches infralittoraux (*Bittium reticulatum*), de sables vaseux de mode calme (*Cerithium vulgatum*) et de sables infralittoraux (*Rissoa lineolata*, *Rissoa dolium* [Figure 3.19]). Une densité faunistique élevée (environ 1000 coquilles par 10 g de sable), dominée par *Cyprideis torosa*, caractérise l'ostracofaune.

3.4.4.2.1.2 Plage protégée

Dans l'unité D, la transition vers une unité de sables fins témoigne d'un milieu marin protégé. Des sables fins et des indices de tri de 0,4 sont caractéristiques d'une plage sublittorale. Trois assemblages dominent la macrofaune : les sables et roches infralittoraux (*Bittium reticulatum*), les sables vaseux de mode calme (*Loripes lacteus*, *Gastrana fragilis*, *Cerithium vulgatum*) et les sables infralittoraux (*Macoma tenuis*, *Dosinia lupinus*). La base de l'unité C ne contient pas d'ostracodes. *Cyprideis torosa* dominent le haut de l'unité, avec des pics secondaires de *Loxoconcha* spp., *Xestoleberis aurantia* (espèces laguno-marines) et *Aurila convexa* (espèce côtière).

Les données biosédimentologiques mettent en évidence une plage protégée par le cordon littoral. Un tel contexte géomorphologique aurait été particulièrement propice à l'établissement d'un mouillage à partir de l'âge du Bronze.

3.4.4.2.1.3 Les phases de remblaiement

Les unités C1-3 sont caractérisées par du ballast et des sables grossiers. Les analyses granulométriques témoignent de dépôts de polder. Les analyses sédimentologiques mettent en évidence trois phases de remblaiement, commençant à la période hellénistique (2510 ± 30 , 2300-2080 ans cal. BP). Celles-ci sont clairement différenciées par les valeurs modales des trois unités, respectivement $160 \mu\text{m}$ (unité A), $63 \mu\text{m}$ (unité B) et $250-63 \mu\text{m}$ (unité C).

L'absence relative de macrofaune et d'ostracodes confirme encore davantage ces phases de comblement. La macrofaune, par exemple, juxtapose des espèces provenant de divers environnements, allant des sables vaseux aux roches infralittorales. Le faible nombre de coquilles, leur condition taphonomique et l'absence de juvéniles ne sont pas compatibles avec une biocénose *in situ*. Des faciès similaires ont été observés dans la carotte TXVI et indiquent que plusieurs zones des cités hellénistique et romaine étaient construites sur des dépôts artificiels de polder.

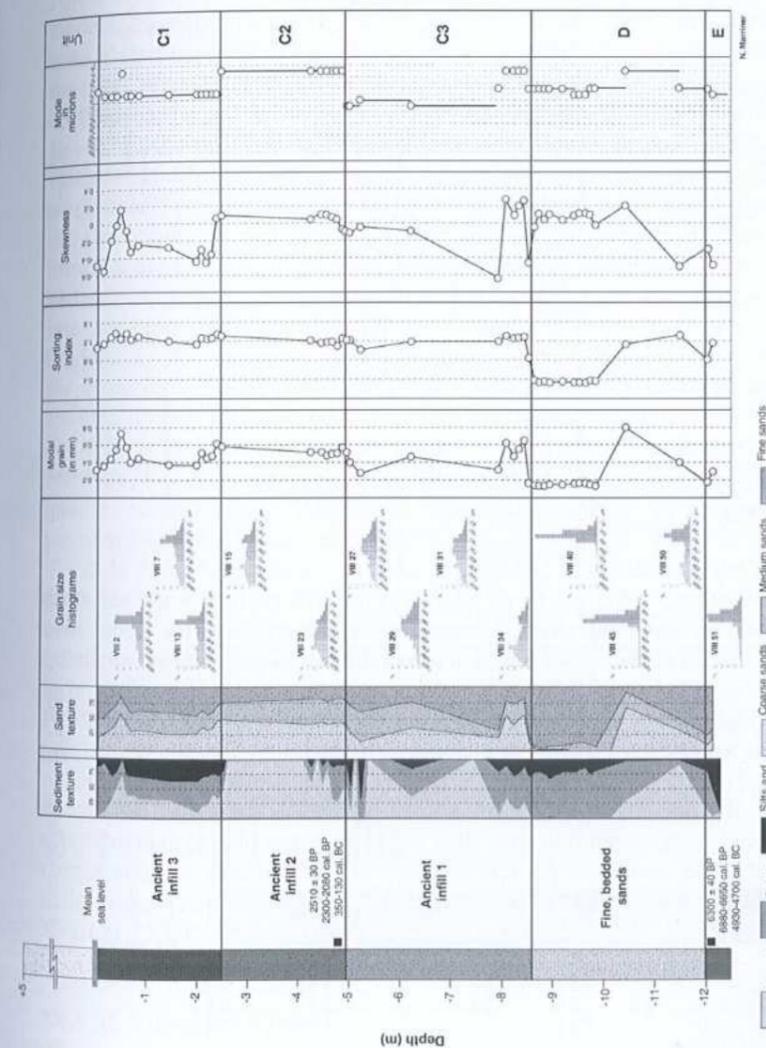


Figure 3.18 : Analyses granulométriques de la carotte TVIII.

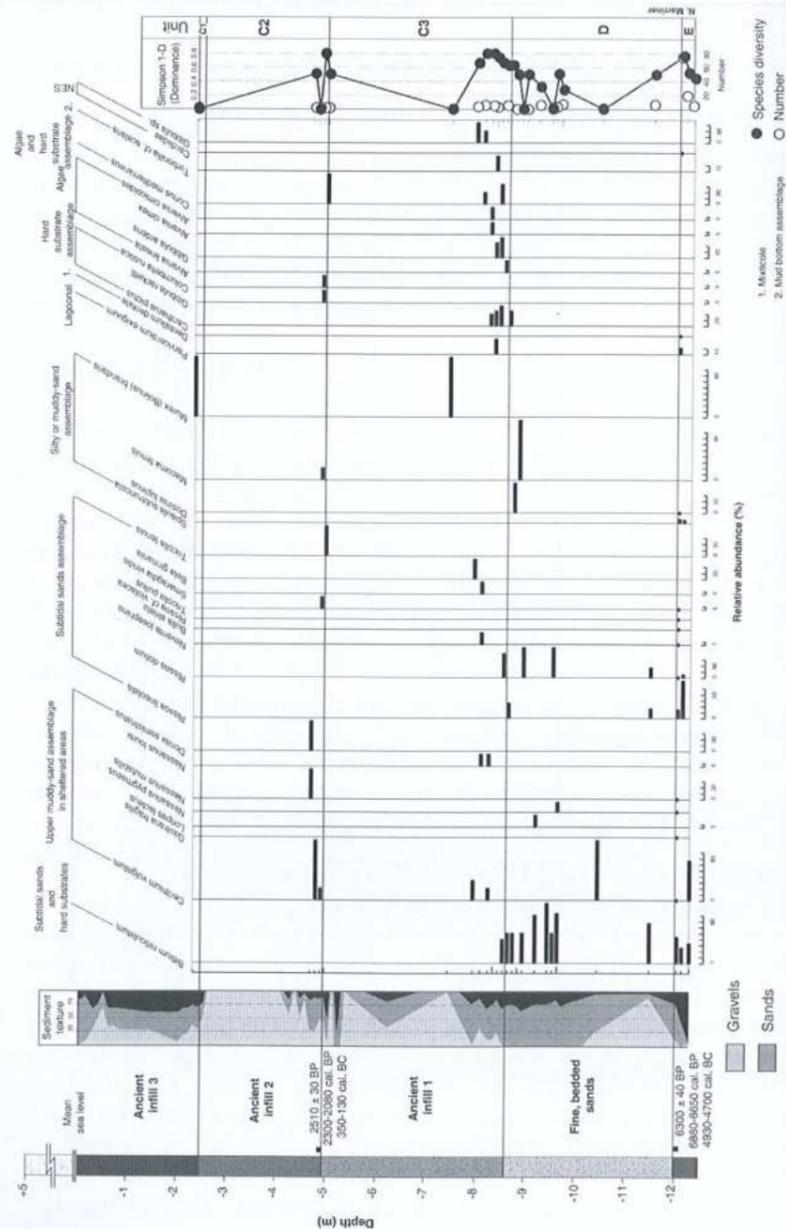


Figure 3.19 : Macrofaune de la carotte TVIII.

3.4.4.2.2 Que pouvons-nous dire sur la localisation du port sud de Tyr ?

Les nouvelles données géoarchéologiques provenant du bassin sud de Poidebard ne sont pas compatibles avec un complexe portuaire. En effet, les modèles numériques présentés par Marriner *et al.* (2007) montrent que cette zone n'était pas suffisamment protégée pour permettre un deuxième mouillage sur l'île. Nous évoquons trois raisons pour expliquer les erreurs interprétatives de Poidebard : (1) La majorité de ses photographies fut prise d'une altitude élevée, autour de 1000 m. Bien qu'elles aient fourni un bon rendu général des vestiges archéologiques près de la surface, des distorsions optiques ne permettaient pas d'étudier les structures localisées sur des fonds plus profonds. (2) De nombreux vestiges archéologiques ont été érodés par des processus littoraux depuis leur submersion durant la période romaine tardive. De grandes surfaces sont aujourd'hui partiellement recouvertes par du sable, rendant leur interprétation problématique. (3) Finalement, et peut-être le plus important, Poidebard ne plongeait pas lui-même mais dirigeait des équipes de scaphandriers. Ses *a priori* personnels concernant les vestiges, alliés à une absence d'observation directe, semblent avoir biaisé ses interprétations. Malgré ces défauts, la qualité de ses recherches ne doit pas être mise en question. Ses archives photographiques et sa cartographie de la zone côtière de Tyr sont d'une qualité exceptionnelle (Denise et Nordiguian, 2004), et il reste l'un des pionniers de l'archéologie sous-marine.

A la lumière de notre nouvelle recherche, l'hypothèse d'un port sud-est proposée par Renan semble fort plausible. La stratigraphie côtière démontre que cette zone formait une façade protégée à partir de l'âge du Bronze. Bien qu'aucun faciès typiquement portuaire n'ait été trouvé, nous proposons d'y voir là le meilleur site potentiel pour un deuxième mouillage à Tyr. Cependant, en l'absence de données archéologiques, il est impossible de reconstituer avec précision où, quand et comment ce bassin a évolué. Il est plausible qu'un bassin artificiel *sensu stricto* n'ait pas été édifié, mais plutôt que cette façade, abritée du sud-est, ait servi d'ancrage semi-naturel. Manifestement, des recherches supplémentaires sont nécessaires sur cette question importante. Des travaux de construction à grande échelle ont été mis en évidence pour les périodes hellénistique et romaine, caractérisés par des dépôts de remblaiement (carottes TVIII et TXVI). Ils doivent être mis en relation avec le mur de polder submergé identifié par El Amouri *et al.* (2005).

3.4.5 Mouillages satellites

3.4.5.1 Les rades foraines de Tyr

La présence de rades foraines à Tyr est attestée par trois éléments : (1) nos reconstitutions paléogéographiques de l'île aux âges du Bronze et du Fer

(Figure 3.20) ; (2) les découvertes archéologiques maritimes (ancres de pierre, poteries) à proximité des récifs gréseux (Poidebard, 1939 ; Frost, 1971 ; El Amouri *et al.*, 2005) ; et (3) les témoignages écrits (par exemple Achille Tatius, II, 17, 3, mentionne un mouillage extérieur sur la partie nord du cordon d'augmenter considérablement la capacité d'accostage de Tyr. Au nord de la cité, un récif submergé d'environ 1300 m a été mis en évidence, alors qu'au sud environ 750 m de récif auraient été exposés aux 2^{ème} et 1^{er} millénaires avant J.-C. Ces reconstitutions de la topographie antique soulignent l'importance des rades foraines pour mieux comprendre le fonctionnement des complexes portuaires tyriens.

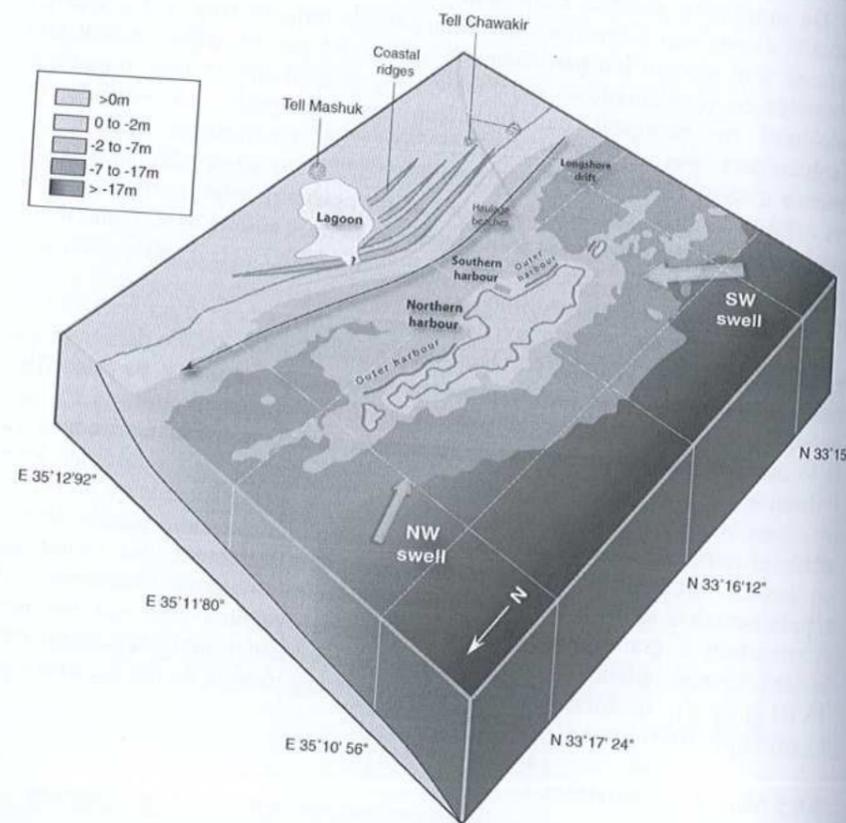


Figure 3.20 : Reconstitution des complexes portuaires tyriens.

3.4.5.2 Les ports de la rive continentale

L'absence de terres agricoles fertiles sur Tyr implique que la cité était dépendante de l'arrière-pays et des comptoirs avoisinants pour son approvisionnement en nourriture et en eau douce. Ceci est attesté par des textes amarniens datant de l'âge du Bronze récent (1500-1200 avant J.-C.). La lettre EA 149 (Moran, 1987), écrite par Abi-Milki de Tyr, évoque la prise de l'agglomération par Zimredda de Sidon. Il s'ensuit que l'île de Tyr fut privée de son approvisionnement en bois et eau potable. Le papyrus Anastasi I souligne également la même dépendance de Tyr vis-à-vis du continent. Des fouilles récentes de la nécropole d'El Bass ont montré que le littoral en face de Tyr était utilisé pour les inhumations pendant l'âge du Fer (Aubert, 2004).

Plusieurs passages de la Bible (e.g. Ezech. 26:8) évoquent les « filles de Tyr » en allusion à la côte tyrienne, une pluralité évoquant les tells de Mashuk, de Chawakir et de Rachidiye. Ces trois établissements soulèvent la question d'un complexe portuaire sur la façade continentale, afin d'assurer le transport des marchandises pendant les âges du Bronze et du Fer. Bien que la résolution spatiale de nos données dans ces zones ne soit pas aussi bonne que sur l'île de Tyr, nous proposons néanmoins plusieurs hypothèses de travail basées sur les résultats chronostratigraphiques et la géomorphologie littorale.

3.4.5.2.1 Tell Mashuk et la possibilité d'un port lagunaire

Alors qu'il est difficile de savoir lequel de ces trois sites constituait le paléo-Tyr *sensu stricto*, pour beaucoup de chercheurs il s'agirait de Tell Mashuk (Kenrick, 1855 ; Katzenstein, 1997). Ce site, occupé dès l'âge du Bronze, se localise dans l'axe de Tyr et aurait donc été bien protégé de la houle et des vents dominants. A présent, les vestiges du comptoir se trouvent enfermés à l'intérieur des terres, à environ 1800 m de la mer, en raison de la progradation importante du tombolo à partir de l'Holocène moyen. Nos données stratigraphiques démontrent, cependant, que la zone côtière à l'ouest du tell fut inondée vers 6000 BP et prograda graduellement en direction de la mer. Bien que nous n'ayons pas foré directement au pied de Tell Mashuk, la topographie et nos recherches géomorphologiques dans ce voisinage indiquent que l'ingression marine maximale se trouve à proximité du tell. Un faible espace disponible, allié à des apports sédimentaires importants, conduisit à une accretion rapide de la racine du saillant. A la base, une unité de plage est recouverte d'un faciès argileux (>80 % de limons et argiles) dominé par *Cerastoderma glaucum*, une espèce typiquement lagunaire. Cette stratigraphie est caractéristique d'une lagune à l'ouest du tell, dont l'origine remonterait à 5500 BP (Figure 3.21). La zone intermédiaire du faciès lagunaire est datée de 4180 ± 30 BP ou 2430-2200 ans cal. avant J.-C.

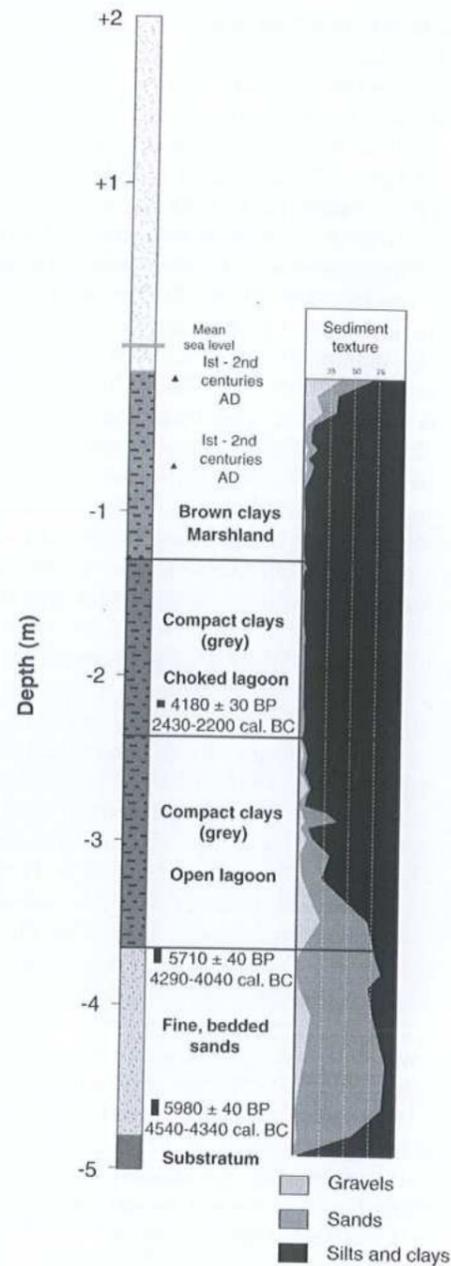


Figure 3.21 : Stratigraphie de la carotte TXVIII.

Bien que les dimensions précises et les phases de remplissage de cette lagune ne soient pas clairement connues, nous faisons l'hypothèse qu'elle a été utilisée comme point d'ancrage pendant l'âge du Bronze (tirant d'eau <1 m). L'utilisation des embouchures de wadis et de lagunes comme port naturels fut une pratique largement répandue au Levant durant les 3^{ème} et 2^{ème} millénaires avant J.-C. (Raban, 1987a, 1990). Les colonies phéniciennes en Méditerranée occidentale (9^{ème} au 8^{ème} siècle avant J.-C.) exploitaient également les mouillages lagunaires comme cela est attesté, par exemple, en Sardaigne, à Cagliari, Othoca et Bithia (Barreca, 1986). Le chargement et le déchargement des cargaisons pouvaient se faire sur des embarcations à faible tirant d'eau, hâlés sur la berge de la lagune. Ce complexe portuaire pourrait aussi avoir été utilisé en tandem avec les cordons de plages qui fermaient la lagune à l'ouest.

A quel moment la lagune fut-elle isolée de la mer ? Cela est peu clair. La présence d'une lagune et d'une plage de saillant en progradation rapide pose la question d'un ou plusieurs graus en communication avec la mer. En l'absence de système fluvial, toute embouchure aurait été graduellement obstruée par l'accumulation de sédiments. Il est possible que des sociétés aient maintenu un lien artificiel avec la pleine mer jusqu'à l'âge du Fer, bien que par suite de la présence de grandes plages de halage, la viabilité de l'établissement n'était pas totalement dépendante de cette zone d'ancrage peu profonde. Dès la période romaine, la lagune s'était significativement comblée et nous observons une transition vers des dépôts de marais caractérisés par des macro-restes de plantes et des escargots terrestres. Ces marais persistèrent dans la zone d'El Bass jusque vers le milieu du 19^{ème} siècle (Carmona et Ruiz, 2004).

3.4.5.2.2 Tell Chawakir

Tell Chawakir se situe à la limite sud du tombolo. Cette zone fut transgressée par la mer vers 6000 BP et prograda rapidement pour former une plaine littorale (*beach ridge strandplain*). Aucune de nos carottes à proximité du tell n'a fourni de lithofaciès lagunaire comparable à ceux de Tell Mashuk. A l'inverse, la stratigraphie évoque d'importantes plages de sable au pied des tells qui pourraient avoir servi de rampes de halage naturelles. Il semble plausible que certaines cargaisons des rades foraines de Tyr aient été transportées directement d'un rivage à l'autre par des petites embarcations basées à Tell Chawakir, sans transiter obligatoirement par l'île de Tyr elle-même.

3.4.5.2.3 Tell Rachidiye

Tout le commerce de Tyr ne transitait pas uniquement par la mer. Des routes de commerce terrestres existaient aussi avec la Syrie du nord et la Mésopotamie. Le témoignage de ces routes commerciales se trouve à Rachidiye (Doumet-Serhal, 2004b). Rachidiye se localise à proximité des sources de Ras

El-Ain et fut donc un site important d'approvisionnement en eau douce pour Tyr. Les Romains, à l'aide du tombolo affleurant, construisirent un aqueduc reliant Tyr directement à ces sources naturelles. Les données culturelles provenant de sa nécropole attestent d'échanges commerciaux étroits entre Chypre et la Phénicie pendant l'âge du Fer. La topographie littorale du sud de Tell Chawakir et du nord de Tell Rachidiye a été relativement stable pendant l'Holocène. Les carottages provenant de ces zones révèlent un paléosol du Pléistocène tardif reposant sur le substratum gréseux. Aucun dépôt marin holocène n'a été mis en évidence. Une série de récifs gréseux submergés est manifestement visible sur les photographies aériennes à l'ouest du comptoir. Nous faisons l'hypothèse de plusieurs rades foraines dans cette zone, bien qu'un travail plus approfondi soit nécessaire.

3.5 Remarques de conclusion

Bien que nos travaux géoarchéologiques révèlent l'importance du port nord de Tyr en tant que principal mouillage de la cité à partir de l'âge du Bronze, le rôle de ses infrastructures satellites ne doit pas être sous-estimé. Traditionnellement, les recherches se sont focalisées sur les ports nord et sud de Tyr. Nos nouvelles recherches montrent que Tyr possédait aussi un réseau de ports secondaires qui faisaient partie intégrante d'un grand complexe portuaire, assurant notamment l'approvisionnement quotidien de Tyr (approvisionnement en eau, nourriture, matériaux de construction, etc.). Au total, nous identifions quatre systèmes portuaires sur la côte tyrienne : (1) le port nord artificiel, à présent enterré sous le centre ville actuel ; (2) un deuxième complexe portuaire sur la façade sud-est de l'île ; (3) une série de rades foraines, ou mouillages naturels, qui exploitaient les cordons submergés au nord et au sud de la cité ; et (4) un système portuaire sur la façade continentale de Tyr, à mettre en relation avec les sites de Tell Mashuk, Tell Chawakir et Tell Rachidiye. Des embarcations légères auraient servi à relier ces différents complexes portuaires. Le cordon gréseux, sur lequel la cité antique reposait, servait de brise-lames naturel pour ces systèmes portuaires. L'évolution du site depuis 6000 BP entraîna l'enfouissement des principaux ports nord et sud, sous d'importantes couches de sédiments côtiers, alors que les mouillages extérieurs ont été submergés par subsidence du horst tyrien pendant la période romaine tardive.

La multiplicité des contextes portuaires élucidée à Tyr est un thème récurrent pour les établissements phéniciens, à la fois en Méditerranée orientale (Sidon) et occidentale (Carthage, Cadix, Tharros, Motye). De la même manière, des configurations géomorphologiques bipartites, comprenant des ports insulaires et continentaux, sont également connues d'autres sites phéniciens, par exemple à Arados et Perea en Syrie, à Cadix et Castillo de Doña Blanca en Espagne ainsi qu'à Rachgoun et Siga en Algérie. Nous pensons que cette nouvelle recherche aidera à définir un modèle portuaire phénicien, dont

l'origine remonterait à l'âge du Bronze en Méditerranée orientale, avant de se diffuser plus tard à l'ouest à travers les colonies phéniciennes (Carayon, 2008).

Les prochains travaux archéologiques à Tyr doivent se concentrer sur une meilleure compréhension des infrastructures maritimes depuis l'âge du Bronze. Bien que l'urbanisation moderne rende cette tâche difficile autour du port nord, El Amouri *et al.* (2005) et Descamps *et al.* ont pu montrer le riche potentiel archéologique des surfaces antiques à présent englouties dans la rade de Tyr. Notre recherche a non seulement permis de reconstituer l'évolution paléogéographique des ports antiques de la cité depuis 6000 BP, mais aussi éclairé les impacts chronostratigraphiques des dragages portuaires, largement négligés dans les études antérieures.

Chapitre 4

Géoarchéologie des ports antiques de Sidon

4.1 Introduction

La grande antiquité de Sidon-Dakerman a longtemps suscité l'intérêt des chercheurs (Renan, 1864 ; Contenau, 1920 ; Contenau, 1924a-b ; Dunand, 1939, 1940, 1941, 1942-43, 1967 ; Doumet-Serhal, 2003, 2004c, 2006a). Pendant le 19^{ème} siècle, les découvertes spectaculaires faites à Sidon, Tell Murex et Tell Dakerman ont fourni une multitude d'indices archéologiques témoignant d'une longue histoire d'occupation humaine remontant au Néolithique (Saidah, 1979 ; voir **Figure 4.1**). Le tell de Sidon, la plus vieille cité cananéenne selon la Genèse (Genèse 10:15), domine un modeste promontoire rocheux qui surplombe un cordon gréseux partiellement submergé et deux baies marines (Doumet-Serhal, 2003 ; Marriner *et al.*, 2006b ; **Figures 4.2**). Le bassin sud, ou *Crique Ronde*, est fermé par le promontoire de Dakerman. La dualité morphologique du site divisa le territoire sidonien en deux zones bien définies : le tell ou « Grand Sidon », et la cité-port ou « Petit Sidon », centrée sur le port antique nord (Doumet-Serhal, 2004c). Deux châteaux marquent les limites nord et sud de la cité antique, qui couvre une superficie de 16 hectares (Doumet-Serhal, 2003). Pendant l'âge du Fer, cette géomorphologie permit à Sidon de devenir une des cités-Etats principales de la Phénicie, avec des partenaires commerciaux en Assyrie, Egypte, Chypre et la mer Egée (Doumet-Serhal, 2006b ; Forstner-Müller *et al.*, 2006 ; Griffiths et Ownby, 2006). Cette influence marchande est attestée par le Vieux Testament qui emploie le terme « Sidonien » pour désigner tous les Phéniciens. Sidon connut son apogée durant les 6^{ème} et 5^{ème} siècles avant J.-C., date à laquelle elle dépassa Tyr pour devenir la première base navale de Phénicie.

Bien que Sidon ait connu une longue histoire de recherche archéologique (Renan, 1864 ; Contenau, 1920 ; Contenau, 1924a-b ; Dunand, 1939, 1940, 1941, 1942-43, 1967) la cité antique n'avait jamais, jusqu'à récemment, été explorée méthodiquement. En raison du contexte géopolitique, ce ne fut qu'en 1998 que la Direction Générale des Antiquités du Liban autorisa le British Museum à entreprendre des fouilles systématiques du tell antique (Curtis, 2000). Les excavations actuelles sont dirigées par Doumet-Serhal sur le site du

Collège, une des trois parcelles de terrain acquises par la DGA dans les années 1960 (Figure 4.2). Huit années de travail ont permis d'établir une stratigraphie continue pour la cité, englobant le 3^{ème} millénaire avant J.-C. jusqu'à l'âge du Fer (Doumet-Serhal, 2003, 2004c). Ces fouilles montrent la complexité archéologique du site ainsi que la richesse historique de chacune des périodes depuis l'âge du Bronze ancien. En effet, Sidon est la seule cité antique du Liban où des couches du 3^{ème} millénaire avant J.-C. sont facilement accessibles (Doumet-Serhal, 2003, 2004c).

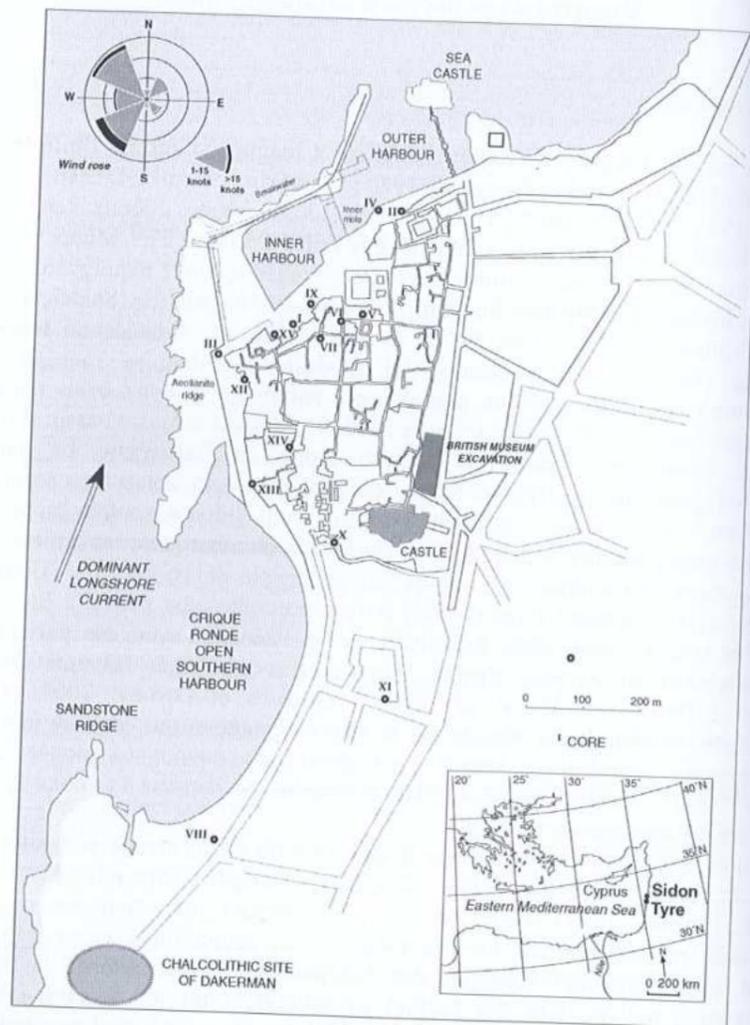


Figure 4.1 : Port antique de Sidon et emplacement des carottes.

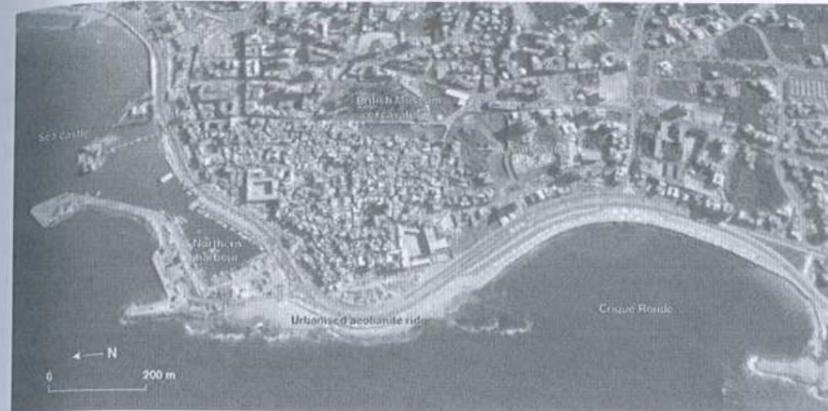


Figure 4.2 : Les fouilles du British Museum se sont poursuivies sur le tell de Sidon depuis 1998. Ce travail a révélé une longue et complexe histoire d'occupation humaine remontant à l'âge du Bronze ancien. Image : DigitalGlobe, 2006.

En parallèle aux fouilles terrestres, une série de 15 carottages a été effectuée autour des deux baies de Sidon (Figure 4.3), visant à reconstituer l'évolution de la façade maritime de la cité et à corréler les données géoarchéologiques avec les découvertes culturelles provenant du tell (Espic *et al.*, 2002 ; Morhange *et al.*, 2003b).

La plaine littorale de Sidon s'étend depuis le Litani au sud jusqu'à l'Awali au nord (Figure 4.3). Cette topographie basse, jusqu'à 2 km de large par endroit, constitue un trait de côte rectiligne. Dans la zone de Sidon, une série de failles orientent les vallées et talwegs N.O.-S.E. (Dubertret, 1955, 1975 ; Sanlaville, 1977). Les cours d'eau régionaux les plus importants comprennent le Litani, qui puise sa source dans la vallée de la Beqaa, et l'Awali, qui coule depuis l'anticlinal jurassique de Barouk-Niha. Ces deux fleuves transportent environ $280 \times 10^6 \text{ m}^3$ et $130 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sédiments par an (Abd-el-Al, 1948 ; Tayara, 1991 ; Soffer, 1994). Deux oueds, le el-Kamleh et le el-Barghout, s'écoulent respectivement au nord et au sud du tell antique.

4.2 La façade maritime de Sidon : contexte géoarchéologique

La morphologie littorale de Sidon en fait un site idéal pour établir trois mouillages naturels. Deux plages de poche se situent du côté sous le vent d'un cordon gréseux pléistocène, partiellement submergé par la transgression marine holocène. Au sud de la cité antique, ce cordon a été rompu par la mer pour former une baie semi-circulaire. D'abord nommée le Port Egyptien par Renan (1864) et plus tard la Crique Ronde par Poidebard et Lauffray (Poidebard et Lauffray, 1951), cette zone côtière constitue, de nos jours, une plage de sable.

Elle est surplombée au sud par le promontoire de Dakerman. On pense que cette baie semi-protégée fut utilisée comme proto-port par les habitants du tell au Chalcolithique (Saidah, 1979). Toutefois, il n'a encore jamais été démontré si cet environnement fut protégé artificiellement par des infrastructures portuaires (Poidebard et Lauffray, 1951), une question que nous éclaircirons plus loin dans ce chapitre.

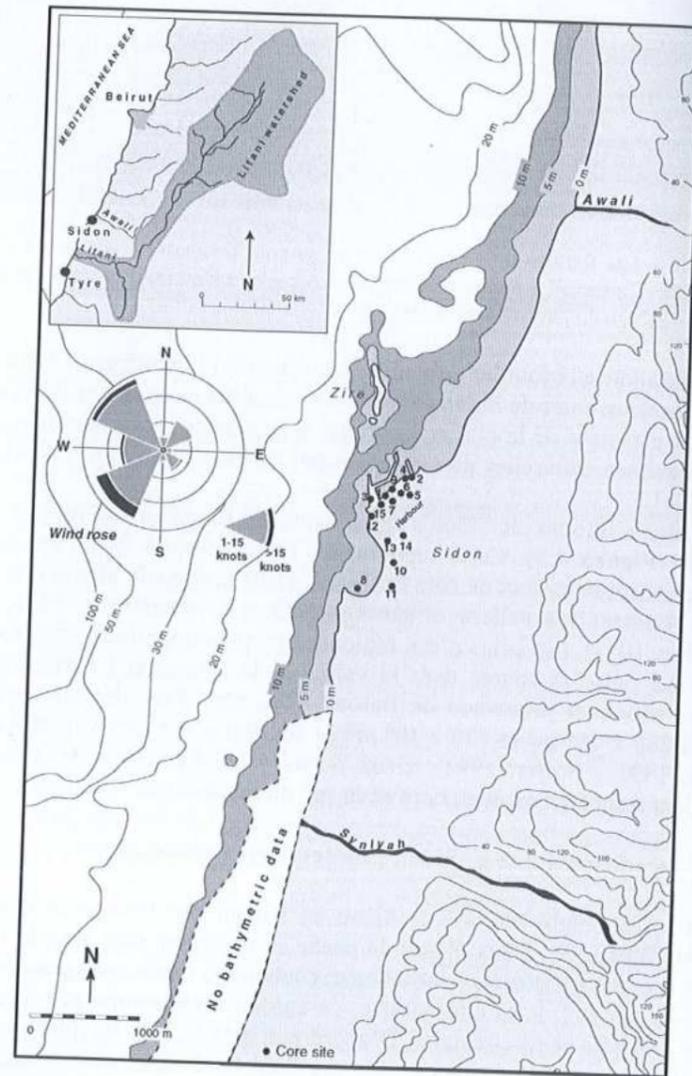


Figure 4.3 : Bathymétrie littorale de Sidon.

Au nord-ouest du promontoire se situe une seconde baie, protégée de la mer par un cordon gréseux émergé. D'une longueur de 580 m, ce brise-lames naturel abrite un bassin peu profond encore utilisé de nos jours ; un château médiéval, construit sur un petit îlot, ferme la partie nord du bassin. Ce port nord, centre de l'activité économique et militaire de Sidon dans l'Antiquité, est évoqué pour la première fois par Pseudo-Scylax qui le décrit comme un port fermé. La plupart des travaux de Poidebard et Lauffray furent centrés sur cette aire géographique où ils identifièrent une série d'infrastructures portuaires juxtaposées (Figures 4.4). Leur recherche a permis de mettre en évidence un port antique fermé comprenant : (1) un cordon gréseux renforcé ; et (2) un môle artificiel intérieur, perpendiculaire au cordon de grès et séparant deux bassins.

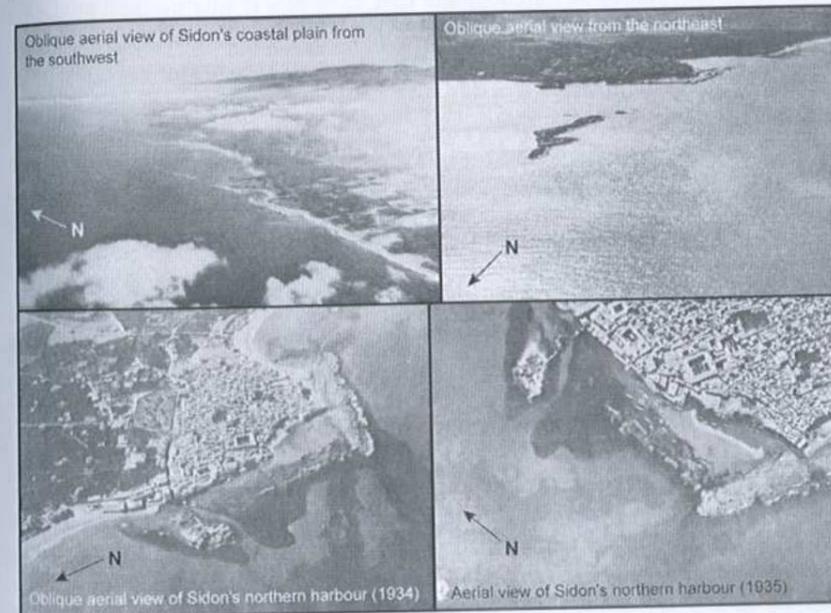


Figure 4.4 : Photographies aériennes de la façade maritime de Sidon de Poidebard et Lauffray (1951). Après la deuxième guerre mondiale, Poidebard fut appelé à Sidon pour mieux comprendre l'ensablement du port nord. Le travail de recherche entrepris à Sidon le fut pour sa plus grande partie entre 1946 et 1949, avant d'être publié en 1951.

Une troisième zone portuaire, l'île de Ziré, est un trait géographique unique du littoral sidonien. D'abord décrit par Renan (1864), ce ne fut pas avant les travaux de Poidebard et Lauffray (1951) qu'un plan préliminaire de l'île, avec ses carrières et ses aménagements portuaires, fut dressé. Ils identifièrent une digue double abritant une série de carrières et de quais sur son côté sous le vent. En 1973, des prospections sous-marines menées par H. Frost vinrent compléter

le travail de ses prédécesseurs, décrivant une jetée effondrée et de nombreux blocs de maçonnerie éparpillés sur les fonds marins à proximité de l'île (Frost, 1973). Elle conclut que cette île avait non seulement servi de carrière et de port mais avait été aussi le lieu de plusieurs constructions. Carayon (2003) entreprit le travail archéologique le plus récent, dans lequel il décrit six zones de carrière, détaillant la cartographie de Poidebard et Lauffray (1951). Au cours de nos recherches de terrain, nous avons prospecté et daté une encoche marine soulevée (+50 cm) sur ces fronts de carrière, attestant d'une courte oscillation du niveau relatif de la mer autour de 2210 ± 50 BP (Marriner et Morhange, 2005a ; Morhange *et al.*, 2006b). Ces données contrastent avec celles de Tyr, où une subsidence d'environ 3 m est enregistrée depuis l'Antiquité tardive par les archives sédimentaires et l'archéologie (par exemple, le quartier sud englouti ; El Amouri *et al.*, 2005 ; Marriner *et al.*, 2005 ; Marriner *et al.*, 2006a).

4.3 Méthodes et acquisition des données

Une série de 15 carottes a été effectuée autour des deux baies sidoniennes (Figures 4.1 et 4.3). Nous renvoyons le lecteur aux chapitres 1 et 2 pour une discussion détaillée des techniques utilisées.

4.4 Résultats et discussion

Ici, nous décrivons les données biosédimentologiques des systèmes portuaires sidoniens.

4.4.1 Où se situait le port antique nord de Sidon ?

Bien que Sidon ait eu trois complexes portuaires pendant l'Antiquité, le bassin nord, abrité par un vaste cordon d'éolianite, était géomorphologiquement prédisposé à devenir le port principal du site à partir de l'âge du Bronze. Comme pour de nombreux ports antiques de la façade levantine, le mouillage nord de Sidon est un modèle de port enterré par excellence (Marriner et Morhange, 2007). Des faciès typiquement portuaires, caractérisés par des argiles plastiques et une faune lagunaire, ont été clairement mis en évidence autour du port de pêche actuel, sur une distance de 100 m vers l'intérieur des terres (Figure 4.5). La progradation littorale après la période byzantine a réduit la taille du port à ses dimensions actuelles. Comme à Tyr, cette avancée de la côte permit la croissance urbaine pendant les périodes médiévale et moderne. Les dimensions reconstituées du bassin étaient environ 50 % plus grandes que la darse actuelle (Figure 4.5).

L'ensemble de nos données géoarchéologiques révèle une histoire complexe de modifications côtières et d'anthropisation. En effet, les archives

sédimentaires de la ville ont permis de mieux comprendre l'histoire maritime de Sidon entre l'âge du Bronze et la période médiévale. Ces recherches pluridisciplinaires démontrent que les progrès en gestion portuaire se traduisent par des faciès stratigraphiques et des séquences faunistiques clairement distincts. L'histoire sédimentaire du port est ainsi caractérisée par six périodes.

Echantillon	Code laboratoire	Matériel daté	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	^{14}C BP	±	Cal. BP	Cal. BC/AD
BH I 6	Ly-9470	Coquillages marins	1.9	4931	62	5440-5040	3490 - 3090 BC
BHIX 8	Lyon-1798 (GrA 20857)	Coquillages marins	est 0	2370	50	2130-1860	180 BC - 90 AD
BHIX 10	Lyon-1879 (Poz 998)	Coquillages marins	-2.26	2285	35	2000-1800	50 BC - 150 AD
BHIX 24	Lyon-1878 (Poz 1016)	Coquillages marins	-0.35	2350	35	2090-1870	140 BC - 80 AD
BHIX 36	Lyon-1796 (GrA 20859)	Coquillages marins	-1.61	2340	80	2180-1750	230 BC - 200 AD
BHIX 35	Lyon-1797 (GrA 20858)	Coquillages marins	est 0	2240	60	1990-1690	40 BC - 260 AD
BHIX 44	Lyon-1876 (Poz 1004)	Coquillages marins	1.37	3640	50	3680-3400	1730 - 1450 BC
BHIX 47	Lyon-1877 (Poz 1002)	Coquillages marins	1.58	4410	40	4720-4420	2770 - 2470 BC
BH VIII 6	Lyon-1799 (GrA 20809)	Coquillages marins	1.88	4220	50	4450-4140	2500 - 2190 BC
BH VIII 10	Lyon-1728 (OxA)	Coquillages marins	1.16	4060	40	4230-3960	2280 - 2010 BC
BH VIII 14	Lyon-1729 (OxA)	Coquillages marins	3.57	5955	45	6470-6270	4520 - 4320 BC
BH VIII 16	Lyon-1730 (OxA)	Coquillages marins	1.11	6030	45	6580-6310	4630 - 4360 BC
BH XV 3	Poz-13012	1 <i>Venerupis rhomboides</i>	-1.9	2255	35	1970-1760	20 BC - 190 AD
BH XV 12	Poz-13374	2 pépins de raisin	-27.3	2515	30	2740-2480	790 - 530 BC
BH XV 17	Poz-13375	Charbon de bois	-29.5	3385	35	3720-3550	1770 - 1600 BC
BH XV 24	Poz-13013	1 <i>Nassarius reticulatus</i>	4.4	3670	40	3690-3450	1740 - 1500 BC
BH XV 28	Poz-13006	2 <i>Glycymeris glycymeris</i> (juvs.) 1 <i>Lucinella divaricata</i>	8	4840	40	5280-5000	3330 - 3050 BC
BH XV 31	Poz-13007	5 <i>Bittium reticulatum</i>	-3.6	5180	50	5650-5430	3700 - 3480 BC

Tableau 4.1 : Datations radiocarbone et calibration.

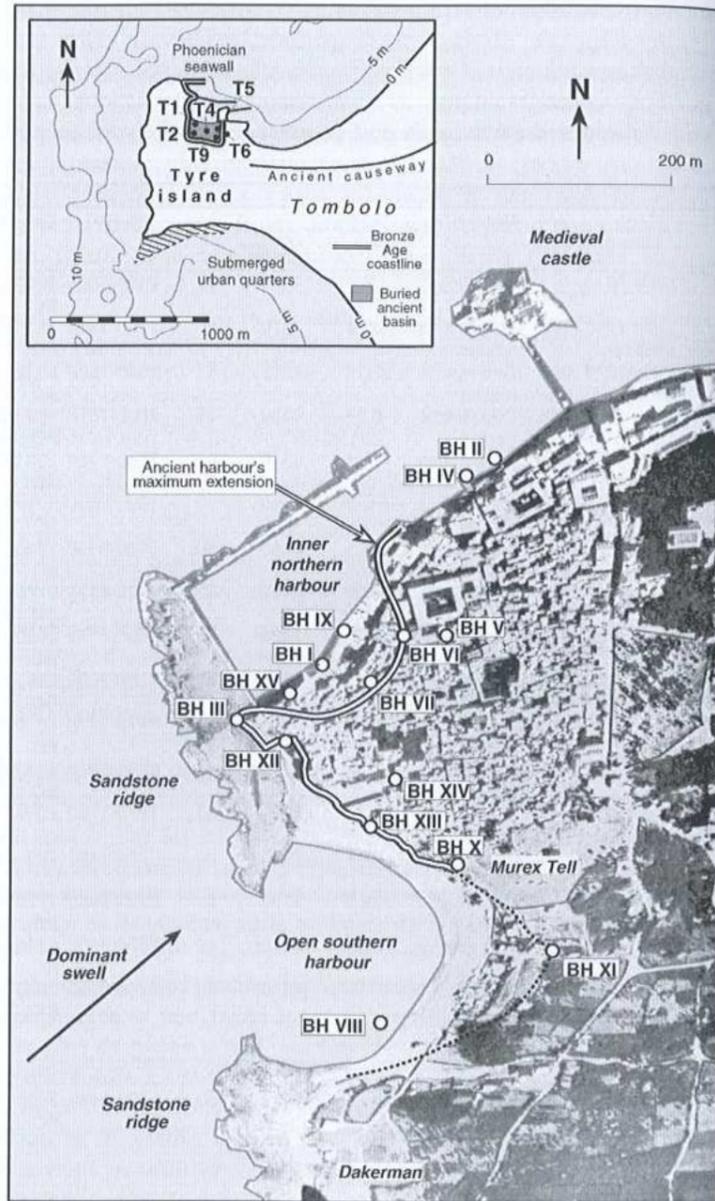


Figure 4.5 : Limites reconstituées du port de Sidon dans l'Antiquité. En cartouche, les limites du port nord de Tyr.

4.4.2 Quand et comment le port nord s'est-il développé ?

4.4.2.1 Unité transgressive

Description et interprétation : L'unité D comprend un faciès de galets marins roulés qui recouvre le substrat gréseux et marque la transgression marine holocène de la zone portuaire (Tableau 4.1 ; Figures 4.6, 4.9 et 4.12). De nombreux galets sont incrustés de faune marine comme les *Serpulae*.

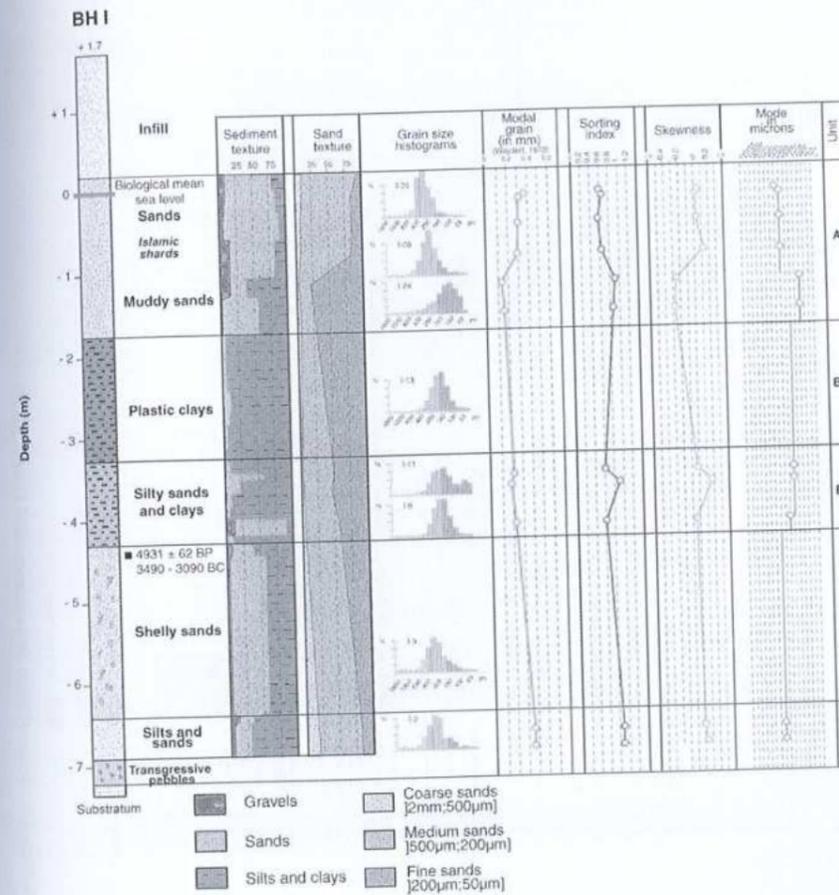


Figure 4.6 : Sédimentologie de la carotte BH I (port nord).

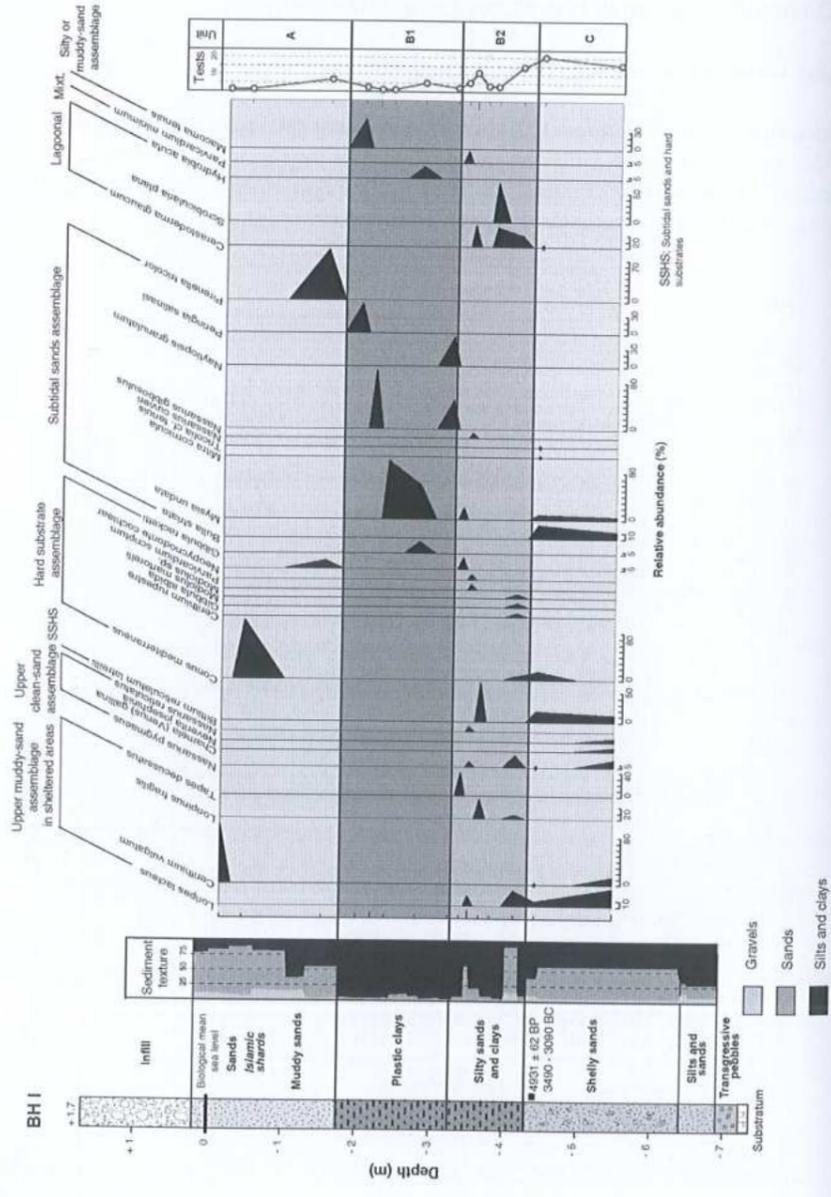


Figure 4.7 : Macrofaune de la carotte BH I (port nord).

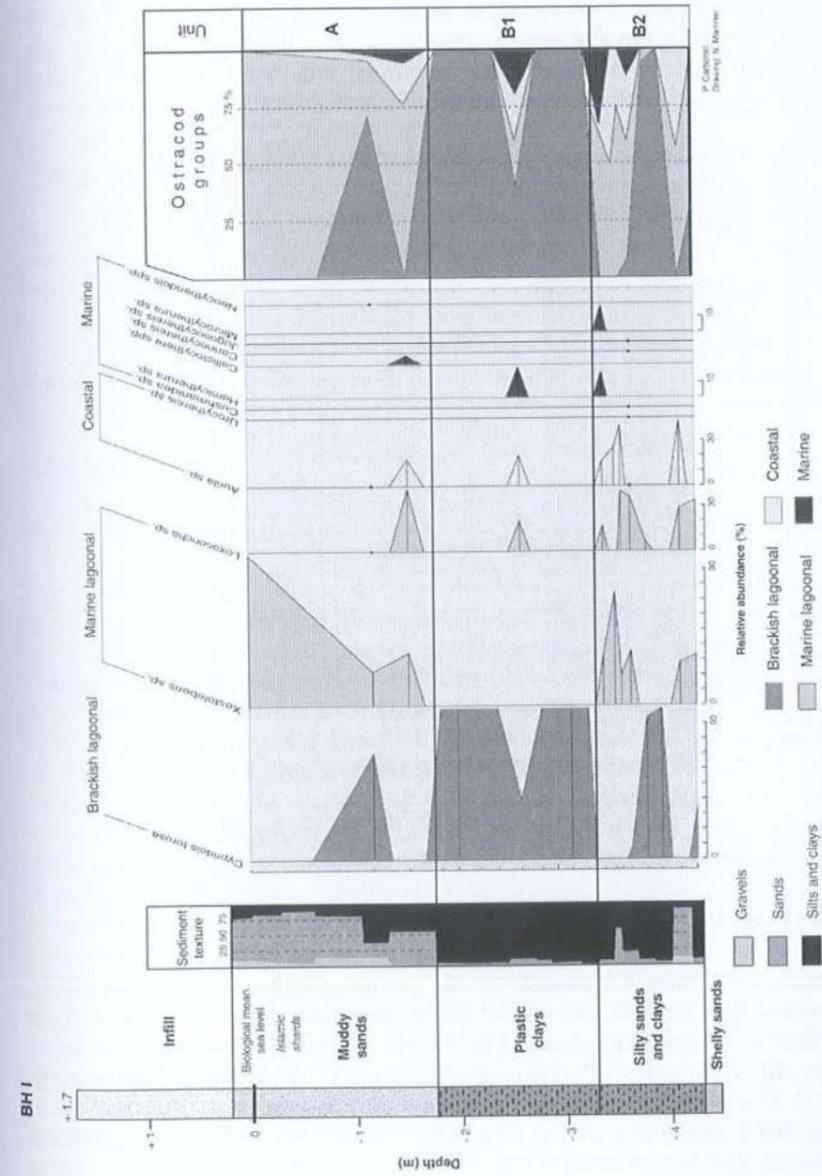


Figure 4.8 : Ostracofaune de la carotte BH I (port nord).

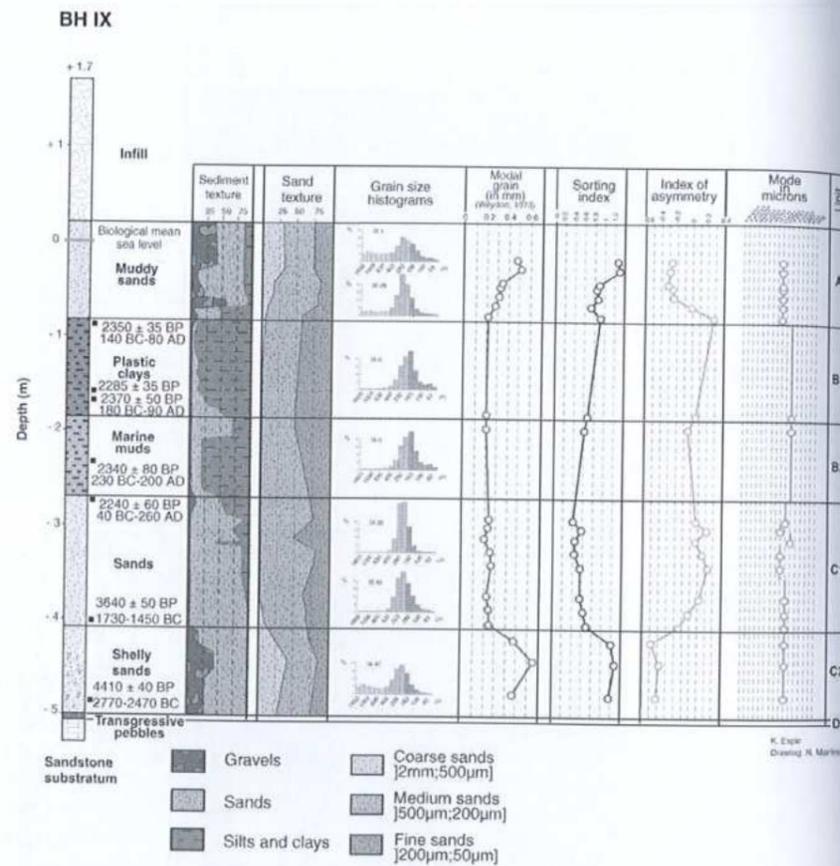


Figure 4.9 : Sédimentologie de la carotte BH IX (port nord).

4.4.2.2 Plage de poche/proto-port de l'âge du Bronze

Description : L'unité C2 est caractérisée par une couche de sables coquilliers, avec des indices de tri faibles (1,17-1,27) et des valeurs modales de 200-250 µm. Les données sédimentologiques correspondent à une plage protégée. Dans la carotte BH IX, la base de l'unité est datée vers 4410 ± 40 BP (2750-2480 ans cal. avant J.-C.). Deux coquilles de *Loripes lacteus*, provenant de l'unité C de la carotte BH I, ont fourni un âge radiocarbone de 4931 ± 62 BP (3475-3070 ans cal. avant J.-C.). La macrofaune est constituée des assemblages suivants (Figures 4.7, 4.10 et 4.13) : sables infralittoraux (*Bulla striata* et *Mysia undata*), sables fins bien calibrés (*Smaragdia viridis*, *Nassarius pygmaeus*, *Neverita josephina*, et *Chamela gallina*) et sables vaseux de mode calme (*Loripes*

lacteus et *Cerithium vulgatum*). L'ostracofaune comprend des espèces des domaines laguno-marin (*Loxoconcha* sp. et *Xestoleberis* spp.) et côtier (*Aurila* spp., *Urocythereis* sp. et *Heterocythereis albomaculata*), ainsi que quelques espèces marines *extra situ* (Figures 4.8, 4.11 et 4.14). Ces données biosédimentologiques témoignent d'une plage de poche protégée.

Interprétation : Au moment de la fondation de Sidon, pendant le 3^{ème} millénaire avant J.-C., la technologie portuaire maritime était encore très primitive (Marcus, 2002a ; Fabre, 2004/2005). Les recherches menées depuis plus de 20 ans au Levant sud, montrent l'importance du déterminisme environnemental dans les installations de l'âge du Bronze. Les populations littorales fondèrent notamment des sites à proximité de mouillages naturels, tels que des lagunes ouvertes sur la mer, des estuaires et des plages de poche (Raban, 1987a, 1990). A Sidon, par exemple, la plage de poche nord était idéalement prédisposée pour servir de proto-port dès l'âge du Bronze. La biosédimentologie démontre que cette anse nord offrait le meilleur abri naturel pour recevoir les grands bateaux marchands pendant les périodes de haute mer.

4.4.2.3 Un mouillage semi-artificiel à l'âge du Bronze

Description : Une baisse de l'hydrodynamisme marin se traduit par l'importance de la fraction limoneuse (jusqu'à 59 %). Les sables moyens dominent, avec un tri bon à moyen des sédiments. Dans la carotte BH IX, la base de l'unité est datée de 3640 ± 50 BP (1730-1450 ans cal. avant J.-C.), une chronologie confirmée par les résultats de la carotte BH XV (3670 ± 40 BP ou 1740-1500 cal. avant J.-C.). Nous interprétons cette unité comme un proto-port de l'âge du Bronze moyen à récent, avec un renforcement probable du cordon gréseux améliorant la qualité de l'ancrage à cette époque. Les petites embarcations étaient tirées sur le rivage, tandis que les plus grands vaisseaux étaient ancrés dans la baie. La macrofaune est caractérisée par des espèces d'assemblage de vases infralittorales (*Odostomia conoidea* et *Haminæa navicula*), de sables infralittoraux (*Tricolia pullus*, *Mitra ebenus*, *Rissoa dolium*, *Bela ginnania* et *Mitra cornicula*), de sables vaseux de mode calme (*Loripinus fragilis*, *Nassarius corniculus* et *Cerithium vulgatum*), d'assemblage de sables fins bien calibrés (*Nassarius reticulatus*) ainsi que d'assemblage de sables vaseux (*Glycymeris glycymeris*). Les données ostracofaunistiques mettent en évidence la domination continue des espèces laguno-marines et côtières, avec un renforcement du taxon laguno-saumâtre *Cyprideis torosa* vers le haut de l'unité dans la carotte BH IX. Les proxies traduisent un environnement semi-protégé qui a servi de proto-port pendant l'âge du Bronze (Frost, 1995 ; Raban, 1995).

Interprétation : La standardisation des productions céramiques, alliée à l'augmentation du nombre de fragments déterrés par les fouilles du British Museum, sont des indicateurs significatifs du développement de Sidon pendant le Bronze ancien et le Bronze moyen (Doumet-Serhal, 2004c). Des indices archéologiques crétois et égyptiens témoignent de relations commerciales entre la côte levantine, et celles de la mer Egée et d'Égypte à cette époque (MacGillivray, 2003 ; Doumet-Serhal, 2006b ; Forstner-Müller *et al.*, 2006 ; Griffiths et Ownby, 2006). Les importations égéennes devinrent plus nombreuses pendant le Bronze récent indiquant un commerce méditerranéen en pleine expansion.

Concordant avec ces données terrestres, la stratigraphie côtière souligne l'expansion du commerce méditerranéen vers la fin du Bronze moyen et au début de l'âge du Fer (vers 1200-1000 avant J.-C.), incitant les populations littorales à modifier ces ancrages naturels (Marcus, 2002a-b). Pour une discussion détaillée des premiers ouvrages portuaires artificiels, nous renvoyons le lecteur au chapitre 3. Le Roux *et al.* (2003a) ont également mis en évidence une contamination en plomb à l'âge du Bronze dans les sédiments portuaires de Sidon, en phase avec le développement du site à cette époque (Figure 4.15). Après un premier signal de pollution au Bronze moyen, des valeurs élevées de 60-80 mg/kg sont mesurées pendant la période romaine.

Dans le port nord de Sidon, une transition entre des sables coquilliers et des sables fins est le témoignage granulométrique le plus ancien de la modification anthropique de la zone portuaire. Une seule datation radiocarbone de la carotte BH XV situe cet aménagement au Bronze Moyen (vers 1700 ans cal. avant J.-C.). Les Phéniciens ont utilisé les cordons gréseux pour former des quais artificiels et renforcer les digues de mer (Frost, 1995). Des blocs excédentaires furent fréquemment réemployés pour construire (e.g. Arwad) ou renforcer (e.g. Sidon et Tripoli) un mur de protection (Carayon, 2003 ; Carayon et Viret, 2004 ; Viret, 1999-2000, 2004, 2005 ; Figure 4.16). Dans le port nord de Sidon, ces vestiges ne sont guère visibles, à cause de l'aménagement récent de la corniche littorale. Ils ont été, toutefois, décrits par Arvieux (1735), Renan (1864), Lortet (1884) et étudiés par Poidebard et Lauffray (1951).

La face sous le vent de Ziré fut également exploitée comme rade foraine, ou port extérieur, à cette période, bien que les deux jetées de l'île datent de la période perse. Dans de bonnes conditions météo-marines, les grands vaisseaux marchands pouvaient charger et décharger leurs marchandises à l'aide de ce port extérieur, la cargaison étant alors transportée vers Sidon par des embarcations légères (Marcus, 2002a-b ; Wachsmann, 1998). Une série d'aménagements portuaires, dont des murs de protection, des quais et des bittes d'amarrage a été façonnée dans le grès pléistocène, faisant de Ziré un élément important du système portuaire sidonien (Carayon, 2003).

L'ensemble des données biosédimentologiques démontre, cependant, que c'est le port nord, protégé naturellement de la pleine mer par son cordon

gréseux, qui devint le premier bassin portuaire de la cité. La difficulté à dater la première phase de confinement artificiel, à la fois à Sidon et à Tyr, découle de deux dynamiques complémentaires : (1) des infrastructures portuaires modestes pendant le Bronze moyen et le Bronze récent ; et/ou (2) des dragages importants pendant les occupations romaine et byzantine.

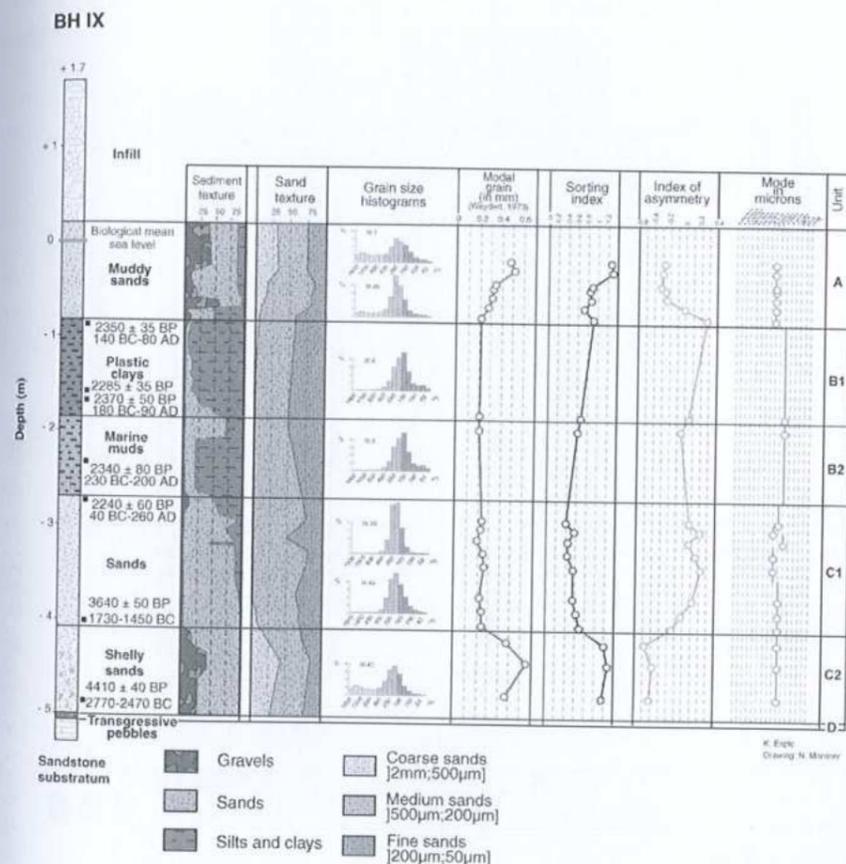


Figure 4.12 : Sédimentologie de la carotte BH XV (port nord).

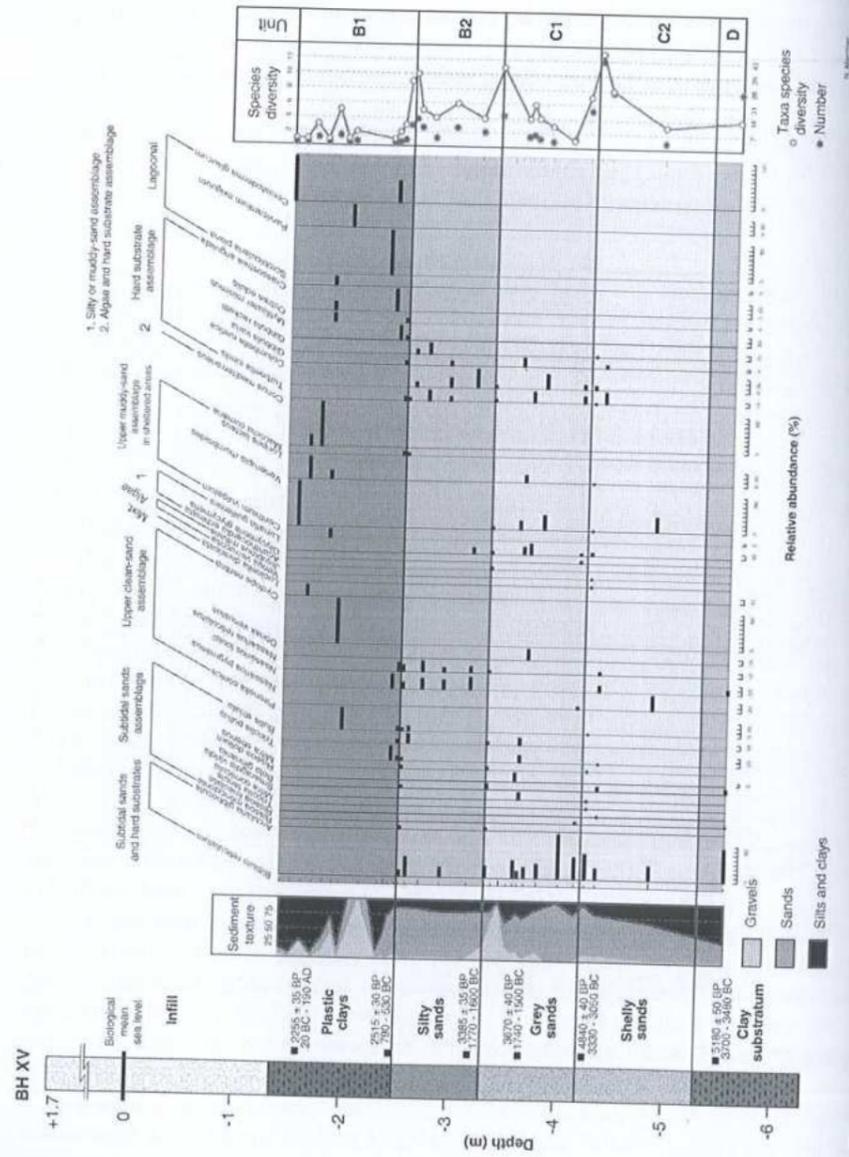


Figure 4.13 : Macrofaune de la carotte BH XV (port nord).

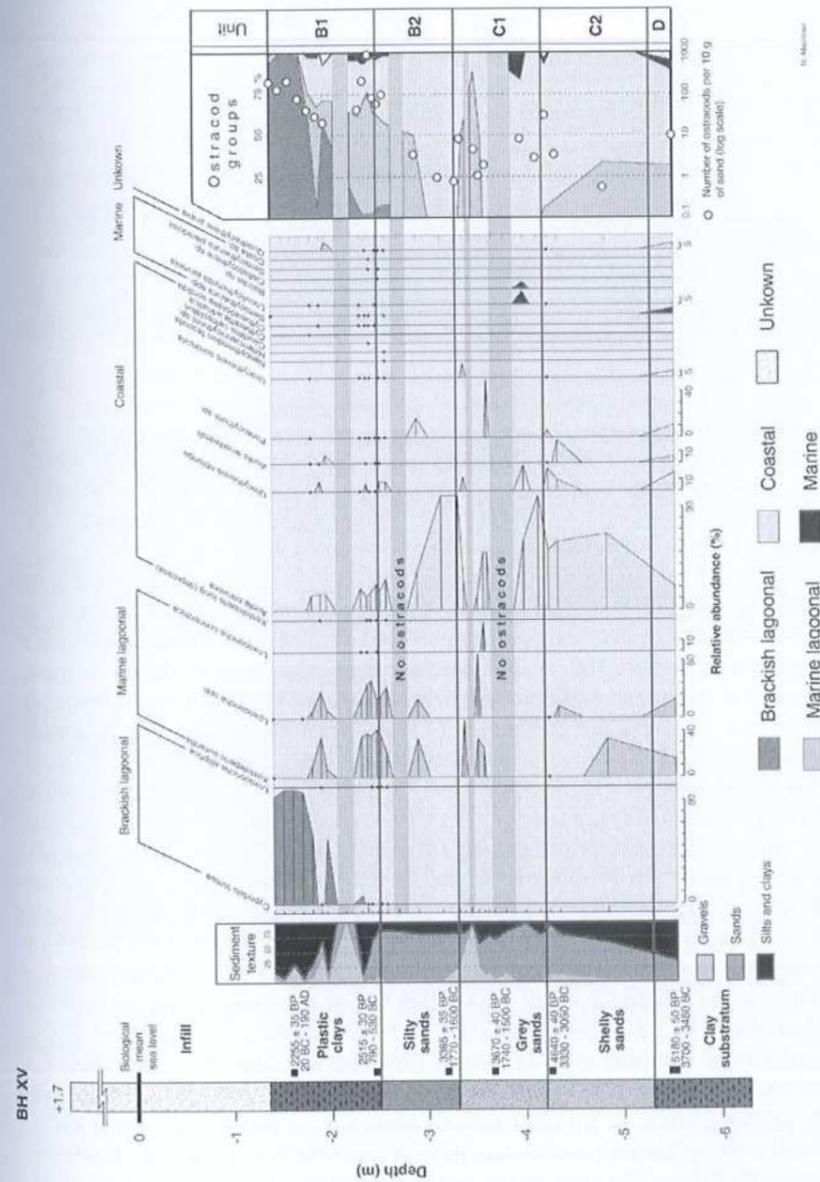


Figure 4.13 : Macrofaune de la carotte BH XV (port nord).

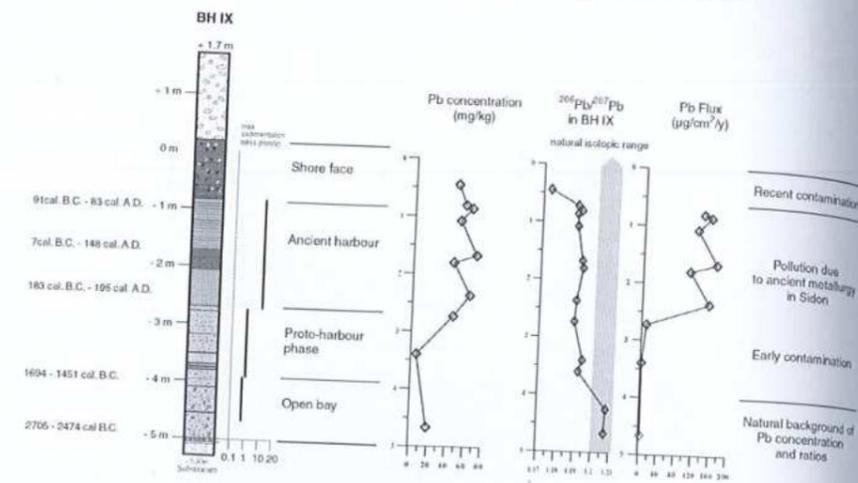


Figure 4.15 : Histories des paléopollutions en plomb dans le port antique de Sidon (d'après Le Roux *et al.*, 2003). L'apogée romano-byzantin est caractérisé par des niveaux de pollution équivalents à ceux observés dans les estuaires et les ports actuels.

4.4.2.4 Ports fermés de l'âge du Fer à la période romaine

Description : Dans l'unité B2, nous observons un changement net des milieux de sédimentation, caractérisé par l'importance des fractions fines. Les valeurs de grain moyen entre 160 et 200 µm, ainsi que les indices de tri moyens, témoignent d'une plage protégée (Figures 4.6, 4.9 et 4.12). La macrofaune est dominée par l'assemblage lagunaire (*Cerastoderma glaucum*, *Parvicardium exiguum* et *Scrobicularia plana*), l'assemblage de sables fins bien calibrés (*Nassarius lousi* et *Nassarius pygmaeus*) et de sables vaseux de mode calme (*Gastrana fragilis*). Une augmentation des espèces lagunaires est le résultat d'une artificialisation du milieu par l'Homme (Figures 4.7, 4.10 et 4.13). L'ostracofaune est pauvre, avec moins de 50 tests pour 10 g de sable, et dominée par des espèces laguno-saumâtres (*Cyprideis torosa*) et lagunomarinées (*Xestoloberis* sp. et *Loxoconcha* sp.), groupes écologiques indicatifs d'un environnement protégé. Dans la carotte BH XV, des pics d'*Aurila convexa* sont à mettre en relation avec un estran. Des valves échouées d'espèces marines (*Semicytherura* sp., *Microcytherura* sp. et *Hemicytherura* sp.) attestent d'une communication continue avec la mer et l'hydrodynamisme du large. Dans les carottes BH IX et BH XV, l'unité est datée entre 2515 ± 30 (790 - 530 ans cal. avant J.-C.) et 2340 ± 80 BP (230 ans cal. avant J.-C. à 200 ans cal. après J.-C.), c'est-à-dire des périodes phénicienne/perse à romaine. Les assises de fondation des jetées de l'île de Ziré ont également été attribuées à l'époque perse (Frost, 2000b ; Carayon, 2003). Des anomalies chronologiques sont à mettre en relation

avec le port nord de Tyr, où nous avons décrit plusieurs phases de curage à partir de la période romaine.

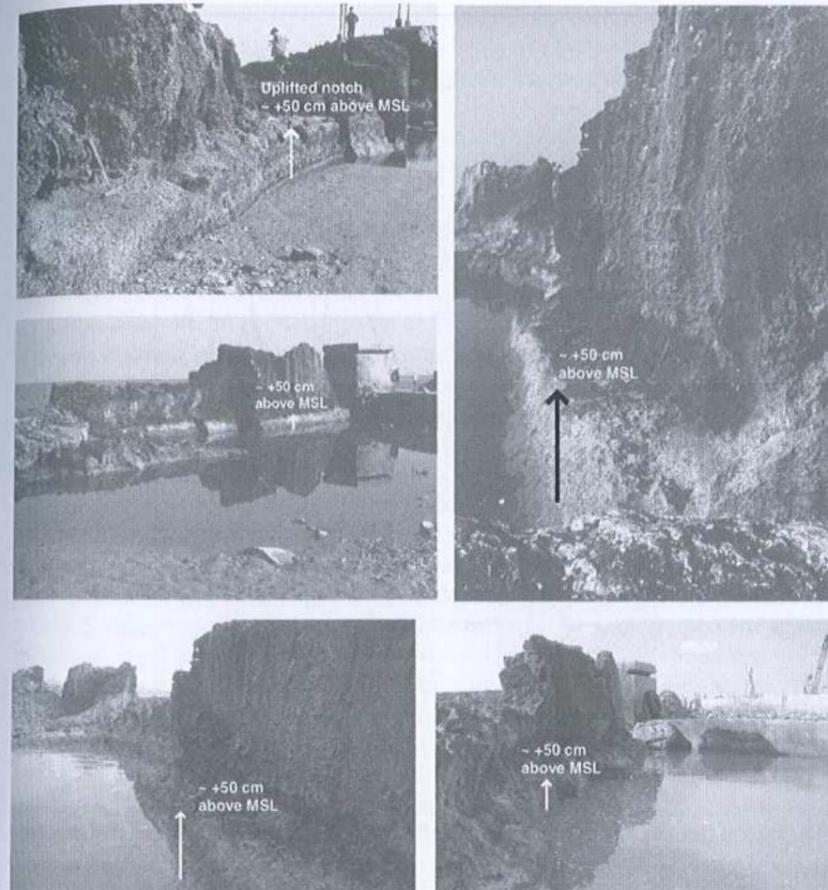


Figure 4.16 : Port nord de Sidon et sa digue antique. Une encoche marine soulevée est observée à environ 50 cm au-dessus du niveau moyen de la mer (photographies: C. Morhange, 1998).

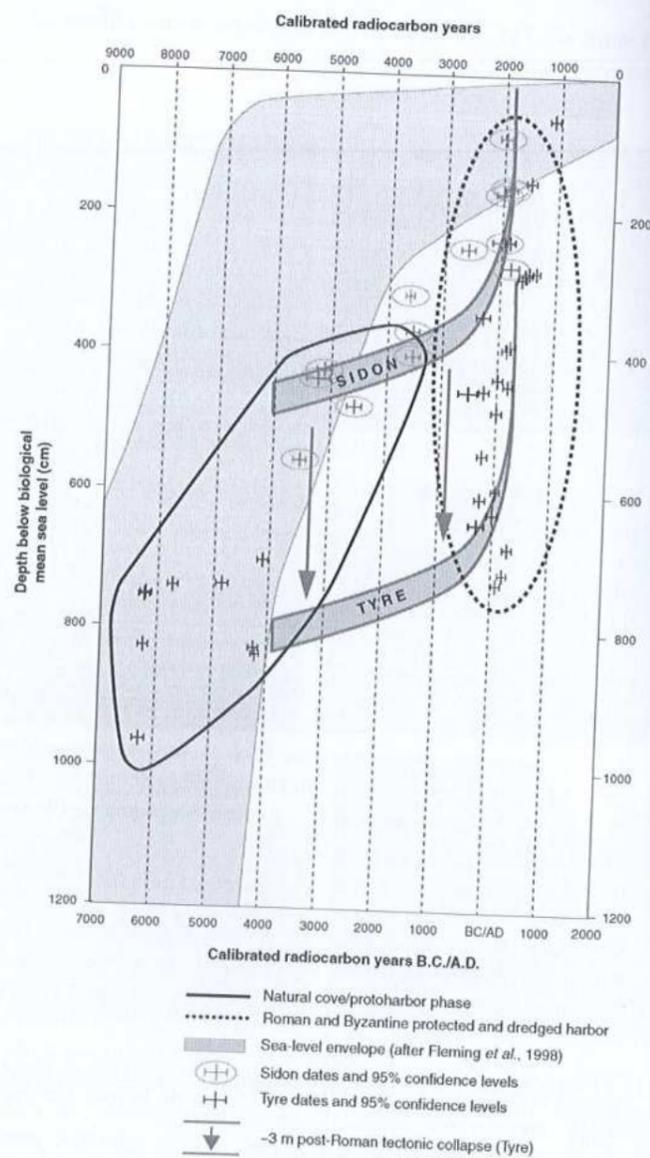


Figure 4.17 : Résultats chronostratigraphiques du dragage des ports antiques de Sidon et de Tyr durant les périodes romaine et byzantine. Le plus ancien groupe de datations radiocarbone correspond à une aggradation naturelle des fonds marins. La quasi-absence d'enregistrement sédimentaire entre 4000 avant J.-C. et 500 après J.-C. est le résultat des dragages.

Interprétation : Les fouilles du British Museum révèlent un commerce régulier entre les phéniciens et une clientèle égéenne pendant le 1^{er} millénaire avant J.-C. (Doumet-Serhal, 2003). La présence de marchands grecs à Sidon est attestée par les nombreuses trouvailles de poterie eubéenne (Doumet-Serhal, 2004a). Un commerce aussi important requérait une infrastructure portuaire avancée. Malheureusement, étant donné l'absence de dépôts pré-hellénistiques, la reconstitution précise de l'histoire phénicienne du port nord est problématique. Les techniques de gestion avancée du port pendant les périodes romaine et byzantine culminèrent avec le dragage répété du bassin nord, éliminant ainsi cette strate des archives sédimentaires (Figure 4.17). Dans les carottes BH I et BH IX, un hiatus sédimentaire existe entre environ 1700 et 1500 ans cal. avant J.-C. et la période romaine. Comme à Tyr, le remaniement du fond marin est calé par l'ensemble des données chronostratigraphiques et étayent les preuves sans équivoque provenant de Marseille (Hesnard, 2004a-b) et Naples (Giampaola *et al.*, 2004 ; Giampaola et Carsana, 2005). Dans la carotte BH XV, une chronologie plus cohérente et continue suggère que cette zone fut moins affectée par le dragage. Les résultats évoquent des aménagements portuaires avancés durant les périodes phénicienne et grecque.

L'envasement, notamment dans les contextes deltaïque et urbain, fut un problème bien reconnu dans l'Antiquité. A Sidon, quatre sources sédimentaires importantes sont reconnues : (1) les cours d'eau locaux et régionaux (Ribes *et al.*, 2003) ; (2) les sables biogéniques remaniés par la dérive littorale ; (3) l'érosion des constructions en adobe (Rosen, 1986 ; Doumet-Serhal, 2004c) ; et (4) l'utilisation des mouillages comme dépotoir au niveau de base (Morhange, 1994). La fraction du ballast de la période romaine comprend une série d'objets piégés au fond du bassin, en l'occurrence des céramiques, du bois, des graines, des morceaux de cuir, etc. En effet, une inscription romaine provenant d'Ephèse, demandant aux citoyens de ne pas jeter leurs ordures dans le port, atteste que les sociétés antiques furent très conscientes de ce problème (Die Inschriften von Ephesos, Bonn, I, 1979, no. 23).

Nous postulons que les importants curages romano-byzantins sont à l'origine : (1) du hiatus sédimentaire observé ; et (2) des inversions chronostratigraphiques. Précédemment, ces problèmes étaient le plus souvent ignorés ou laissés sans explication.

4.4.2.5 Le port fermé romano-byzantin

Description : Un environnement portuaire confiné est attesté dans l'unité B1 par un faciès d'argiles plastiques. La fraction des limons et argiles constitue plus de 90 % du sédiment brut. Dans cette unité, nous observons de nombreuses inversions chronostratigraphiques. L'assemblage lagunaire (*Cerastoderma glaucum* et *Parvicardium exiguum*) et les sables vaseux de mode calme (*Cerithium vulgatum*, *Venerupis rhomboides*, *Loripes lacteus* et *Macoma*

cumana) continuent de caractériser les espèces *in situ*. La quasi-dominance de *Cyprideis torosa*, avec une densité faunistique riche, indique un port extrêmement protégé pendant la période romano-byzantine.

Interprétation : Au cours de la période romaine, la découverte du ciment hydraulique changea profondément l'ingénierie portuaire (cf. Vitruve, V, 12) et ainsi la morphologie des paysages littoraux (Brandon, 1996 ; Oleson, *et al.*, 2004a). A cette époque, nous constatons une rupture importante entre le déterminisme environnemental vers des forçages anthropiques de plus en plus importants. Les Romains édifièrent de longs brise-lames ou des bassins portuaires extérieurs, à l'instar de Césarée Maritime et Anzio (Felici, 1993 ; Blackman, 1996). Dorénavant, des complexes portuaires adaptés à toutes les conditions météo-marines furent construits à des endroits où des rades naturelles n'existaient pas. Durant cette révolution technologique, le port nord de Sidon connut un réaménagement important du complexe portuaire, avec la mise en œuvre d'un môle artificiel perpendiculaire au cordon gréseux (Poidebard et Lauffray, 1951). Cela créa un bassin extrêmement bien protégé, qui se traduit dans les archives sédimentaires par un faciès de vases à faune lagunaire.

En raison de cette artificialisation, les vitesses de sédimentation augmentèrent d'un 1 mm/an durant l'Holocène moyen, comparé à 10 mm/an pour l'époque romaine. Cette période fut également marquée par une anthropisation importante des bassins versants, entraînant des crises détritiques sans précédent (Devilleers, 2005). Ce phénomène double, augmentation du confinement allié à une augmentation des flux sédimentaires vers les dépo-centres littoraux, a pu être mis en évidence sur plusieurs sites portuaires de la Méditerranée. Par exemple, des vitesses de sédimentation de 20 mm/an sont enregistrées dans le port archaïque de Marseille (Morhange, 1994), 15 mm/an pour l'Alexandrie romaine (Goiran, 2001) et 10 mm/an pour le Tyr romain et byzantin (Marriner et Morhange, 2006a). Dans sa forme la plus aiguë, la progradation littorale conduisit à l'enfermement des sites portuaires à l'intérieur des terres, isolant les bassins à plusieurs kilomètres de la mer. Des exemples célèbres sont connus sur les deltas anatoliens de la mer Egée, en l'occurrence les sites de Troie, Ephèse, Priène et Milet (Brückner *et al.*, 2002 ; Kraft *et al.*, 2003).

En plus des curages artificiels, d'autres initiatives furent mises en œuvre pour combattre l'envasement, bien que beaucoup d'entre elles restent spéculatives (Blackman, 1982b). A Sidon, Poidebard et Lauffray (1951) identifièrent un canal d'évacuation, creusé dans le grès, pour relier le bassin nord à la mer. En l'absence d'indices chronologiques, les deux chercheurs émirent l'hypothèse d'un *flushing channel*, creusé pour générer un courant à travers le port intérieur et ainsi diminuer les accumulations sédimentaires au sein du bassin. La stratigraphie montre que les dragages et les infrastructures de

désensablement furent insuffisants pour éradiquer complètement le problème. Or, deux mille ans plus tard, un colmatage rapide explique l'enfouissement des bassins antiques sous le centre ville actuel (Marriner *et al.*, 2006b).

Tandis que les populations de l'âge de Bronze exploitaient la spécificité géomorphologique de Sidon, les sociétés byzantines héritèrent du riche savoir-faire maritime des Romains. A Sidon, la période byzantine est marquée par un renforcement des infrastructures portuaires antérieures (Hohlfelder, 1997). Ce zénith technologique se traduit dans les archives sédimentaires par une unité d'argiles plastiques, contenant une faune lagunaire, typique d'un milieu à très faible hydrodynamisme. Ces données viennent appuyer les résultats archéologiques provenant du port byzantin de Beyrouth, où il a été démontré que la côte levantine était une zone de commerce encore importante à cette époque (Saghieh-Beydoun, 2005). L'apogée technologique portuaire est contemporain d'un pic marqué de pollution en plomb, à mettre en relation avec l'expansion de la métallurgie romano-byzantine (Le Roux *et al.*, 2003a). De telles concentrations en plomb (80 ppm et $>100\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{an}$) sont comparables aux niveaux (50 à 200 ppm) observés dans les ports actuels (Buckley *et al.*, 1995 ; Croudace et Cundy, 1995).

4.4.2.6 Un port islamique exposé

Description : La base de l'unité A est marquée par une augmentation de la fraction sableuse au détriment des limons et argiles. L'abondance relative du ballast et des sables grossiers augmente graduellement vers le haut de l'unité (Figures 4.6, 4.9 et 4.12). La granulométrie des sables traduit un déclin de la darse pendant la période islamique. Les données biosédimentologiques indiquent une réouverture du milieu à l'influence du large, avec notamment des espèces de sables infralittoraux, de roches infralittorales ainsi que de sables vaseux en mode calme (Figures 4.7, 4.10 et 4.13). L'ostracofaune est caractérisée par une augmentation des espèces laguno-marines (*Loxococoncha* sp. et *Xestoleberis* sp.) et côtières (*Aurila* spp.) au détriment de *Cyprideis torosa* (Figures 4.8, 4.11 et 4.14).

Interprétation : Trois hypothèses sont avancées pour expliquer le déclin de la zone portuaire de Sidon pendant la période islamique, à savoir : (1) culturelle ; (2) tectonique ; et/ou (3) tsunamogénique. Elles seront détaillées dans le chapitre 6. Dans la section 4.4.3, nous décrivons la géoarchéologie de la Crique Ronde, près de Tell Dakerman. L'exploitation de la baie sud comme mouillage naturel précède le port nord, comme en témoigne les riches trouvailles du Néolithique et du Chalcolithique en provenance de Dakerman (Saidah, 1979).

4.4.3 Quand et comment le port sud de Sidon s'est-il développé ?

En accord avec le modèle classique des ports double de l'âge du Fer (Lehmann-Hartleben, 1923), l'existence d'un port sud artificiel éveilla la curiosité des archéologues dès les années 1940 et 1950 (Poidebard et Lauffray, 1951). Pourtant, les recherches de Poidebard et Lauffray dans cette baie sud ne révélèrent aucune structure caractéristique d'un bassin artificiel. Trois périodes peuvent être distinguées dans les archives sédimentaires.

4.4.3.1 La transgression marine holocène

Description et interprétation : Le substrat gréseux est recouvert par une unité fine de sable et de galets, datée de 6030 ± 45 BP ($4630-4360$ ans cal. avant J.-C.), typique de la transgression marine de la baie (Figure 4.18). *Bittium* spp., (sables infralittoraux) domine la macrofaune (Figure 4.19). Les espèces ostracofaunistiques *Loxococoncha* spp. et *Xestoleberis aurantia* témoignent d'une baie marine peu profonde (Figure 4.20).

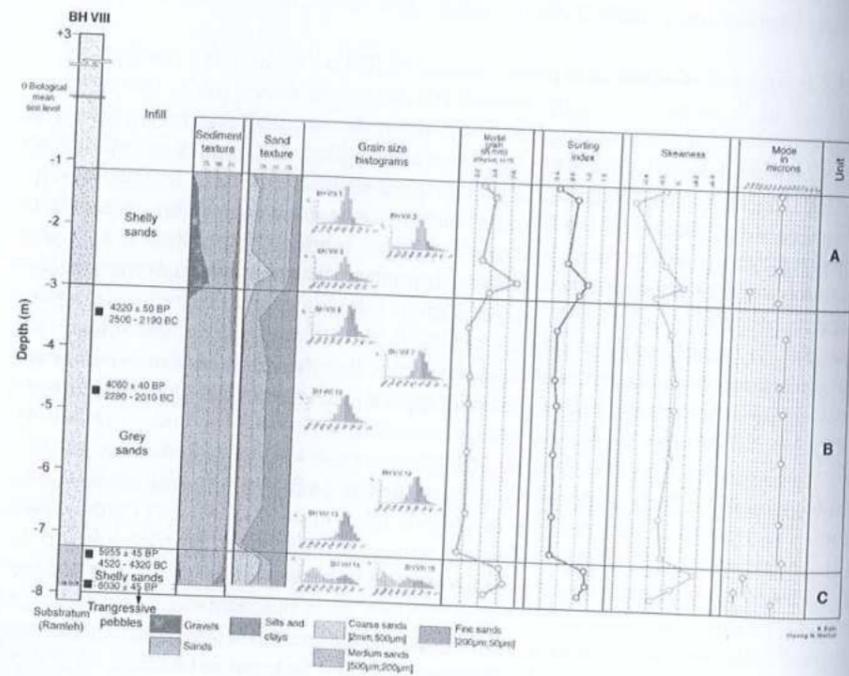


Figure 4.18 : Sédimentologie de la carotte BH VIII (baie sud).

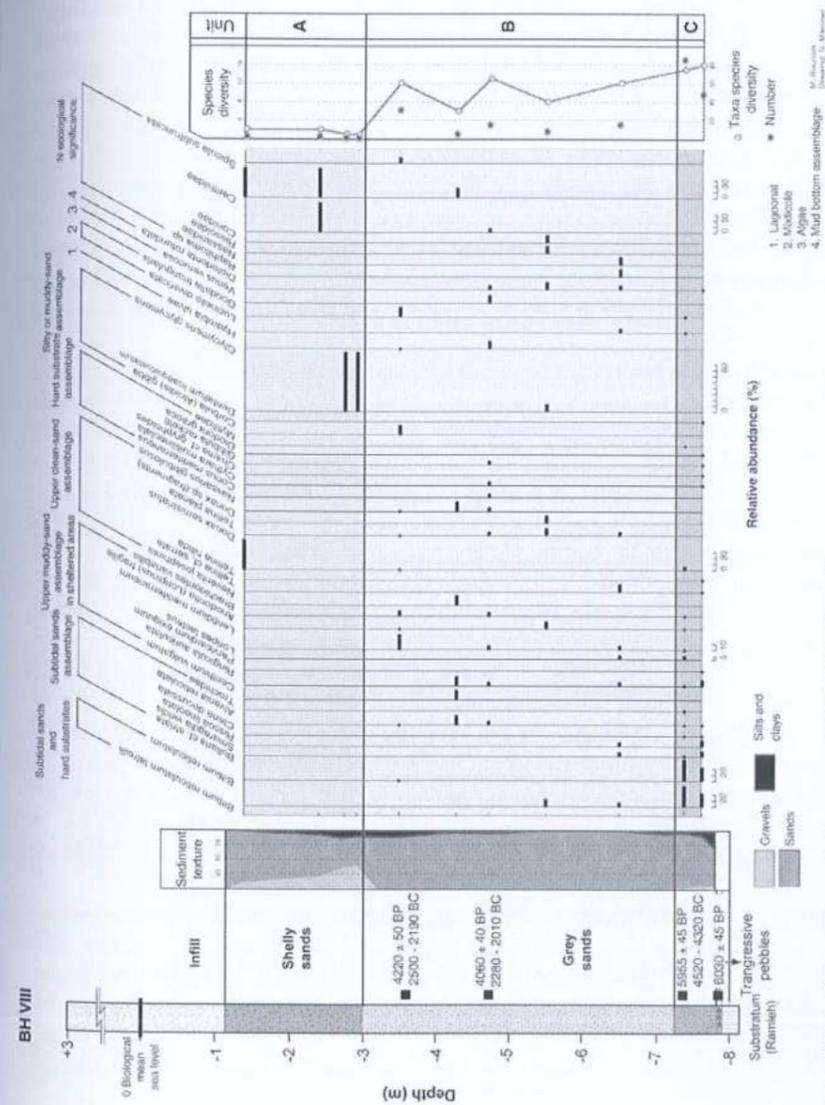


Figure 4.19 : Ostracofaune de la carotte BH VIII (baie sud).

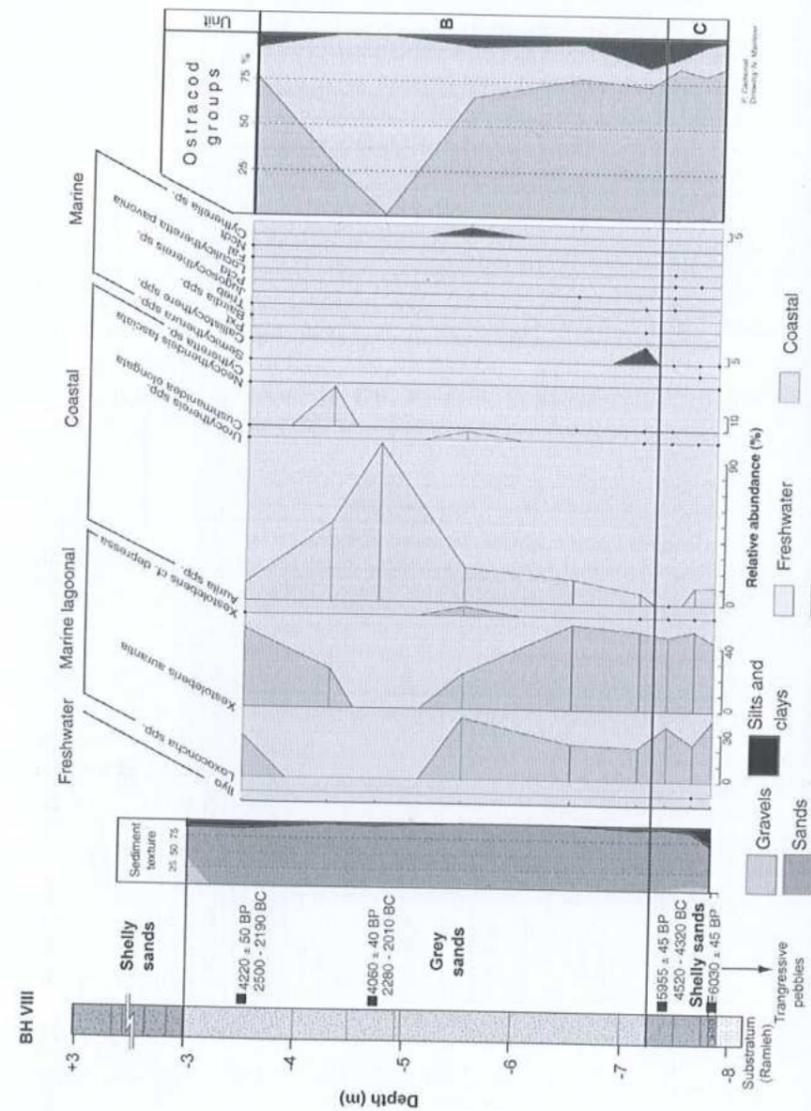


Figure 4.20 : Macrofaune de la carotte BH VIII (baie sud).

4.4.3.2 Une plage de poche de l'âge du Bronze

Description : La partie inférieure de l'unité B est postérieure à 5955 ± 45 BP et comprend un faciès de sables moyens à fins. L'échantillon BH VIII 10 a fourni un âge radiocarbone de 4060 ± 40 BP (2280-2010 ans cal. avant J.-C.). La macrofaune est riche, avec des espèces provenant d'une diversité de contextes écologiques, dont des sables infralittoraux, des sables vaseux de mode calme, des sables fins de haut niveau, des sables vaseux et un assemblage lagunaire. Les espèces d'ostracofaunistiques laguno-marines persistent à travers cette unité et sont accompagnées d'une augmentation graduelle des espèces côtières (*Aurila* spp., *Urocythereis* spp. et *Cushmanidea elongata*). Des coquilles sporadiques de taxons marins (*Semicytherura* spp. et *Loculicytheretta pavonia*) indiquent une communication ininterrompue avec le large.

Interprétation : A aucun moment de l'Antiquité nos données sédimentologiques et paléocéologiques ne manifestent de preuves d'infrastructures portuaires artificielles dans la baie sud. Pendant l'âge du Bronze, cette baie pourrait avoir servi d'abri par mer calme aux habitants de Sidon et Dakerman. Les plages de sable auraient pu héberger de petits bateaux, tirés hors de l'eau sur l'estran. Cette pratique est encore courante chez les pêcheurs de la Méditerranée qui utilisent des embarcations légères à faible tirant d'eau. Des vaisseaux marchands plus grands pouvaient chercher refuge dans le port nord, mieux protégé.

4.4.3.3 Un rivage progradant

Description : L'unité A comprend un faciès de sables coquilliers. Une augmentation importante du ballast (21-40 %) et des sables grossiers est typique d'un rivage progradant. La macrofaune est pauvre et constitue essentiellement un débris coquillier, remanié par l'action du ressac. L'hydrodynamisme important de cette zone n'était pas favorable à la préservation d'ostracodes.

Interprétation : Dans un contexte de niveau marin stable et d'apport sédimentaire modéré à fort, la baie sud de Sidon prograda graduellement vers la mer, en réduisant la taille de l'anse à ses dimensions présentes. L'absence d'ouvrages portuaires artificiels explique une déformation moins prononcée que pour le port nord. A la fin des années 1990, la bordure du rivage fut aménagée en corniche, enfouissant la grande majorité des dépôts holocènes.

4.5 Remarques de conclusion

A Sidon, nos données géoarchéologiques démontrent que l'histoire du port peut être précisément reconstituée à partir des analyses biosédimentologiques. La difficulté à dater la première phase de confinement portuaire artificiel témoigne d'infrastructures peu développées durant le Bronze ancien et moyen. Les premiers navigateurs utilisèrent des plages de poche semi-protégées qui demandaient peu de modifications du littoral naturel. En effet, le poids des facteurs naturels a prévalu jusqu'à la période phénicienne (Marriner *et al.*, 2006a-b). Pendant l'âge du Fer, les Sidoniens adaptèrent le milieu naturel en aménageant des infrastructures semi-artificielles, comme en atteste le renforcement du cordon gréseux à cette époque. Les périodes romaine et byzantine marquent un grand tournant dans la technologie portuaire, notamment avec la découverte du ciment hydraulique, concrétisée à Sidon par une unité d'argiles plastiques.

La progradation littorale conduisit à l'isolement partiel des ports antiques sous le centre de la cité moderne. Environ la moitié du bassin nord se localise sous d'épaisses couches sédimentaires et la ligne de rivage antique est à présent située entre 100 et 150 m à l'intérieur des terres. Une telle progradation provoqua la fossilisation des vestiges archéologiques de Sidon et la disparition d'importantes informations sur l'histoire maritime de la ville (Marriner et Morhange, 2005a). Dans le chapitre 6, les données sidoniennes seront comparées avec les découvertes faites à Beyrouth et Tyr.

Chapitre 5

Géoarchéologie du port antique de Beyrouth

5.1 Introduction

Alors que les découvertes archéologiques au Liban ont une longue et riche histoire, les recherches dans la capitale du pays furent longtemps entravées pour des raisons démographique, géographique et politique (Renan, 1864 ; Chéhab, 1939 ; Mouterde, 1942-43 ; Lauffray 1944-45, 1946-48). Bien que nous sachions que Beyrouth a joué un rôle important dans la Méditerranée antique, notamment pendant les périodes romaine et byzantine (Mouterde et Lauffray, 1952 ; Hall, 2004), des données archéologiques et topographiques précises furent, jusqu'à récemment, disparates. Or, la position exacte de la cité antique et de son tell dans l'agglomération moderne a fait l'objet de débats fervents depuis plus de soixante ans (Vaumas, 1946 ; Davie, 1987). Au 20^{ème} siècle, des prospections ponctuelles fournirent des indices pour un centre urbain antique entre la rive du port actuel au nord, la rue Foch à l'est, la rue Allenby à l'ouest et la place de l'Etoile au sud (Figure 5.1). Beyrouth fut progressivement construit sur des couches d'anciens habitats, rendant difficiles des fouilles archéologiques étendues, tant sur le plan politique que logistique (Forest et Forest, 1977).

En l'absence de données historiques, la modernisation du centre ville beyrouthin au début des années 1990 offrit une opportunité unique pour explorer l'évolution de ce site important à des échelles spatio-temporelles sans précédentes (Lauffray, 1995 ; Lefèvre, 1995a-b). En effet, la zone entourant le port actuel est riche en vestiges archéologiques, témoignant d'une histoire d'occupation humaine qui remonte au Néolithique (Gavin et Maluf, 1996 ; Elayi et Sayegh, 2000 ; Curvers et Stuart, 2004 ; Doumet-Serhal, 2004a). Depuis 1993, des institutions nationales et internationales ont soutenu un projet impliquant des centaines d'archéologues couvrant la quasi-totalité du Beyrouth antique, notamment le centre historique délimité par les murailles médiévales.

Pour *Solidère*, l'agence chargée de la reconstruction, l'un des premiers soucis était de marier développement urbain et archéologie, de sorte que le riche héritage historique de la ville puisse être intégré dans le tissu urbain moderne. Malheureusement, alors que les investisseurs et les politiciens s'opposaient au

travail des archéologues, le projet fut critiqué pour ne pas avoir rempli nombre de ces objectifs initiaux, cela en dépit d'une législation sévère établie pour éviter les erreurs du passé (e.g. Loi Libanaise sur l'Antiquité ; Lauffray, 1995 ; Karam, 1996 ; Naccache, 1996, 1998 ; Seeden, 1999 ; Raschka, 2006). Néanmoins, la fouille urbaine a permis de générer une grande quantité de données depuis sa mise en chantier en 1993 (Perring *et al.*, 1996 ; Saghieh, 1996 ; Butcher et Thorpe, 1997 ; Cumberpatch, 1997 ; Curvers et Stuart, 1997 ; Finkbeiner et Sader, 1997 ; Heinze et Bartl, 1997 ; Thorpe, 1998-1999 ; Thorpe *et al.*, 1998-1999 ; Elayi et Sayegh, 2000 ; Faraldo Victorica et Curvers, 2002 ; Doumet-Serhal, 2004a).

Sans aucun doute, le principal avantage du projet a été la couverture spatiale des données topographiques et archéologiques obtenues, à la fois pour les périodes antique et historique (Elayi et Sayegh, 2000 ; Curvers et Stuart, 2004). Du point de vue de la géoarchéologie, le croisement des données culturelles avec une étude de la stratigraphie littorale a permis de : (1) reconstituer avec exactitude le(s) port(s) antique(s) de la cité ; (2) retracer 5000 ans de déformation côtière ; et (3) mieux comprendre les interactions entre l'Homme et son environnement à la fois à l'échelle locale et régionale, à travers une comparaison avec Sidon et Tyr (Marriner *et al.*, 2005 ; Marriner *et al.*, 2006a-b).



Figure 5.1 : Les premières prospections archéologiques suggéraient que la cité antique se situait dans une zone entre le bord de mer actuel, délimité par la rue Foch à l'est, la rue Allenby à l'ouest et la place de l'Etoile au sud.

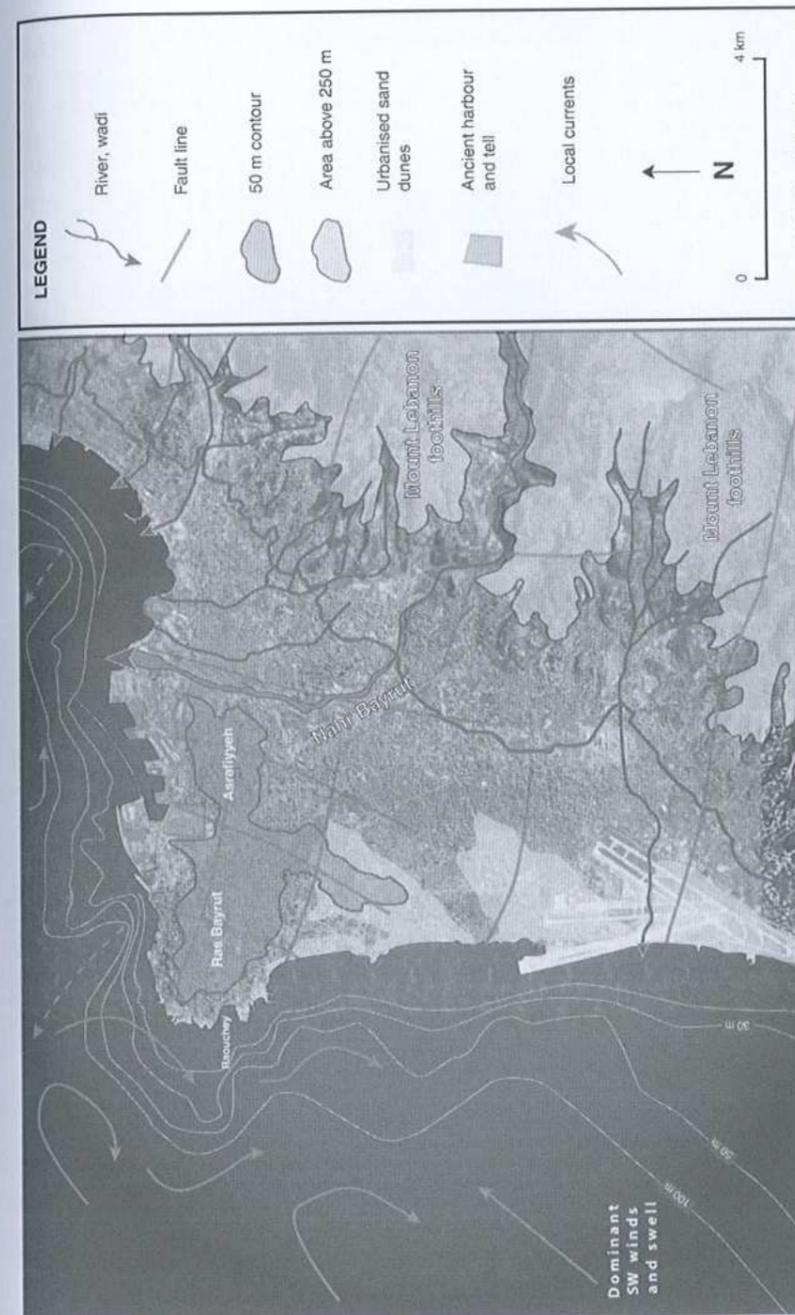


Figure 5.2 : Géographie de la péninsule de Beyrouth (image de fond : DigitalGlobe, 2006).

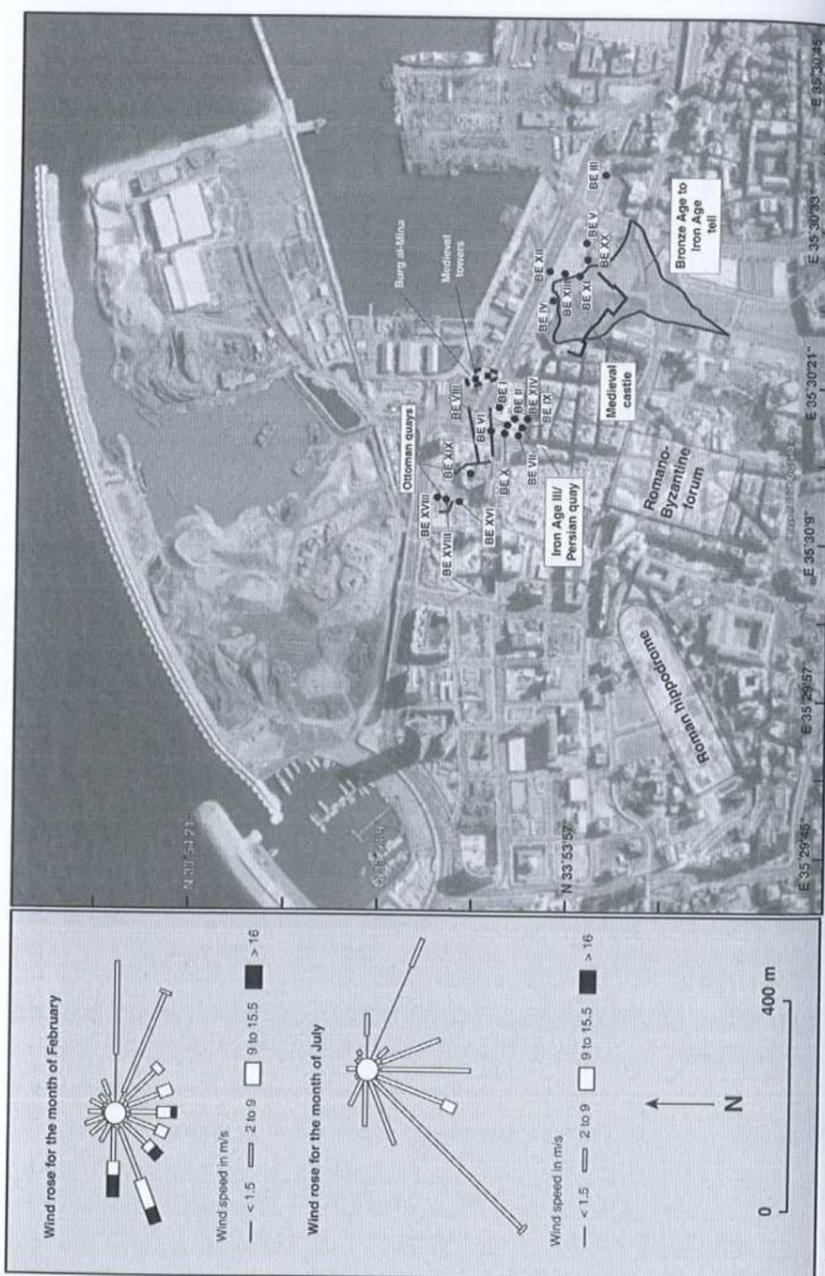


Figure 5.3 : Emplacement des sites de carottage à Beyrouth.

5.2 Contextes archéologique et géomorphologique

Le promontoire de Beyrouth, de 6 km de long sur 2 km de large, est un des traits géomorphologiques les plus caractéristiques du littoral libanais (Dubertret, 1940). Situé entre la chaîne du Mont Liban à l'est et la Méditerranée à l'ouest, ce cap est baigné par la mer sur deux de ses trois façades ; il est entrecoupé par un réseau de failles traversant la chaîne du Mont Liban (Figures 5.3 et 5.4 ; Dubertret, 1955).

La péninsule témoigne d'une longue histoire d'occupation humaine qui débuta au milieu du Paléolithique (Fleisch, 1946 ; Copeland et Wescombe, 1965, 1966). Vingt sites du Néolithique sont connus, dont le plus ancien fut découvert en 1930 à Tell Arslan, 8,5 km au sud de Beyrouth, sous une couche d'habitations romaines (Bergy, 1932). Pour les périodes postérieures, le tell de Beyrouth et ses environs témoignent de 5000 années d'occupation humaine, englobant l'âge du Bronze et l'âge du Fer, en plus des traces laissées par les empires perse, séleucide, romain et byzantin (Mouterde, 1966 ; Hall, 2004). A son apogée, les indices archéologiques attestent d'un centre métropolitain couvrant une superficie d'au moins 1,2 km par 0,8 km (Mikati et Perring, 2006).

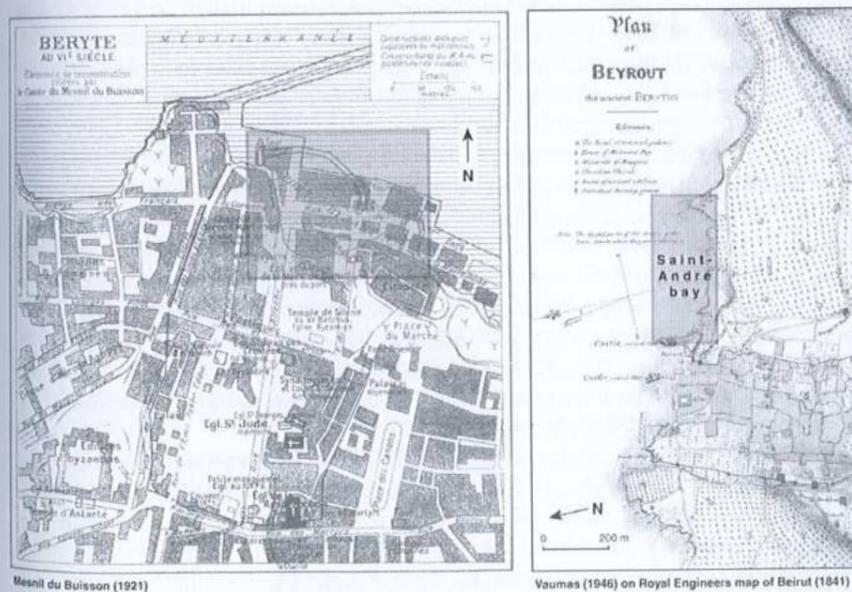


Figure 5.4 : Mesnil de Buisson (1921) et Vaumas (1946), hypothèses sur la localisation du port antique de Beyrouth (zones indiquées en gris).

La cité antique fut fondée sur la partie nord de la péninsule, dans une dépression entre deux collines, Ashrafieh à l'est (102 m au dessus du MSL) et

Ras Beyrouth (95 m) à l'ouest (Vaumas, 1946 ; **Figures 5.2**). Ashrafieh et la partie est du promontoire de Beyrouth sont constitués de marnes néogènes, alors que Ras Beyrouth a été façonné dans un substratum cénomaniens (Dubertret, 1955, 1975). Au Quaternaire, trois périodes de niveau marin stable ont créé des plateformes sur les façades nord d'Ashrafieh et Ras Beyrouth, à 85-100 m, 40-65 m et 6-20 m (Vaumas, 1944 ; Sanlaville, 1977). La grande majorité des découvertes archéologiques est concentrée sur la basse terrasse exposée, qui atteint 800 à 1000 m de large dans la zone du Nahr Beyrouth (Sanlaville, 1977). La dépression d'Ashrafieh-Ras Beyrouth comprenait une baie peu profonde ouverte au nord, formée par l'invasion marine d'un talweg après 6000 BP. Cette anse naturelle devint plus tard le port antique. Au centre de celle-ci se situait une petite île, Burg al-Mina, alors qu'à l'est et à l'ouest deux promontoires rocheux fermaient le bassin (**Figure 5.2**). Une faille orientée SSO-NNE la traverse depuis le port vers Basta et-Tahta, mettant en contact les formations du Néogène et du Cénomaniens (Dubertret, 1955, 1975).

La cité antique fut facile à défendre : à l'ouest l'accès était interdit par les falaises abruptes de Raoucheh alors que le fleuve Nahr Beyrouth bloquait l'accès par l'est. Le Nahr Beyrouth, alimenté par ses deux affluents, les Wadi Hammana et Wadi Salima, fait 23 km de long et s'écoule dans une vallée étroite, profondément incisée. Au sud, la défense était assurée par les collines d'Ashrafieh. A l'Antiquité, les seuls moyens de pénétrer dans la cité étaient soit par la mer, via son port, soit par le talweg étroit entre les collines d'Ashrafieh et Ras Beyrouth (à présent entre les routes de Damas et Basta).

A priori, deux noyaux urbains existaient pendant les âges du Bronze et du Fer, une « cité haute » centrée sur le tell et une « cité basse » sur les rives de l'ancien port (Elayi et Sayegh, 2000 ; Curvers, 2002). Les cités hellénistique et romano-byzantine furent fondées au sud, sud-ouest et ouest du tell antique. Une grande partie du centre ville a conservé cette morphologie en quadrillage et des édifices tels que l'hippodrome et le forum romain sont encore clairement discernables dans le tissu urbain (**Figure 5.3**). Le port de Beyrouth reste curieusement absent des sources classiques jusqu'à la période romaine tardive. Plus tard, il est cité abondamment dans de nombreuses chroniques byzantines, arabes et médiévales (Sayegh et Elayi, 2000).

En dépit de son passé glorieux, Beyrouth n'était guère plus qu'un petit port de pêche au 17^{ème} siècle. Pendant le 19^{ème} siècle, Laorty-Hadji (1855) déplore le déclin du port « Ça et là des débris et des fûts de colonnes, misérables restes de l'antique Béryte, servent dans le port à amarrer les bateaux. Formé par une jetée, ce port autrefois profond et commode, les habitants l'avaient laissé encombrer de ruines et de sables ». Jessup (1910) reprend les mots de ses prédécesseurs « [...] *there was no harbor, only an open roadstead, and boats landing from ships anchored outside would strike bottom before reaching the beach* [...] ».

5.3 Méthodes et acquisition des données

Au total, vingt carottes furent forées sur des sites autour du tell antique de Beyrouth (**Figure 5.3**). Nous renvoyons le lecteur aux chapitres précédents sur Sidon et Tyr pour un compte rendu détaillé des équipements et des méthodes pluridisciplinaires utilisés. Les cartes et gravures anciennes de la ville ont été étudiées pour reconstituer avec précision les changements morphologiques du port depuis le 19^{ème} siècle (Ormsby, 1839 ; Wyld, 1840 ; Löytved, 1876 ; Baedeker, 1912 ; Royal Engineers, 1841 ; Scott, 1841 ; Skyring, 1841). Toutes les cartes ont été géoréférencées et superposées dans un SIG. La carte résultante fut ensuite comparée aux données archéologiques et chronostratigraphiques pour obtenir un aperçu des déformations côtières durant les périodes antique et historique (Francou, 2002).

5.4 Localisation du port antique de Beyrouth

Jadis, la position exacte du port antique de Beyrouth a fait l'objet d'ardentes spéculations. En l'absence d'indices archéologiques solides, quatre hypothèses principales dominaient la littérature. (1) Pour Mesnil du Buisson (1921), le port est situé entre Bab es-Santiye, l'île de Burg al-Mina et la rue de la Marseillaise, juste au nord du bassin ensablé actuel (**Figure 5.4**). (2) Comme son homologue, Dussaud (1927) a localisé le port antique sur la façade nord de la péninsule de Beyrouth, mais peine à lui conférer une position géographique précise : « [...] la population de marins dut demeurer le long des anses, aujourd'hui en partie comblées, qui ouvrent vers le nord, disposition qui signale les meilleurs abris de la côte syrienne ». (3) Pour Vaumas (1946) le port antique est situé dans la baie de Saint-André, l'anse à l'est du tell de l'âge du Fer (**Figure 5.4**). (4) Finalement, ce ne fut pas avant les années 1980 que Davie (1987) proposa une hypothèse plausible et bien argumentée pour un port antique dans la zone entre Zaytuneh et le cinéma Rivoli, au pied du flanc sud-ouest du tell (**Figure 5.5**). Afin de tester ces premières hypothèses, nous avons foré 20 carottes à l'est et à l'ouest du tell antique.

Le Beyrouth antique est situé dans une zone qui était fertile, bien drainée et plate et où la mer pouvait être exploitée pour la nourriture et le transport. Alors que la structure interne de la cité n'a que peu changé depuis l'Antiquité, les plus grandes modifications topographiques ont eu lieu sur la façade littorale de la ville. Des vestiges portuaires de l'âge du Fer à BEY 039 (rue Allenby ; **Figure 5.6**), situés à plus de 300 m du trait de côte artificiel actuel, attestent de déformations littorales importantes durant les 3000 dernières années. Une étude des cartes des 19^{ème} et 20^{ème} siècles, alliée à nos investigations géoarchéologiques, nous a permis de reconstituer l'évolution du bassin portuaire depuis l'âge du Bronze (**Figures 5.7**).

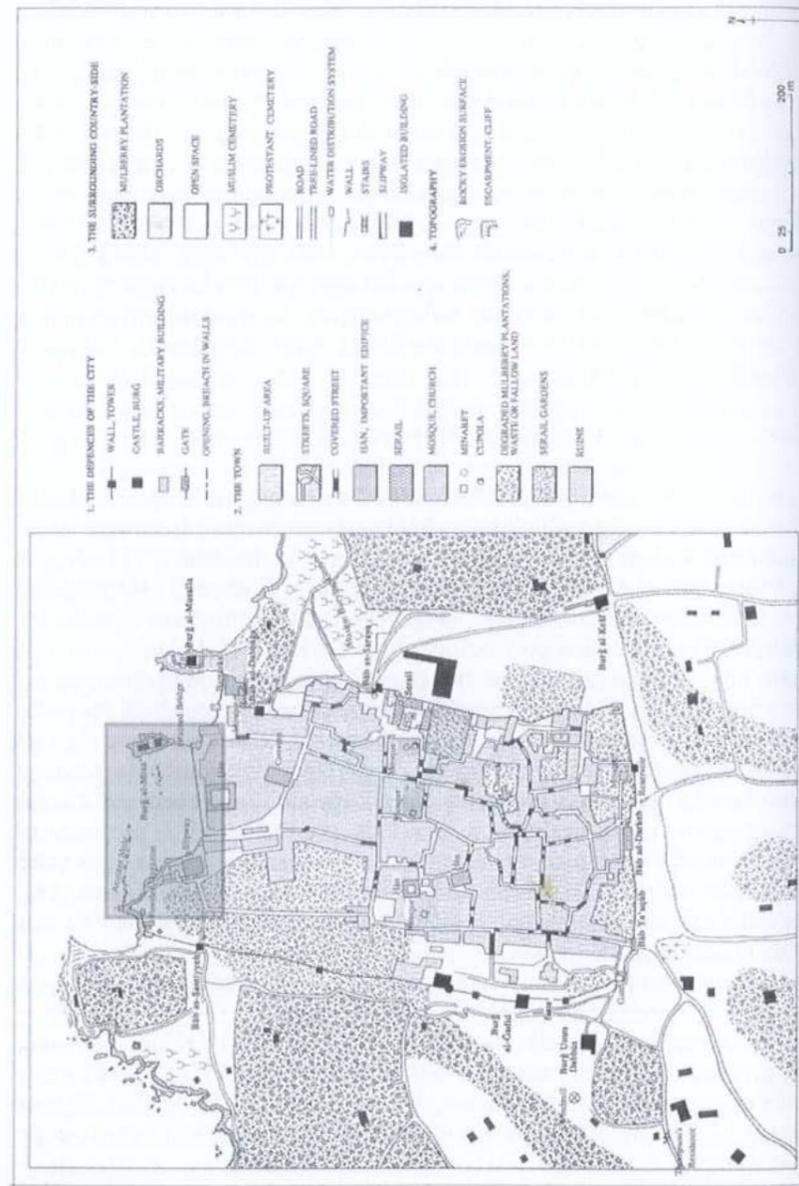


Figure 5.5 : Davie (1987), emplacement proposé pour le port antique de Beyrouth.

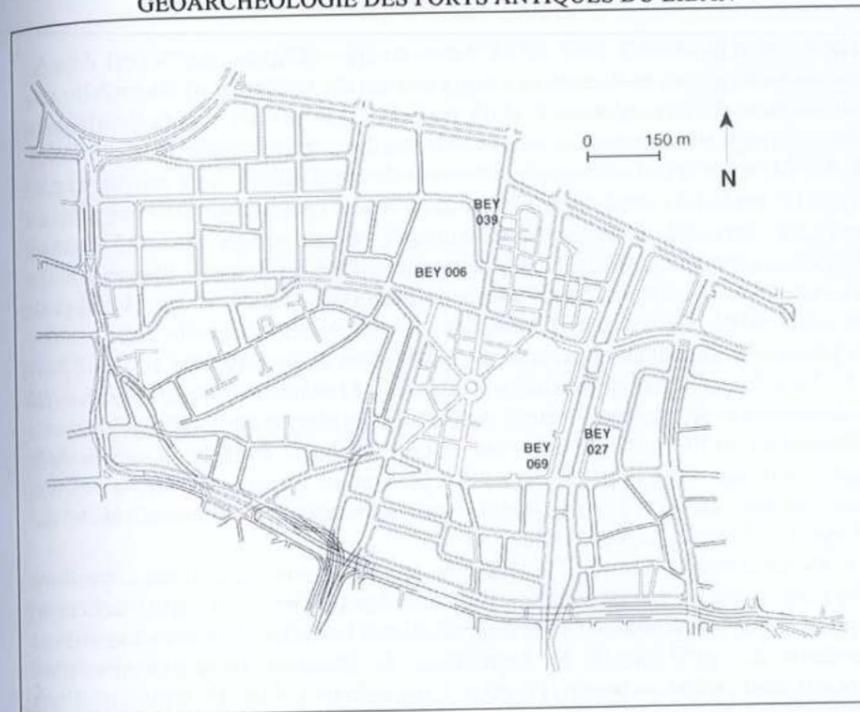


Figure 5.6 : Emplacements des sites archéologiques BEY discutés dans le texte.

A la différence de Sidon et de Tyr, l'intégralité du bassin portuaire de Beyrouth est aujourd'hui localisée sous le centre de la ville. Ceci est dû non seulement au comblement depuis l'Antiquité, mais aussi à des travaux de bonification entrepris depuis le 19^{ème} siècle. Bien que seule la baie ouest ait fourni des sédiments fins caractéristiques d'un environnement abrité, nous suggérons que les plages sableuses à l'est du tell ont été utilisées comme mouillage naturel pour des vaisseaux à faible tirant d'eau à partir de l'âge du Bronze. Comme dans la baie sud de Sidon, seules les carottes Be III, Be V, Be XII et Be XX recèlent des sédiments fins. En raison du tissu urbain dense, la majorité de nos carottes dans le port ouest est concentrée dans la partie nord-ouest du bassin, entre Burg al-Mina et les quais ottomans (Figure 5.7). Les prospections archéologiques effectuées au sud de cette zone indiquent que l'extension maximum du port antique pendant l'âge du Bronze était localisée à environ 300 m du trait de côte actuel (Elayi et Sayegh, 2000).

(1) **Changements entre l'âge du Bronze et la période médiévale.**

Le bassin était formé par l'ingression marine d'un talweg actif vers 6000 BP ; nos calculs suggèrent que la baie antique avait une superficie

approximative de 50 000 m² à cette époque (Figure 5.7). Les données géoarchéologiques indiquent une progradation d'environ 70 m du trait de côte entre l'âge du Bronze ancien et la période romaine. Un rivage de l'âge du Bronze moyen à récent a été mis en évidence au site BEY 069 (Bouzek, 1996). Cette découverte indique que le débouché du wadi formait une crique au pied du tell, exploité comme site d'ancrage à cette époque. Un tel scénario est cohérent avec les données du Levant sud, où les wadis étaient largement exploités comme mouillages naturels pendant l'âge du Bronze (Raban, 1987a ; Morhange *et al.*, 2005b). Les données de BEY 027 attestent d'un colmatage de la crique dès le Bronze tardif, qui devança l'urbanisation de cette zone pendant la période hellénistique (Arnaud *et al.*, 1996 ; Mendleson, 1996).

Pour les périodes plus tardives, un quai de l'âge du Fer III/Perse a été exhumé sur le site de fouille BEY 039. Localisés dans la rue Allenby, ces quais témoignent de l'orientation nord-sud du port. Bien que la position exacte de la ligne de rivage sud à l'âge du Fer ne soit pas connue avec exactitude, la position des vestiges archéologiques montre qu'il se situe juste au nord de la rue Weygand (Elayi et Sayegh, 2000).

Comme pour Sidon et Tyr, nous évoquons les curages romano-byzantins pour expliquer les hiatus sédimentaires de l'âge du Fer. Ceci est partiellement confirmé par les datations de céramiques. Entre la fin de l'âge d'or byzantin et le début du 19^{ème} siècle, la dégradation de la darse est à l'origine d'un ensablement rapide du bassin. En effet, l'archéologie médiévale témoigne d'une progradation littorale d'environ 30 m entre 660 après J.-C. et 1600 après J.-C.

(2) Changements côtiers de la Renaissance à la période moderne

Entre la Renaissance et aujourd'hui, cinq cartes ont été utilisées pour reconstituer l'évolution du trait de côte. Ce travail reprend les premières recherches de Davie (1987). Les cartes exploitées incluent celles de Ormsby (dressées en 1831 et publiées en 1839), Wyld (1840), Royal Engineers (1841), Scott (1841), Skyring (1841), Löytved (1876) et Baedeker (1912).

A la fin du 18^{ème} siècle, Beyrouth était un petit village de pêcheurs de 4000 habitants, jouant un rôle mineur dans le transport de marchandises vers la Syrie (Monicault, 1936). Les débuts d'un port commercial d'envergure remontent à la résurrection de la navigation maritime régionale, initiée par les vaisseaux à vapeur (Hastaoglou-Martiniadis, 1998 ; Davie, 2000). En 1832, sous les auspices du gouvernement égyptien, Beyrouth fut établie comme la capitale de Sidon Vilayet, une mesure qui attira les commerçants étrangers ainsi qu'une représentation consulaire. A partir de là, la zone portuaire se développa en quatre phases majeures, clairement traduites par les fonds cartographiques. (1) **Entre 1867 et 1876**, Beyrouth connut une phase importante de redéveloppement portuaire. De faibles taxes d'importation, l'édification d'un quai et la construction de la route transmontagnarde Beyrouth-Damas, ouvrirent Beyrouth à l'intérieur syro-arabique pour devenir la première ville maritime du

Levant, devant Acre et Sidon. (2) **Entre 1920 et 1943**, Beyrouth connut une nouvelle phase de bonification portuaire sous le mandat français (Monicault, 1936). (3) **Après la Seconde guerre mondiale**, Beyrouth connut une série de constructions portuaires nouvelles, avec une extension de la capacité d'accostage de ses bassins (4) Finalement, **depuis le début des années 1990**, à la suite de plusieurs décennies d'instabilité géopolitique, le gouvernement libanais finance la modernisation du centre ville de Beyrouth et son infrastructure portuaire. Les travaux en cours incluent, notamment, un grand port artificiel au nord-ouest de la darse actuelle (Figure 5.7).

La zone portuaire de Beyrouth témoigne de plus de 5000 ans de modifications anthropiques, caractérisées par une progradation d'environ 1 km du trait de côte. Notre recherche met en évidence une régularisation littorale de plus en plus prononcée depuis le Néolithique, les changements les plus profonds ayant eu lieu après le 18^{ème} siècle.

5.5 Evolution du port antique de Beyrouth

Seules les carottes entre Burg al-Mina et l'ouest attestent de faciès portuaires (Figure 5.7). Les études biosédimentologiques effectuées sur trois carottes, Be VIII, Be IX et Be X, permettent d'établir cinq phases dans l'évolution du port de Beyrouth.

5.5.1 Lagune de l'Holocène moyen

Description : Le substratum de la carotte Be VIII est recouvert par une unité d'argiles plastiques foncées (3/2 5Y olive black), constitués à plus de 75 % de limons. Des indices de tri moyens (0,8) et des valeurs d'asymétrie de -0,11 à -0,17 sont caractéristiques des sables moyens à fins (Figures 5.8, 5.11 et 5.14). La macrofaune est relativement pauvre, avec très peu de coquilles. Celles présentes comprennent des espèces de sables vaseux de mode calme (*Loripes lacteus*, *Cerithium vulgatum*), d'un assemblage lagunaire (*Cerastoderma glaucum*) et de sables fins bien calibrés (*Nassarius mutabilis* ; Figures 5.9, 5.12 et 5.15). L'ostracofaune a une densité faunistique relativement pauvre, avec seulement 20 à 40 tests pour 10 g de sable. La population est dominée par l'espèce laguno-saumâtre *Cyprideis torosa* (Figures 5.10, 5.13 et 5.16). Les carapaces des espèces laguno-marines et côtières témoignent d'une ligne de rivage proche.

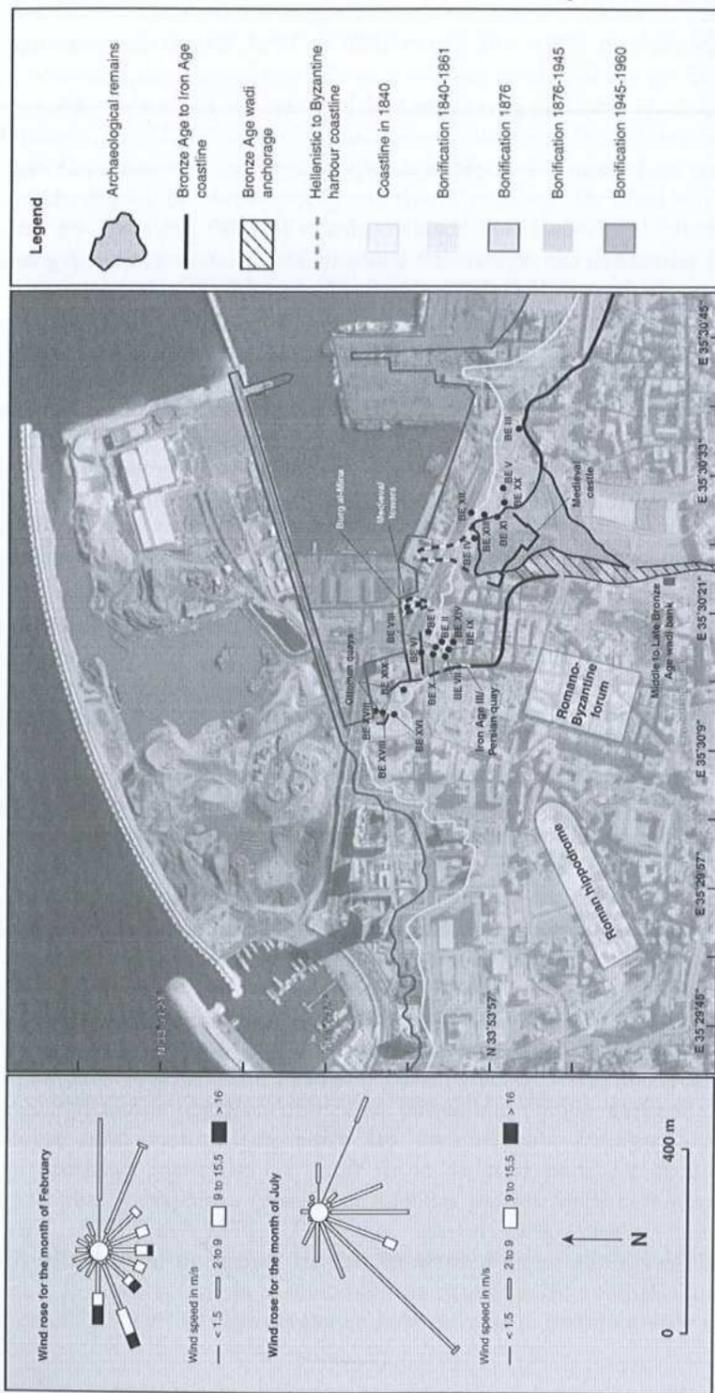


Figure 5.7 : 5000 ans de mobilité côtière dans le port antique de Beyrouth.

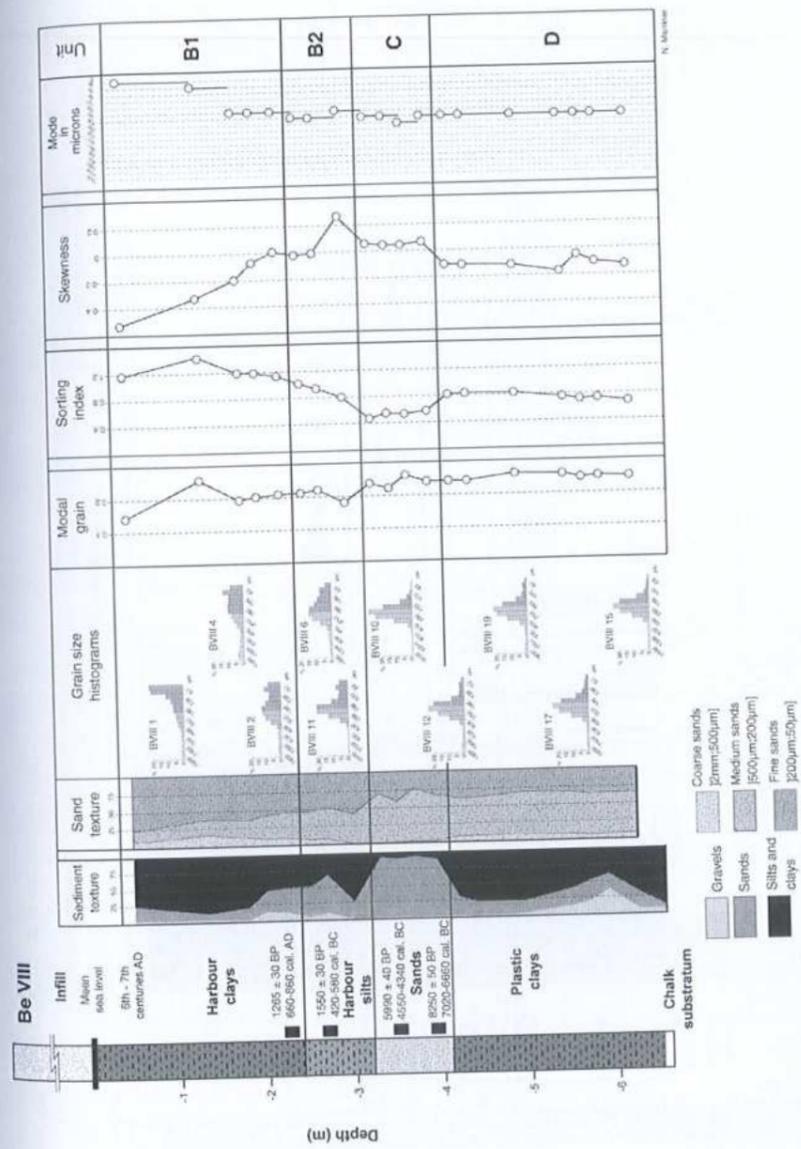


Figure 5.8 : Sédimentologie de la carotte Be VIII.

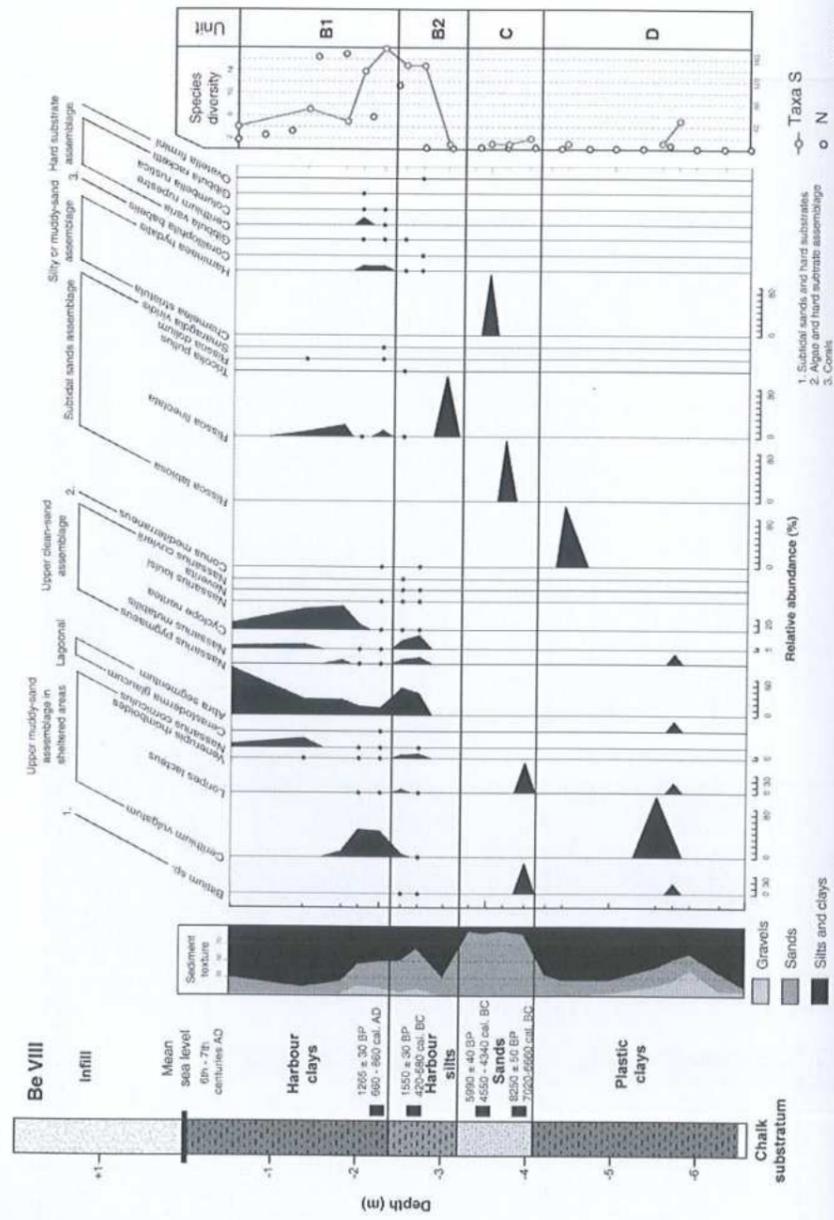


Figure 5.9 : Macrofaune de la carotte Be VIII.

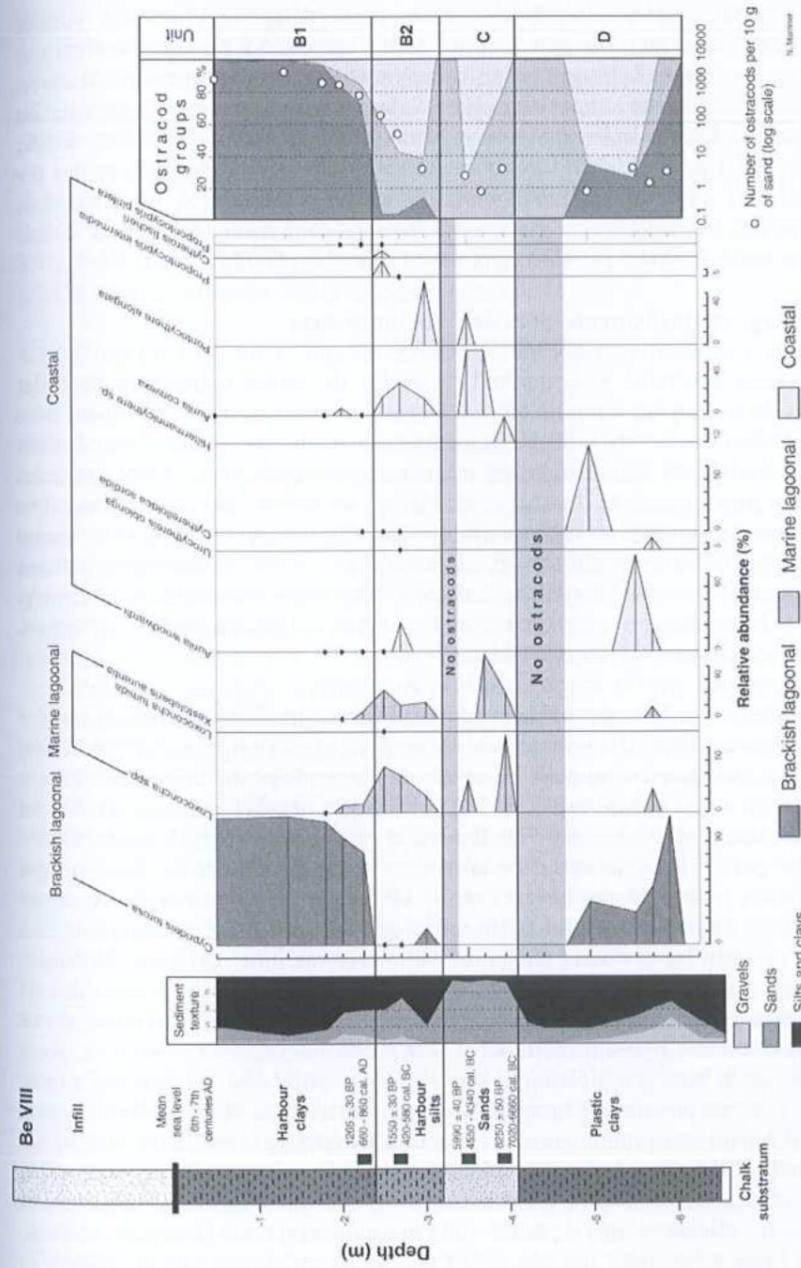


Figure 5.9 : Macrofaune de la carotte Be VIII.

Interprétation : Nous interprétons cette unité d'argiles plastiques comme appartenant à un environnement côtier dont l'accrétion a commencé alors que les eaux marines de la transgression holocène atteignaient les environs du bassin. Des faciès similaires ont été élucidés à Sidon et à Tyr et viennent appuyer les données provenant de la côte nord d'Israël (Galili et Weinstein-Evron, 1985 ; Cohen-Seffer *et al.*, 2005). Cet environnement lagunaire aurait été protégé par une série de cordons dunaires, rompus pendant les périodes de tempête et de forte houle. Des conditions pleinement marines sont enregistrées dans la baie par une unité de sables infralittoraux datant d'environ 6000 BP (voir 5.5.2).

5.5.2 Plage de poche/proto-port de l'âge du Bronze

Description : L'unité C comprend un faciès de sables coquilliers avec des indices de tri moyens compris entre 0,5 et 1. Les sables moyens dominent cette unité et constituent 50 à 80 % de la fraction totale des sables. Les résultats sédimentologiques indiquent un environnement marin abrité. La macrofaune est dominée par des espèces de trois assemblages, les sables vaseux de mode calme (*Cerithium vulgatum*), les sables infralittoraux (*Rissoa* spp.), ainsi que les sables et roches infralittoraux (*Bittium reticulatum*). Les faibles dynamiques marines sont caractérisées par des espèces d'ostracodes laguno-marines (*Loxococoncha* spp., *Xestoleberis aurantia*) et côtières (*Pontocythere elongata*, *Hiltermannicythere* sp., *Aurila convexa*).

Interprétation : Les données évoquent l'accrétion d'un faciès de sables infralittoraux au sein d'une baie marine protégée, dont l'origine remonte à 6000 BP. Cette stratigraphie rappelle les unités de plages de poche mises en évidence à Sidon et à Tyr (chapitres 3 et 4 ; Marriner *et al.*, 2005, 2006a-b). Un tel environnement abrité, orienté vers le nord et protégé des vents dominants et de la houle par le flanc sud-ouest de la péninsule, explique la sédentarisation des sociétés sur le tell qui surplombe la baie. La topographie de ce comptoir aurait été connue des navigateurs antiques, qui voyageaient d'un mouillage naturel à l'autre pendant les premiers temps du commerce maritime (Marcus, 2002a-b). Les populations de l'âge du Bronze utilisèrent les terres fertiles cultivables de cette large terrasse pour se nourrir. L'interaction avec la mer, par le biais de ce mouillage naturel, permit le commerce et la pêche.

Beyrouth, bien que n'étant pas une ville de premier plan à l'âge du Bronze, bénéficia de sa position géographique à mi-chemin entre Sidon et Byblos pour servir d'escale maritime intermédiaire entre l'Égypte, le Levant sud, la Syrie et l'Anatolie. Elle suivit le modèle général de développement urbain, caractérisé par la construction de palais, temples et murs d'enceinte conçus pour protéger et consolider la richesse tirée de sa situation maritime favorable (Curvers et Stuart, 2004). Bien qu'éclipsée par ses cités-Etats sœurs qu'étaient Byblos, Sidon et Tyr, Beyrouth est mentionnée dans de nombreux écrits égyptiens cunéiformes

du 2^{ème} millénaire avant J.-C. comme une ville florissante de l'âge du Bronze (Arnaud et Salvini, 2000).

A la différence de Sidon, aucun des indices sédimentologiques ne témoigne d'infrastructures portuaires artificielles à l'âge du Bronze. Nous invoquons deux raisons pour l'expliquer : (1) l'absence d'une telle infrastructure à cette époque sur le site ; et/ou (2) la position des carottes dans l'axe de l'entrée du bassin, non propice à l'accrétion de sédiments portuaires fins. A priori, le centre du bassin de l'âge du Bronze était localisé à environ 120-150 m au sud (Figure 5.7), bien que les recherches archéologiques n'aient exhumé aucune infrastructure artificielle datant de cette période.

5.5.3 D'un port fermé à l'âge du Bronze (?) au système portuaire romano-byzantin

Description : Dans l'unité B1, le début des travaux portuaires artificiels est caractérisé par une brusque augmentation des vases (25 à 75 % du total des sédiments). Des indices de tri de 0,8 à 1 attestent d'une fraction sableuse moyennement triée. Les sédiments juxtaposent des sables fins et limons avec une importante fraction de ballast constituée de fragments de bois, verre, graines et morceaux de céramique. L'échantillon BVIII 5 a été daté vers 1550 ± 30 BP (420 à 580 ans cal. après J.-C. ; Tableau 5.1), correspondant à la période romaine. La juxtaposition d'une fraction grossière à des sédiments fins est caractéristique des ports artificiels en aval d'un centre urbain. La macrofaune est dominée par quatre assemblages, les sables vaseux de mode calme (*Cerithium vulgatum*, *Loripes lacteus*, *Venerupis rhomboides*), les sables fins bien calibrés (*Cyclope neritea*, *Nassarius louisi*, *Nassarius mutabilis*, *Nassarius pygmaeus*), l'assemblage lagunaire (*Abra segmentum*) et les sables infralittoraux (*Rissoa lineolata*). Les espèces lagunaires (*Cyprideis torosa*), laguno-marines (*Loxococoncha* spp., *Xestoleberis aurantia*) et côtières (*Aurila convexa*, *Pontocythere elongata*) constituent l'ostracofaune. Ceci est accompagné d'une augmentation de la densité faunistique : entre 100-300 tests pour 10 g de sable.

Interprétation : Les infrastructures portuaires artificielles sont clairement traduites dans la stratigraphie du bassin. Malheureusement, l'attribution de ces changements à l'âge du Bronze est problématique, étant donné les phases de dragage répétées pendant les périodes romaine et byzantine. Paradoxalement, les curages romano-byzantins sont à l'origine d'un port sans archives sédimentaires pour la période de l'âge du Fer. Ce n'est qu'à Sidon que nous avons pu localiser et dater des poches de sédiments portuaires remontant à l'âge du Fer (chapitre 4 ; Marriner *et al.*, 2006b). Ces résultats soulignent l'importance des avancées technologiques portuaires en Méditerranée à partir de la période romaine (Oleson, 1988 ; Rickman, 1988). A Marseille et à Naples,

par exemple, des infrastructures d'envergure furent entreprises non seulement pour approfondir les ports qui se colmataient rapidement, mais aussi pour en refaçonner complètement le tracé (Hesnard, 2004a-b).

Bien qu'une progradation graduelle de la ligne de rivage portuaire soit enregistrée entre l'âge du Bronze et la période romaine, nous n'avons que très peu d'informations sur la nature des travaux entrepris (Figure 5.7). Actuellement, seul un quai du Fer III a été exhumé (Elayi et Sayegh, 2000 ; Sayegh et Elayi, 2000). Il est localisé à environ 60-70 m au sud du maillage de carottes. Juste au nord de deux quais ottomans du 19^{ème} siècle, aucun sédiment portuaire n'a été mis en évidence, indiquant que le port ne s'étendait pas dans cette direction (Figures 5.17 et 5.18). Il est vraisemblable que le quai du 19^{ème} siècle a réemployé des assises appartenant à une structure portuaire plus ancienne. Cependant, en dépit de données archéologiques solides, nous pouvons seulement spéculer que cet édifice a été adapté et recyclé à partir de l'âge du Fer. A la différence de la ligne de rivage portuaire au sud, les limites nord du bassin n'ont probablement guère varié pendant les dernières 6000 années.

Echantillon	Code laboratoire	Matériel daté	¹⁴ C BP	Cal. BP	Cal. BC/AD
BVIII 5	Poz-17616	Graines	1550 ± 30 BP	1530 - 1370	420 - 580 AD
BVIII 7	Poz-20498	Graines	1265 ± 30 BP	1290-1090	660 - 860 AD
BVIII 9	Poz-20422	<i>Chamelea striatula</i>	5990 ± 40 BP	6500-6290	BC
BVIII 14	Poz-17617	<i>Loripes lacteus</i>	8250 ± 50 BP	8970 - 8610	BC
BIX 1	Poz-20499	Graines	1235 ± 30 BP	1270-1070	680 - 880 AD
BIX 3	Poz-20423	Graines	1145 ± 30 BP	1170-970	780 - 980 AD
BIX 6	Poz-20424	Graines	1515 ± 30 BP	1520-1330	430 - 620 AD
BX 5	Poz-20426	Fragment de bois	1215 ± 30 BP	1260 - 2320	690 - 890 AD
BX 7	Poz-20421	<i>Cerithium vulgatum</i>	2160 ± 30 BP	1860 - 1660	90 - 290 AD
BX 11	Poz-17615	<i>Loripes lacteus</i>	6160 ± 40 BP	6710 - 6480	BC

Tableau 5.1 : Datations radiocarbone.

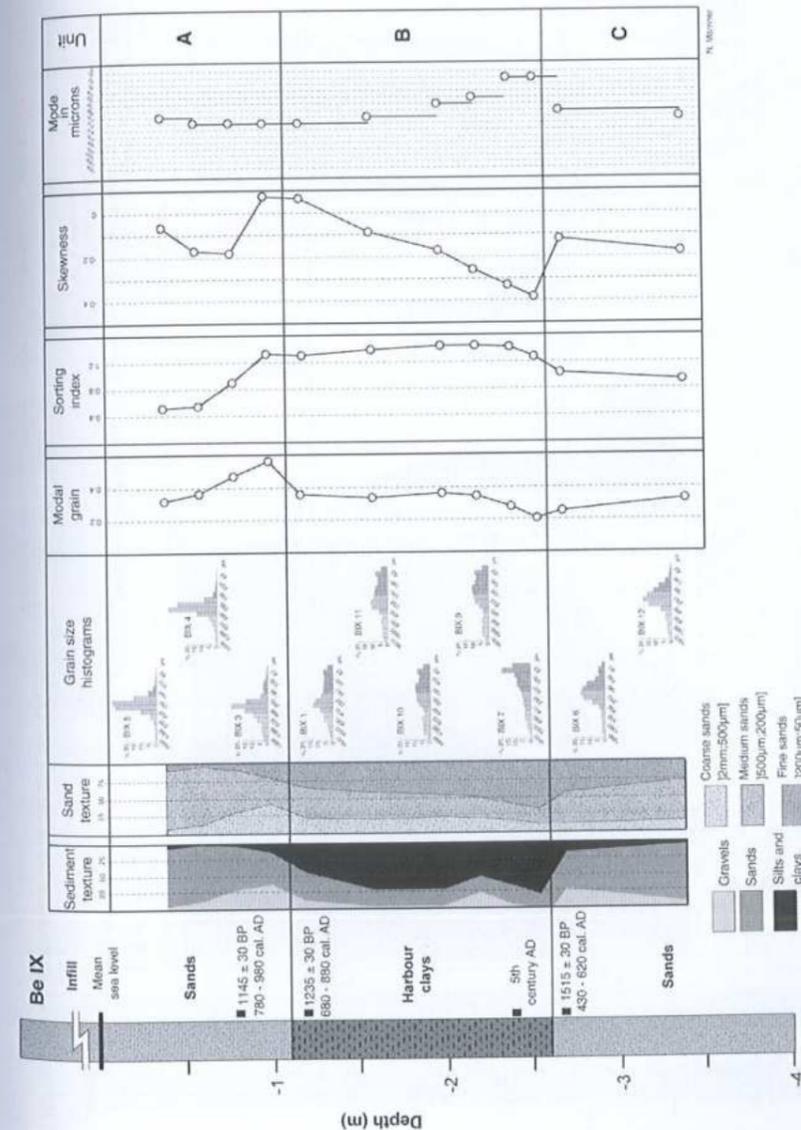


Figure 5.11 : Sédimentologie de la carotte Be IX.

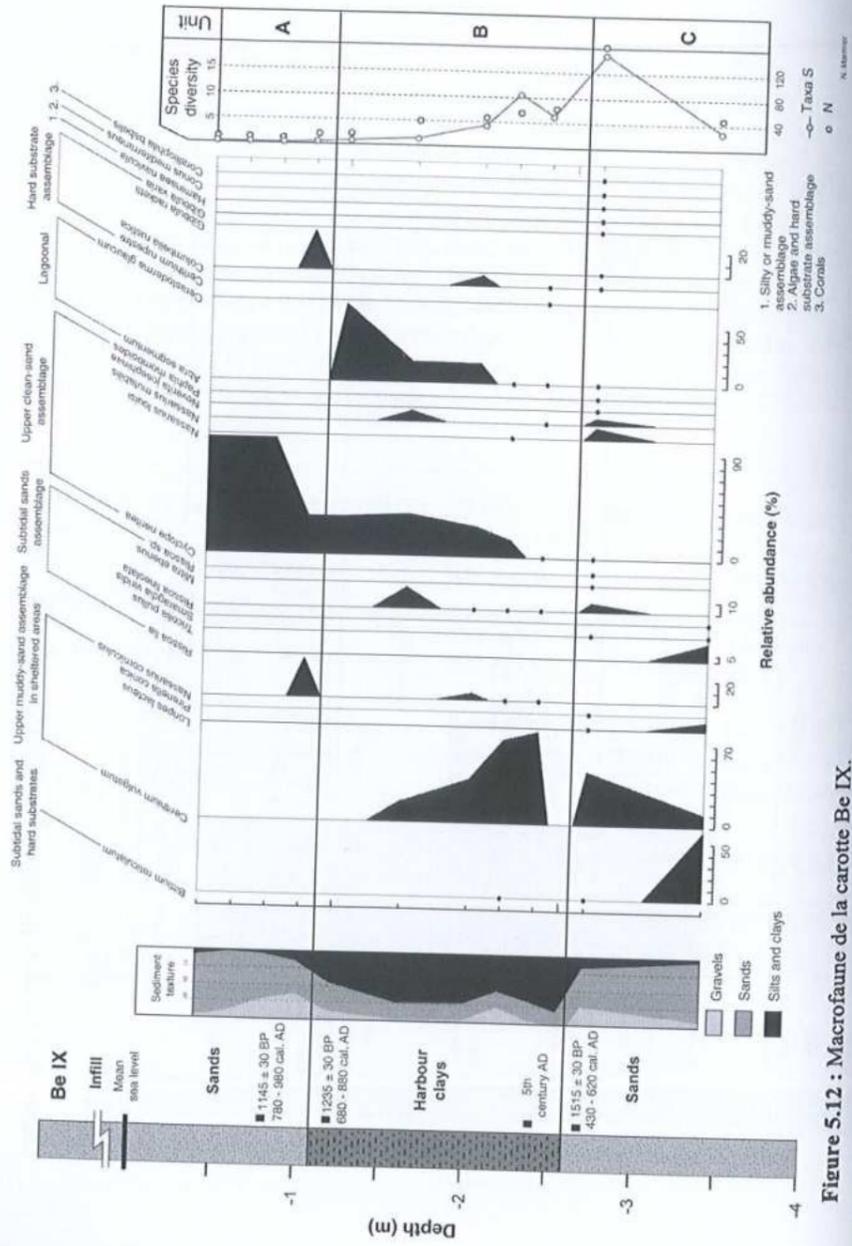


Figure 5.12 : Macrofaune de la carotte Be IX.

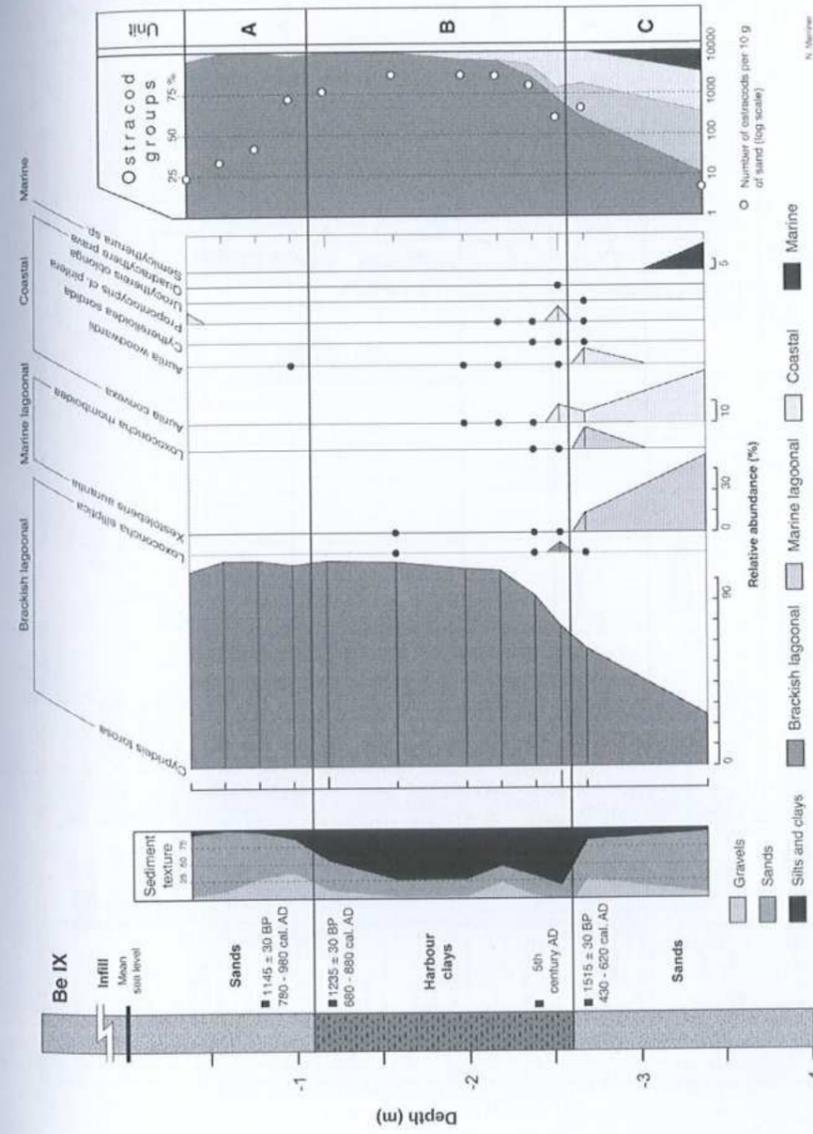


Figure 5.13 : Ostracofaune de la carotte Be IX.

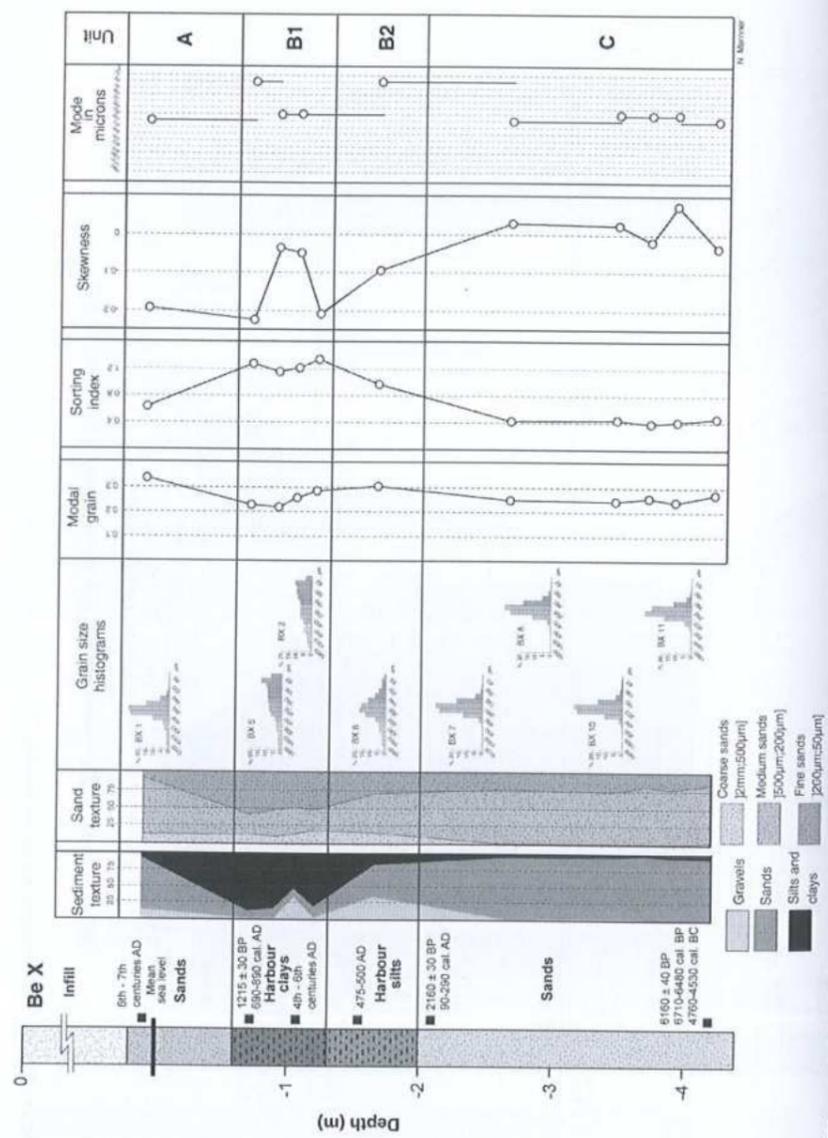


Figure 5.14 : Sédimentologie de la carotte Be X.

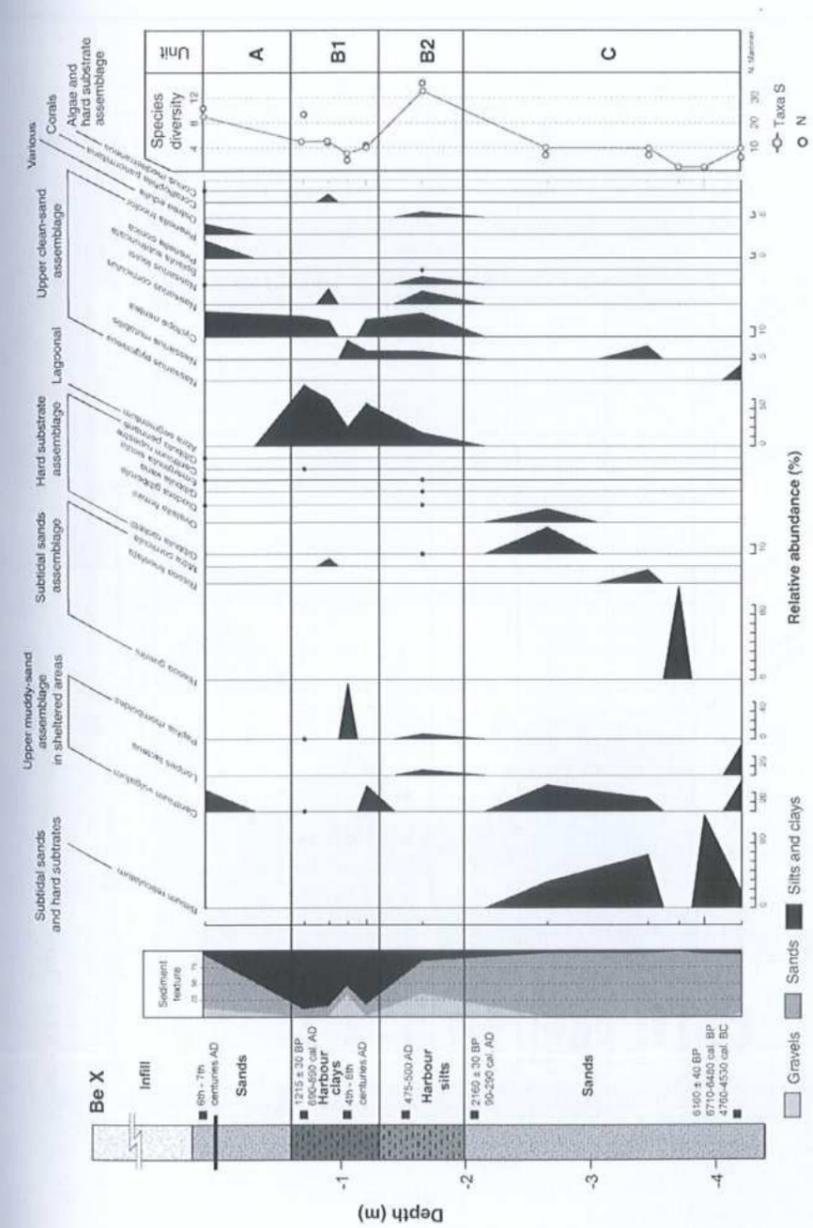


Figure 5.15 : Macrofaune de la carotte Be X.

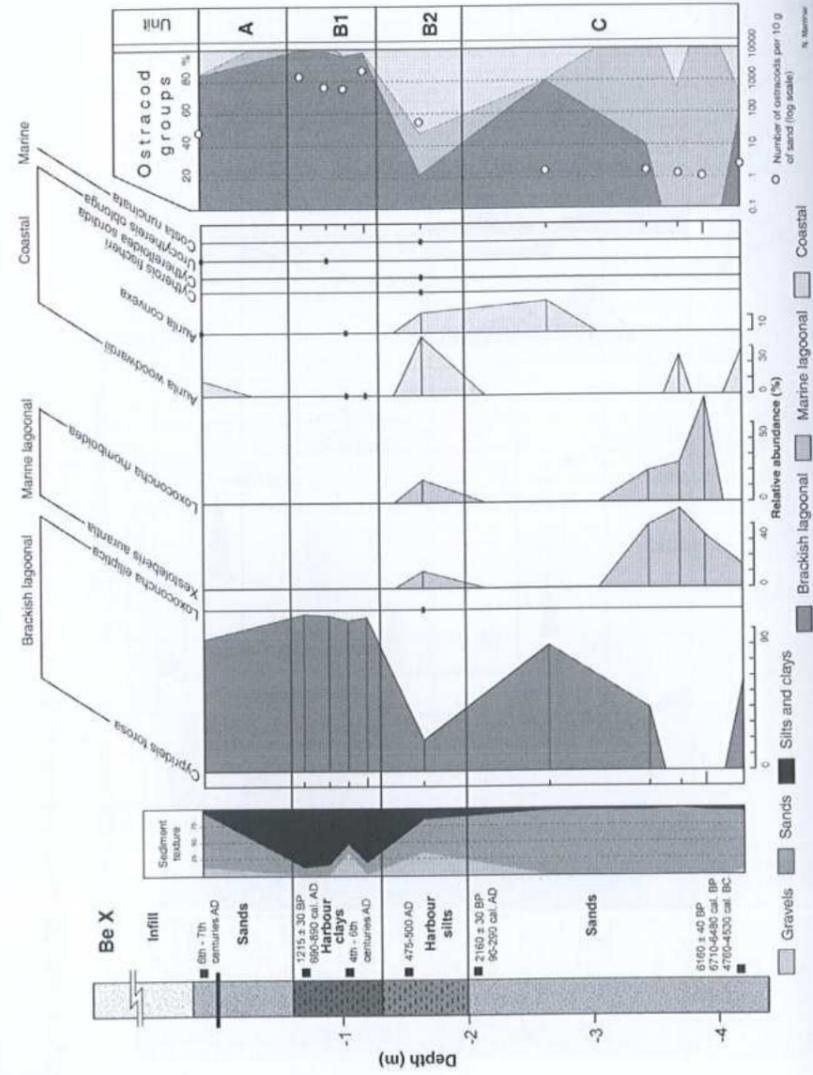


Figure 5.16 : Ostracofaune de la carotte Be X.

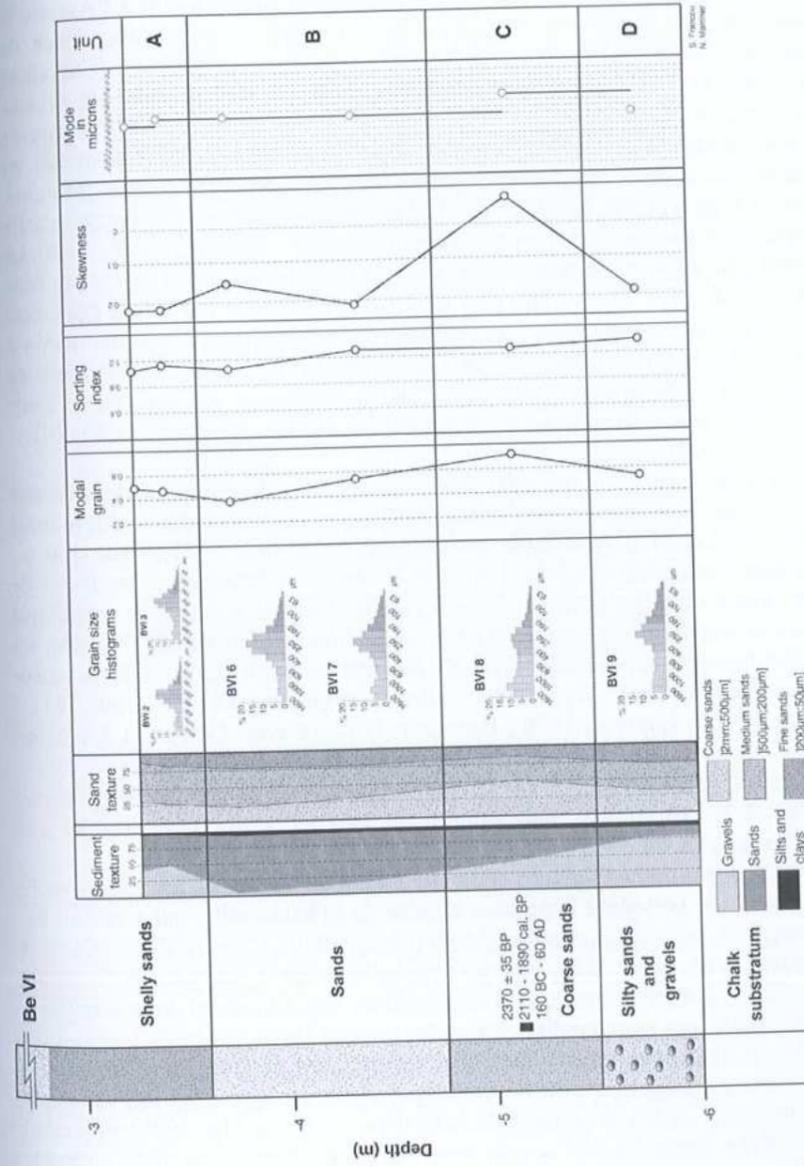


Figure 5.17 : Sédimentologie de la carotte Be VI.

Pour la période phénicienne, des découvertes archéologiques autour du bassin indiquent l'importance du port pour les industries et les activités commerciales de la ville (Curvers et Stuart, 1996). Dès la seconde moitié du 8^{ème} siècle avant J.-C., les cités-Etats phéniciennes fournissaient à l'Assyrie la plupart de ses ressources maritimes (Elayi, 1984, 1990). L'abondance de céramiques importées témoigne d'un riche commerce international (Curvers et Stuart, 2004). Les travaux archéologiques entrepris sur les quartiers urbains phéniciens et perses bordant le port montrent l'importance des murex trouvés (*Bolinus brandaris* et *Hexaplex trunculus*), vraisemblablement à mettre en relation avec la production de teinture pourpre (Doumet, 1980 ; 2004 ; Marquis, 2004). La découverte de filets et d'arêtes de poissons sur une large échelle indique aussi l'importance de l'industrie de la pêche (Elayi et Sayegh, 2000). Le poisson pouvait être séché et exporté vers les marchés locaux et régionaux dans l'intérieur du pays, et peut-être plus loin. Un port de cette taille était également capable d'assurer le transport du bois de cèdre, prisé dans la construction à travers tout le bassin levantin (Elayi, 1984, 1990). L'absence relative de découvertes militaires indique que la cité n'entretenait pas de grande flotte militaire comme c'était le cas à Sidon et à Tyr pendant la même période (Elayi et Sayegh, 2000).

L'existence de ports secondaires et/ou extérieurs plus petits ne doit pas être exclue. Deux zones auraient été propices pour abriter les bateaux de faible tirant d'eau : (1) Les archives sédimentaires de la paléo-baie (400 m par 150 m) immédiatement à l'est du tell (Figure 5.7) sont caractérisées par un faciès de sables fins à moyens. Bien qu'il soit difficile d'aboutir à une géomorphologie précise de cette anse, en raison de la bonification littorale du 19^{ème} siècle, les données topographiques permettent de reconstituer la disposition de la paléo-baie (Ormsby, 1839 ; Wyld, 1840 ; Royal Engineers, 1841 ; Scott, 1841 ; Skyring, 1841 ; Löytved, 1876 ; Baedeker, 1912 ; Davie, 1987). (2) A environ 350 m à l'ouest du port antique de Beyrouth, une seconde baie marine, encore visible sur les cartes du 19^{ème} siècle, pourrait avoir servi de port par temps calme (Figure 5.7). Un travail plus approfondi est nécessaire pour valider ces hypothèses de travail.

Les données archéologiques démontrent que, du 6^{ème} au 5^{ème} siècle avant J.-C., il y eut une période d'expansion urbaine de la basse ville, qui s'étendit au-delà des deux promontoires en surplomb (Sader, 1999 ; Curvers, 2002 ; Curvers et Stuart, 1998-1999). Les poteries pré-hellénistiques trouvées à Beyrouth comprennent des amphores provenant de Sidon, Tyr, Chypre et de la mer Egée. La présence de ces marchandises importées indique l'importance de Beyrouth et de son port dans le commerce méditerranéen de cette époque. En se basant sur le style des poteries trouvées, l'hypothèse a été émise que Beyrouth était une dépendance de Sidon à la période hellénistique (Reynolds, 1999) et devint indépendante après le 2^{ème} siècle avant J.-C. Pendant la période romano-byzantine, le centre monumental de la cité se décala de la zone du tell de l'âge

du Fer et de la zone du port, vers une zone à l'extérieur des limites de la cité de l'âge du Fer (Lauffray, 1944-1945 ; Davie, 1987 ; Faraldo Victorica et Curvers, 2002).

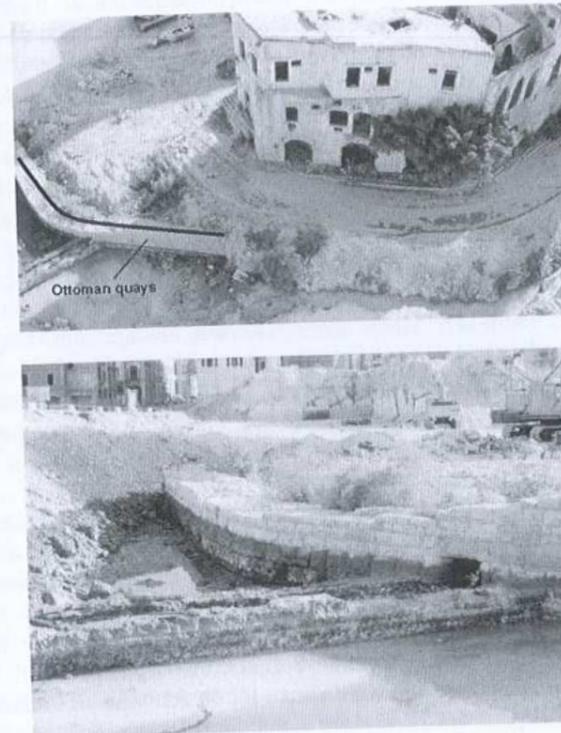


Figure 5.18 : Quais ottomans exhumés pendant les travaux de construction EDRAFOR (photographies dues à la courtoisie d'EDRAFOR). Ces quais se situent juste en dehors de l'ancien bassin antique et attestent d'un déplacement graduel du trait de côte portuaire depuis l'âge du Bronze.

5.5.4 Port fermé romano-byzantin

Description : La transition vers des argiles plastiques portuaires atteste de l'apogée technologique du port antique de Beyrouth, pendant les périodes romaine tardive et byzantine. La datation de cette unité est signée, par de nombreuses céramiques, du 5^{ème} au 7^{ème} siècle après J.-C. Des indices de tri entre 1,2 et 1,5 sont caractéristiques d'un sédiment mal trié (Figures 5.8, 5.11 et 5.14). Les sables fins s'élèvent à plus de 50 % de la fraction totale des sables. Le faciès juxtapose des dépôts fins et des matériels grossiers provenant des ruissellements et des rejets urbains. Cinq groupes dominent la macrofaune, à savoir : les sables vaseux de mode calme, les sables fins bien calibrés, les sables

vaseux, l'assemblage lagunaire et les sables infralittoraux (Figures 5.9, 5.12 et 5.15). Une augmentation brusque de l'espèce lagunaire *Abra segmentum* indique la présence d'un bassin extrêmement artificialisé. Cette tendance environnementale est renforcée par l'ostracofaune, caractérisée par la domination monospécifique de *Cyprideis torosa* et accompagnée d'une densité faunistique élevée (>1000 tests pour 10 g de sable ; Figures 5.10, 5.13 et 5.16).

Interprétation : Le développement urbain de Beyrouth, qui débuta à la période romaine, continua sous la domination byzantine. L'hinterland beyrouthin témoigne également d'une ère de prospérité, avec l'expansion de l'agriculture, principalement la production d'huile et de vin, ainsi que les industries de la soie, du verre et de la pourpre (Hall, 2004). La cité romaine se développa sur les ruines des cités hellénistiques qui la précédèrent (Saghieh-Beydoun *et al.*, 1998-1999). Entre le 2^{ème} et le 4^{ème} siècle après J.-C., des changements majeurs dans le tissu urbain de la cité sont enregistrés, en phase avec la fondation d'une nouvelle capitale impériale à Constantinople en 330 après J.-C. (Sader, 1999). Cette période d'opulence économique et culturelle est accompagnée d'un développement du complexe portuaire beyrouthin, pour héberger le trafic marchand croissant. Les fouilles du port enregistrent une rénovation importante de la topographie du bassin (Curvers, communication personnelle). La production d'amphores était développée pour répondre aux besoins de la croissance économique de la cité (Reynolds, 1999). Cette concentration de richesses fut associée à de nombreuses nouvelles constructions publiques monumentales, dont un hippodrome, deux grands thermes et de nouveaux forums (Curvers et Stuart, 2004 ; Doumet-Serhal, 2004a).

La consolidation des techniques de construction romaine se traduit par une unité d'argiles plastiques, B1. Bien que nous n'ayons que très peu d'indices archéologiques sur la nature des édifices portuaires, des recherches sur des sites comme Césarée, Ostie et Cosa servent de modèles pour la technologie beyrouthine (Oleson, 1988 ; Oleson et Branton, 1992 ; Brandon, 1996, 1997 ; Hohlfelder, 1997 ; Humphrey *et al.*, 1998 ; Oleson *et al.*, 2004a-b).

Nous attribuons l'absence d'infrastructures portuaires de cette période à trois facteurs : (1) la destruction répétée d'édifices portuaires pendant des tremblements de terre (Guidoboni *et al.*, 1994). En effet, la péninsule de Beyrouth est située dans une zone hautement sismique (Dubertret, 1955, 1975) ; la cité antique repose notamment sur trois lignes de failles, dont l'une traverse le bassin du port (Darawcheh *et al.*, 2000). Des calculs indiquent que des séismes d'intensité supérieure à 7 (échelle de Mercalli) ont une période de 50 ans dans cette zone (Plassard et Kogol, 1981). Les couches d'habitation de l'âge du Fer, romaines et byzantines témoignent des anomalies et des lignes de fracture, dégradations qui ont été mises en relation avec l'activité sismique importante (Saghieh Beidoun, 1997). Le tremblement de terre historique le plus dévastateur qui ait frappé Berytus survint en 551 après J.-C. et fut associé à une

destruction urbaine massive (voir 5.5.5) ; (2) le recyclage des infrastructures portuaires à travers l'histoire ; et (3) finalement, l'absence de fouilles archéologiques dans ces zones. Tant que la zone portuaire n'aura pas été prospectée de façon satisfaisante, il sera impossible de donner la priorité à l'un ou l'autre de ces facteurs.

5.5.5 Les ports islamique et médiéval

Description : Après le 6^{ème} ou 7^{ème} siècle apr. J.-C., la transition vers un sable moyen bien trié témoigne d'une ouverture du bassin portuaire aux dynamiques côtières (Figures 5.8, 5.11 et 5.14). Une chute brutale de la fraction des limons et argiles, de +75 % dans l'unité B1 à <20 % dans l'unité A, indique la rapidité du changement. Cette transformation est accompagnée d'une augmentation des espèces macrofaunistiques provenant des sables fins bien calibrés (*Cyclope neritea*) ainsi que l'assemblage de substrat dur (*Columbella rustica* ; Figures 5.9, 5.12 et 5.15). *Cyprideis torosa* continue dans cette unité, alors que nous constatons un déclin prononcé des densités faunistiques de 1000/10g sable à <100/10g sable (Figures 5.10, 5.13 et 5.16).

Interprétation : La transition vers une sédimentation de dépôts grossiers est une caractéristique classique des ports antiques. Habituellement, elle est le signe d'un abandon partiel du bassin lié au déclin politique du site (Goiran et Morhange, 2003 ; Marriner et Morhange, 2007). A la différence de Sidon et Tyr, les fouilles depuis 1993 ont fourni de nombreux indices archéologiques pour expliquer le déclin du port de Beyrouth, que l'on situe entre les 6^{ème} et 7^{ème} siècles après J.-C. (Curvers et Stuart, 2004). Comme nous l'avons souligné dans les chapitres précédents, il semble que plusieurs phénomènes soient impliqués : (1) historique ; (2) tectonique ; (3) tsunamogénique ; et (4) climatique. Bien que ces points soient traités de manière plus détaillée au chapitre 6, il est néanmoins important d'insister sur deux d'entre eux.

(1) **Archéologique :** Le 7^{ème} siècle après J.-C. marque un déclin de l'hégémonie byzantine dans tout le pourtour levantin en dépit d'une expansion de l'aire islamique (Bonner, 2005). A Beyrouth, deux types d'indices archéologiques documentent le déclin économique après les 6^{ème}/7^{ème} siècles après J.-C. (i) **Urbain :** les fouilles démontrent que de larges étendues de la cité restèrent en ruines après le séisme de 551 après J.-C., avec des preuves de reconstruction localisée (Seeden et Thorpe, 1997-1998 ; Curvers et Stuart, 2004 ; Mikati et Perring, 2006). De nombreuses parties de la cité révèlent une mosaïque d'aires abandonnées et d'occupation continue. (ii) **Céramiques :** les poteries retrouvées au forum (BEY 006) pour cette période manifestent un changement important dans le choix et le volume des marchandises importées dans la cité, ce qui est

cohérent avec un déclin du trafic international (Perring *et al.*, 1996 ; Perring, 1999).

(2) **Biosédimentologique** : Les fouilles entreprises dans le port de Beyrouth par Curvers ont mis à jour des branches d'arbres, des décombres et des quantités considérables de poteries romaines non usées dans les couches des 6^{ème} et 7^{ème} siècles après J.-C. Par le même biais, les prospections effectuées dans le port ottoman ont révélé des vases portuaires reposant inexplicablement au-dessus du substratum, érodé par l'action de la mer (Curvers et Stuart, 2004). Elles ont été attribuées à un tsunami et nous pouvons indirectement en déduire des dommages considérables pour l'infrastructure portuaire. Ces indices géoarchéologiques témoignent des changements majeurs dans la configuration du port à cette époque. A aucun moment pendant les périodes islamique et médiévale nous n'avons repéré de port protégé. A la lumière de cela, il semble qu'il y ait un lien clair entre le repli de l'empire byzantin sur son noyau anatolien et la destruction catastrophique de nombreux quartiers de Beyrouth, dont la zone portuaire, pendant le séisme et le tsunami de 551 apr. J.-C.

Le séisme de 551 après J.-C. est le tremblement de terre le mieux documenté de tous ceux qui ont frappé Beyrouth dans l'Antiquité (Guidoboni *et al.*, 1994 ; Soloviev *et al.*, 2000). Ses répercussions sismiques se firent sentir aussi loin que la Mésopotamie (Darawcheh *et al.*, 2000). A un niveau plus général, cette période est caractérisée par d'importantes déformations littorales à travers toute la région (Goiran, 2001 ; Pirazzoli, 2005 ; Morhange *et al.*, 2006b ; voir le chapitre 6 pour une discussion détaillée).

Le séisme de 551 après J.-C. est mentionné dans plusieurs catalogues d'avant 1900, plus particulièrement ceux de Bonito (1691) et Perrey (1850). Une recherche récente a émis deux hypothèses pour situer l'épicentre de l'évènement : (1) Guidoboni *et al.* (1994) ont présenté trois textes anciens qui, pensent-ils, attestent d'un épicentre au large de la côte de Beyrouth ; (2) Ambraseys *et al.* (1994), d'un autre côté, ont suggéré que l'épicentre se situe dans la vallée du rift jordanien. Les destructions par tsunami le long de la côte du Liban, de Tripoli à Tyr, tendraient à privilégier le premier postulat.

Les récits de nombreux chroniqueurs vivant à l'époque de l'évènement et qui nous sont parvenus comprennent Malalas (491-578 apr. J.-C.), Agathias (532-580 apr. J.-C.) et Jean d'Ephèse (507-586 apr. J.-C.), ainsi qu'un itinéraire daté de 560-570 apr. J.-C. et signé par un voyageur dénommé Antoninus Placentinus. Selon Antoninus Placentinus, l'évêque de Beyrouth, témoin oculaire du séisme, estime qu'il y eut 30.000 morts dus au tremblement de terre (Darawcheh *et al.*, 2000). Bien que ce chiffre soit difficile à confirmer, il semble cependant plausible étant donné que Beyrouth était considérée comme la perle de la côte phénicienne à cette époque. Les incendies et les maladies contribuèrent sans doute aussi à ce bilan.

Le tsunami qui l'accompagna est documenté par le récit de Jean d'Ephèse : « *before the earthquake happened, the sea retired roughly two miles, then the people were rushed in the seabed to find wealth at the sunken ships, then an immense wave returned, flooding the shore and drowning ships as well as the people who were in the seabed and along the coast* » (in Guidoboni *et al.*, 1994).

5.6 Remarques de conclusion

L'artificialisation du littoral beyrouthin durant les 200 dernières années a enterré son port antique sous le centre ville. Le port antique est localisé dans un talweg naturel entre le tell de l'âge du Fer à l'est et un promontoire de terre à l'ouest (**Figure 5.7**). Ce mouillage naturel fut progressivement renforcé à partir de l'âge du Fer. Le port comprend une baie profonde orientée vers le nord et abritée des vents dominants du sud-ouest. Il semble que le bassin était fermé par une ceinture de récifs gréseux partiellement immergés, et graduellement consolidés pour former un môle artificiel. Nous suggérons que Borj al-Mina servit de port extérieur pendant les âges du Bronze et du Fer (voir **Figure 5.7**), de la même façon qu'à l'île de Ziré à Sidon.

Selon Raban (1995a), les ports levantins étaient préférentiellement situés dans trois zones : (1) sur les péninsules côtières (Akko, Athlit, Sidon) ; (2) sur des îles proche du rivage (Tyr, Arwad) ; et (3) dans des lagunes et des wadis (Dor). Le modèle beyrouthin est une alliance unique de ces trois systèmes, avec un wadi, dont l'embouchure était manifestement utilisée comme mouillage pendant l'âge du Bronze, et une petite île enveloppée de deux promontoires.

La stratigraphie côtière est caractérisée par cinq phases qui couvrent les 6000 dernières années. Le maillage des carottes concerne la partie nord du bassin antique ; des données stratigraphiques complémentaires sont nécessaires plus au sud, là où le cœur des mouillages de l'âge du Bronze et du Fer reste à découvrir. Dans ce contexte, une zone intéressante de recherche est la rue Allenby, où des quais de l'âge du Fer III/ période perse ont été découverts (Elayi et Sayegh, 2000). Les sédiments à proximité de cette anse peuvent révéler des données plus précises sur l'histoire du site aux âges du Bronze et du Fer. En dépit de l'importance des investigations archéologiques, on pourrait regretter, dans les années à venir, de ne pas avoir fouillé plus en détail le bassin antique de Beyrouth, à l'instar de Marseille et de Naples (Lauffray, 1995 ; Karam, 1996 ; Naccache, 1996, 1998 ; Seeden, 1999 ; Raschka, 2006).

Chapitre 6

Beyrouth, Sidon et Tyr : 5000 ans d'interactions Homme-environnement

6.1 Quelles sont les similitudes entre les ports phéniciens ?

La chronostratigraphie des sites portuaires de Beyrouth, Sidon et Tyr esquisse de nombreuses similitudes (Figure 6.1). En effet, grâce aux archives sédimentaires, quatre périodes principales ont été identifiées durant les 5000 dernières années. En dépit d'indices archéologiques majeurs, nous avons démontré qu'une approche biosédimentologique pluridisciplinaire permet de déduire des informations sur les infrastructures portuaires antiques (Marriner et Morhange, 2007).

6.1.1 Les proto-ports de l'âge du Bronze

Les proto-ports de l'âge du Bronze ont été largement discutés dans les précédents chapitres 3, 4 et 5. Néanmoins, au cours de notre recherche, plusieurs avancées ont émergé qui méritent d'être récapitulées.

Les bancs (ou cordons) gréseux pléistocènes, orientés nord-sud, sont l'un des traits géomorphologiques caractéristiques de la côte levantine (Dubertret, 1955 ; Sanlaville, 1977 ; Frechen *et al.*, 2001, 2002, 2004 ; Sivan et Porat, 2004). Appelés « kurkar » en Israël et « ramleh » au Liban, ces affleurements de grès sont à l'origine d'une géomorphologie littorale unique, exploitée par l'Homme pendant des millénaires. En de nombreuses localités sur la côte phénicienne, l'inondation holocène de ces cordons a donné naissance à des petites îles proches du rivage, dont beaucoup ont servi de mouillage à partir de l'âge du Bronze (Raban, 1985a-c, 1995a ; Marcus 2002a-b ; Marriner *et al.*, 2006a ; Haggai, 2006).

La stabilisation du niveau de la mer en Méditerranée vers 6000 BP (Laborel *et al.*, 1994 ; Lambeck et Bard, 2000 ; Vella et Provansal, 2000 ; Morhange *et al.*, 2001 ; Sivan *et al.*, 2001) engendra la sédentarisation des sociétés humaines le long du trait de côte actuel. En Syrie, au Liban et en Israël, les sites littoraux furent préférentiellement fondés autour de baies abritées et au débouché des systèmes fluviaux (Frost, 1995 ; Raban, 1995a). Beyrouth, Sidon et Tyr, trois sites fondés au 3^{ème} millénaire avant J.-C., intègrent des îlots partiellement

submergés dans leurs modèles portuaires. En raison de la nature primitive de la navigation à cette époque (Wachsmann, 1998), les modifications anthropiques des mouillages furent négligeables. Dans les archives sédimentaires, cette période se traduit par des sables moyens à fins, dont l'accrétion débuta vers 6000 BP. L'absence de vases portuaires atteste de modestes infrastructures portuaires. Cela étant dit, on peut se demander comment les trois proto-ports fonctionnaient. Les bateaux, ou les barques, de cette période étaient généralement petits et on les tirait hors de l'eau sur les plages. Les plus grands navires de commerce étaient ancrés dans des baies abritées, les marchandises étant transportées vers la rive sur des embarcations plus légères (Frost, 2004). L'accostage côtier est corroboré par les découvertes d'ancres en pierre de l'âge du Bronze à Sidon et à Tyr, concordant avec les grandes découvertes faites à Byblos (Dunand, 1936, 1954 ; Frost, 1969a, 1970).

Vers la fin du Bronze moyen et au début du Bronze tardif, des indices archéologiques provenant du Levant sud attestent des modifications humaines de ces mouillages naturels (Raban, 1984, 1985a-c, 1987a-b, 1990, 1995a ; Marcus, 2002a-b). Avec l'expansion du commerce international, les principaux ports d'escale phéniciens devaient être sécurisés en toute saison, avec des infrastructures pour l'appontement, les réparations, la maintenance et l'entreposage des marchandises. Une riche littérature montre qu'à cette époque, des ingénieurs ont creusé des installations dans les récifs (Frost, 1995 ; Raban, 1984, 1995). Bien que ces infrastructures soient très difficiles à dater, un âge du Bronze leur a été longtemps attribué par de nombreux chercheurs (Poidebard, 1939 ; Frost, 1995 ; Viret, 2005). Il doit être noté, cependant, que ces infrastructures pourraient aussi dater de l'âge du Fer (Haggai, 2006).

Sur des bases purement stratigraphiques, l'existence de telles infrastructures portuaires à Beyrouth, Sidon et Tyr est difficile à prouver de façon certaine. A Sidon seulement, nous avons pu mettre en évidence des changements granulométriques, datés du Bronze moyen (vers 1500 ans cal. avant J.-C.). Pour une conclusion plus précise, un travail plus approfondi serait nécessaire. En effet, à Beyrouth et à Tyr, les indices d'infrastructures portuaires de l'âge du Bronze sont pauvres. Cela évoque soit : (1) l'absence d'infrastructure portuaire à cette époque ; soit (2) l'impact stratigraphique modéré de ces édifices. L'absence de faciès portuaire à Byblos, la perle de la côte phénicienne durant l'âge du Bronze, vient appuyer les découvertes à Beyrouth, Sidon et Tyr (Dunand, 1936, 1954 ; Frost, 1969a, 2002a, 2004 ; Frost et Morhange, 2000 ; Stefaniuk *et al.*, 2005). La simplicité des infrastructures à cette époque semble avoir été compensé par l'usage d'embarcations légères pour le chargement et le déchargement de navires de commerce ancrés au large (Wachsmann, 1998 ; Marcus, 2002a-b).

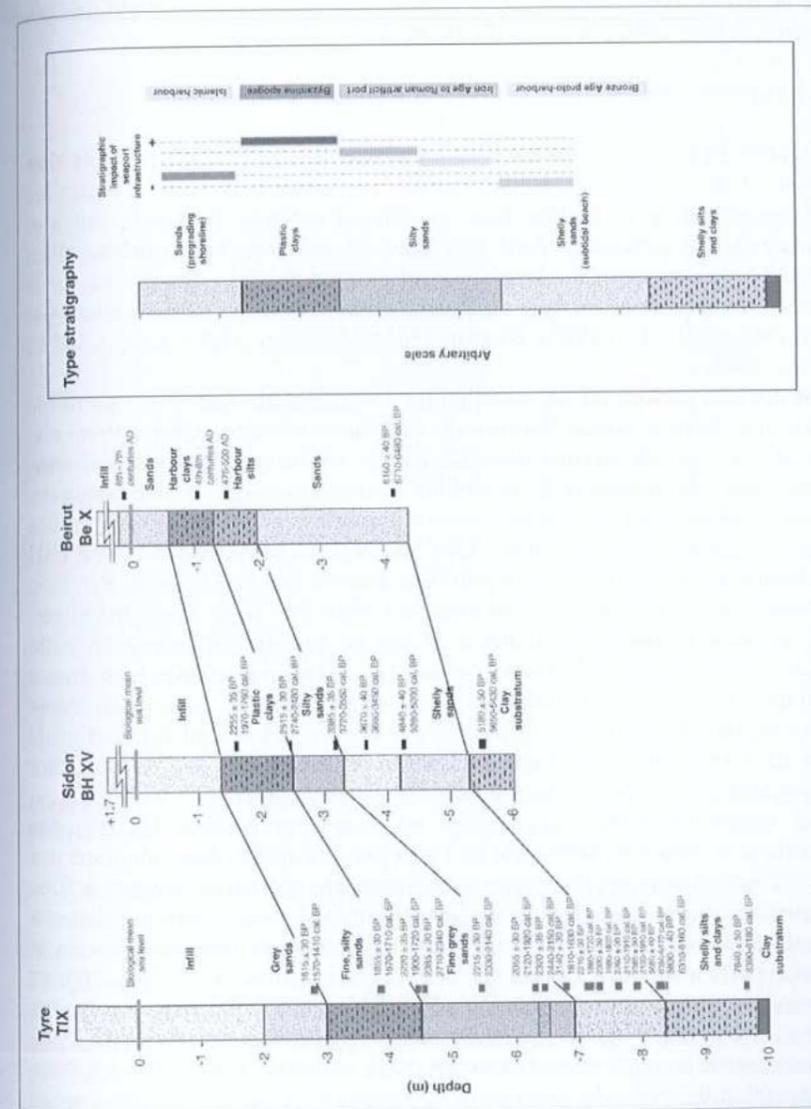


Figure 3.5 : Macrofaune de la carotte TVI.

A partir de cette première phase, on peut noter que Beyrouth, Sidon et Tyr, à l'instar d'autres ports levantins de l'âge du Bronze, sont caractérisés par des affleurements gréseux partiellement submergés, jouant le rôle de brise-lames. Dotés de ces ancrages naturels, les modifications artificielles ne furent que peu répandues (Frost, 1995 ; Marcus, 2002a-b).

6.1.2 Les ports artificiels de l'âge du Fer à la période romaine

Pendant l'âge du Fer, les données archéologiques provenant des trois sites attestent d'un commerce méditerranéen en expansion, qui poussa les populations côtières à modifier leurs mouillages naturels. Beyrouth, Sidon et Tyr jouèrent des rôles-clés dans le réseau de cabotage syro-canéen, allant d'Ashkelon au sud jusqu'à Arwad au nord (Figure 6.2). La navigation sur la côte phénicienne durant les âges du Bronze et du Fer fut, en effet, dominée par le petit cabotage (Artzy, 1985 ; Barnett, 1958 ; McCaslin, 1980 ; Knapp, 1993 ; Lipinski, 2004).

La démocratisation du fer au début du 1^{er} millénaire avant J.-C. permit la construction de plus grands bateaux de commerce (Casson, 1994 ; Pomey et Rieth, 2005). De tels navires nécessitèrent de meilleurs abris pour accoster, ainsi que des infrastructures de réparation et d'entreposage des marchandises. Malheureusement, les dragages romano-byzantins ont effacé tout indice stratigraphique de ces changements. Une seule carotte provenant de Sidon (BH XV) témoigne d'une infrastructure portuaire avancée pendant l'âge du Fer, bien que cette donnée ne soit pas suffisamment répandue pour être généralisée. Athlit, un petit comptoir phénicien à 55 km au sud de Tyr, abrite un môle artificiel daté des 9^{ème}/8^{ème} siècles avant J.-C. (Haggai, 2006). Des études stratigraphiques en cours permettront d'élucider de manière plus transparente l'impact sédimentologique des infrastructures côtières à l'âge du Fer. Les quais du Fer III à Beyrouth sont également conformes à ce modèle d'infrastructure portuaire bien développée à l'âge du Fer (Elayi et Sayegh, 2000).

Les argiles plastiques caractérisent les trois sites pendant les périodes hellénistique et romaine. Alors qu'il ne s'agit pas de l'apogée technologique des ports, leur sédimentologie témoigne d'infrastructures portuaires avancées. Des môles artificiels romano-byzantins ont été mis en évidence à la fois à Sidon et à Tyr, leur construction ayant été grandement facilitée par la découverte de la pouzzolane (Poidebard et Lauffray, 1951 ; Noureddine et Helou, 2005 ; Descamps, communication personnelle ; Hohlfelder, 1997). En effet, des études récentes ont démontré que la qualité du mortier hydraulique romain ne fut pas reproduite avant le 19^{ème} siècle (Rickman, 1988 ; Oleson *et al.*, 2004a-b). Pour une discussion détaillée des constructions portuaires romano-byzantines, nous renvoyons le lecteur à la bibliographie d'Oleson (1988), Oleson et Branton (1992) et Oleson *et al.* (2004a-b).

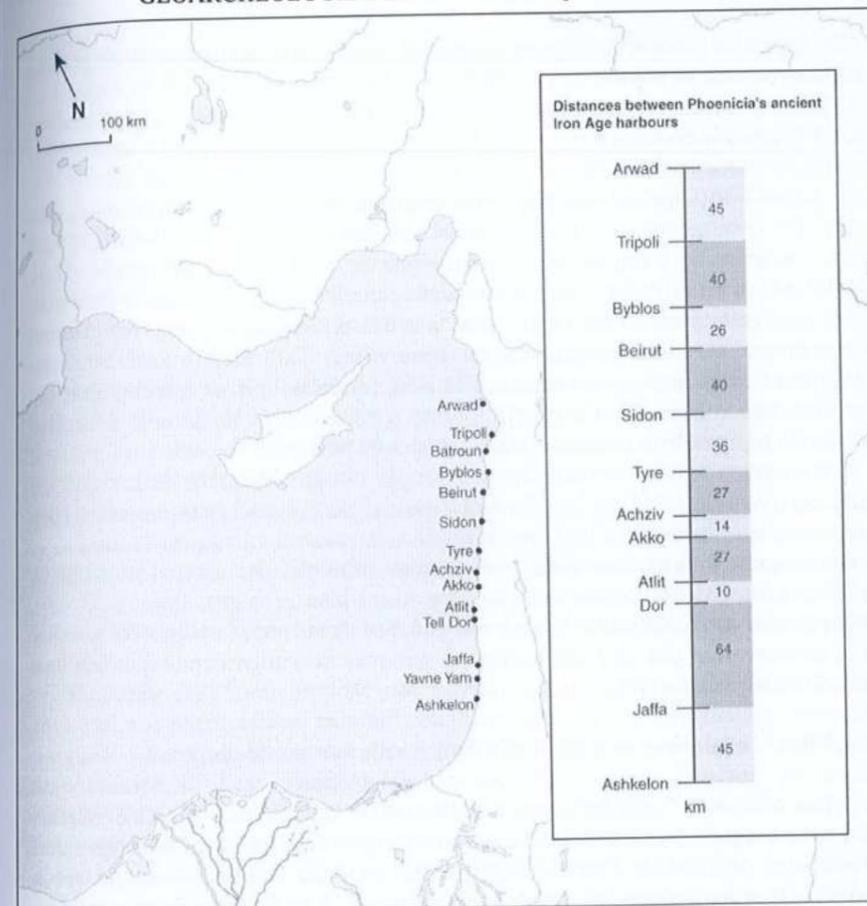


Figure 6.2 : Ports de l'âge du Fer sur la côte levantine. En encadré : distances entre les ports d'escale voisins.

Des vitesses de sédimentation élevées menaçaient la viabilité des sites portuaires à long terme, d'où les curages répétés des bassins (Marriner et Morhange, 2006a ; Marriner *et al.* 2006b). Ailleurs en Méditerranée, l'hégémonie romaine est marquée par le remodelage des sites portuaires principaux (Rickman, 1988). Bien que par endroit, des rades complètement artificielles aient été aménagées, les Romains choisirent de renforcer les ports préexistants et, dans bien des cas, refaçonnèrent de manière considérable la morphologie des mouillages (Arnaud, 2005). Bien que nous n'ayons que très peu d'indices architecturaux de ces remodelages à Beyrouth, Sidon et Tyr, d'importantes discontinuités chronostratigraphiques témoignent des modifications. A cette époque, les trois établissements furent des cités-clés de la

côte levantine, requérant des stratégies de gestion portuaire efficaces pour le commerce et le transport.

6.1.3 L'apogée byzantin

En 448-450 après J.-C., Beyrouth acquit le statut de métropole, rejoignant ainsi Tyr comme une des cités-clés de la Méditerranée (Mikati et Perring, 2006). A ce moment-là, l'empire byzantin atteignit le zénith de sa prospérité (Hall, 2004) qui se traduit par l'apogée technologique de ces trois ports. A Beyrouth et Sidon, cette période est caractérisée par des argiles plastiques, typiquement portuaires. Une unité semblable est observée à Tyr, bien qu'ici le faciès comprenne des limons et sables fins. La consolidation des techniques de construction romaines, alliée à l'importance économique de la côte levantine durant la période byzantine, explique cet apogée portuaire.

En termes biosédimentologiques, l'apogée romano-byzantin est marqué par une augmentation de l'espèce *Cyprideis torosa* sur les trois sites, en cohérence avec des bassins hyposalins. Des assemblages macrofaunistiques lagunaire et vaseux caractérisent ces faciès. A aucun autre niveau dans les archives sédimentaires, nous n'observons de ports aussi bien protégés. Pour Beyrouth, l'importante artificialisation côtière des 200 dernières années n'a pas été propice à la conservation des vestiges portuaires antiques et nous n'avons que très peu d'indices sur leur nature.

6.1.4 Ports islamique et médiéval : transformation ou déclin ?

Les 6^{ème} et 7^{ème} siècles après J.-C. marquent un tournant dans l'évolution des trois bassins. Des unités de granulométrie grossière attestent d'un abandon partiel des ports et de l'ensablement partiel de leurs bassins. Bien que nous ayons brièvement abordé ce sujet aux chapitres 3, 4 et 5, le déclin de ces trois ports évoque une crise régionale majeure. Quatre hypothèses sont avancées pour expliquer le déclin des ports après l'apogée byzantin.

6.1.4.1 Historique

Du 6^{ème} au 8^{ème} siècle après J.-C. il y eut une période de bouleversements géopolitiques majeurs lorsque les superpuissances byzantine, perse et arabe rivalisèrent pour le contrôle du Levant et de son importante façade maritime (Kaegi, 2005). Durant le 6^{ème} siècle après J.-C., l'empire byzantin fit face à de nombreuses calamités incluant les invasions perses, les dépenses excessives de Justinien et l'explosion de l'épidémie de peste en 542 après J.-C. (Mitchell, 2006). Affaibli par ces troubles internes, le contrôle byzantin du bassin levantin subit une crise sérieuse devant l'expansion des forces arabes au 7^{ème} siècle après J.-C. (Kaegi, 2005). Son armée finit par être vaincue en 636 après J.-C. à la

bataille de Yarmuk. Dans la période qui suivit, les forces islamiques se saisirent de Damas et de Jérusalem, et prirent le contrôle des ports maritimes phénico-judéens. Les indices archéologiques provenant de Beyrouth et Sidon soutiennent l'hypothèse d'une diminution du commerce international aux 6^{ème} et 7^{ème} siècles après J.-C., ce qui est compatible avec des changements profonds dans le réseau commercial de la Méditerranée orientale (Pirenne, 1937; Elayi et Sayegh, 2000 ; Doumet Serhal, 2003, 2004a).

Pendant et après ces permutations de pouvoir, on suppose que l'infrastructure portuaire tomba en délabrement (Marriner *et al.*, 2006a). A priori, nos données sédimentologiques sont largement cohérentes avec ces interprétations. Néanmoins, une nouvelle école de recherche historique tend à modérer cet argument d'un déclin général des ports « syriens » après la période byzantine (Lewis, 1951 ; Fahmy, 1966 ; Borrut, 1999-2000 ; Sourdel et Sourdel-Thomine, 1989). Certains historiens prétendent même que la côte levantine devint le berceau du développement maritime islamique (Borrut, 2001). Des sources historiques évoquent trois ports levantins pivots, Acre, Tyr et Tripoli, alors que les autres ports disparaissent de la carte maritime. Acre et Tyr étaient, par exemple, des centres importants de construction navale aux 9^{ème} et 10^{ème} siècles après J.-C. D'un autre côté, on spéculait que Beyrouth fut réduite à une petite ville de pêche, dans une zone frontalière entre deux empires en conflit (Mikati et Perring, 2006).

Kennedy (1985a-b) propose une hypothèse alternative, selon laquelle les cités côtières phéniciennes auraient connu une période de déclin avant même la conquête islamique. Il cite des théâtres abandonnés, une réduction de la taille des thermes et des changements du cadastre comme preuves de cette transformation. Pour lui, les cités levantines post-byzantines ont connu l'un des trois scénarios suivants : (1) certaines comme Damas et Alep prospérèrent ; (2) d'autres continuèrent à décliner (notamment les cités côtières) ; et (3) un troisième groupe, composé principalement de villes intérieures, ne subit pas de changement notable. Ce témoignage tendrait à prouver un renforcement des routes caravanières au détriment du cabotage maritime, où seuls quelques ports continuèrent à prospérer (e.g. Acre, Tyr et Tripoli).

Nos données stratigraphiques indiquent une progradation côtière rapide à partir du 6^{ème} siècle après J.-C., entraînant la déformation et le déplacement des bassins de Beyrouth, Sidon et Tyr. Bien que plus petits, il est difficile de définir avec précision les dimensions de ces ports alors que les archives sédimentaires post-byzantines sont aujourd'hui localisées sous le bassin actuel, peu accessible. En somme, les points de vue divergent quant à la chronologie et l'échelle des changements. La chronostratigraphie portuaire ne nous permet pas d'apporter plus de précisions à cette question, mais simplement de confirmer la tendance générale du déclin.

6.1.4.2 Tectonique

Beyrouth, Sidon et Tyr attestent d'une activité sismique importante durant la période romaine tardive (Figures 6.3 et 6.4). Quelles sont les indices géomorphologiques et archéologiques en faveur de ces mouvements ?

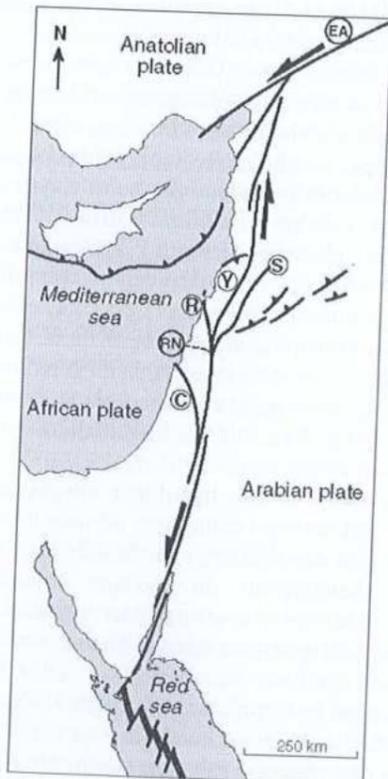


Figure 6.3 : Contexte tectonique du système de failles de la Mer Morte (Dead Sea Transform fault system). C – Faille Carmel ; R – Faille Roum ; Y – Faille Yammouneh ; S – Faille Serghaya ; RN – Faille Rosh Hanikra/Ras Nakoura, EA – Faille de l'est anatolien.

(1) A Tyr, de nouvelles données archéologiques et stratigraphiques confortent l'hypothèse d'un effondrement tectonique d'environ 3 m dans une fenêtre chronologique relativement étroite (Figures 6.5-6.7). Deux types de preuves existent. (i) Archéologiques : a priori, l'ouverture du port de Tyr a été amplifiée par l'effondrement de l'île à l'époque romaine tardive. Son môle romain nord est actuellement localisé à 2,5 m sous le niveau de la mer (Descamps, communication personnelle), ce qui traduit une subsidence d'environ 3 à 3,5 m.

Sur le rivage sud, des murs et des carrières submergés à -2,5 m ont aussi été découverts (El Amouri *et al.*, 2005 ; Figures 6.5 et 6.6). (ii) Stratigraphique : une subsidence similaire est attestée dans la stratigraphie littorale du site, notamment un décalage d'environ 3 m dans l'espace d'accumulation sédimentaire entre Tyr et Sidon (Figure 6.14).

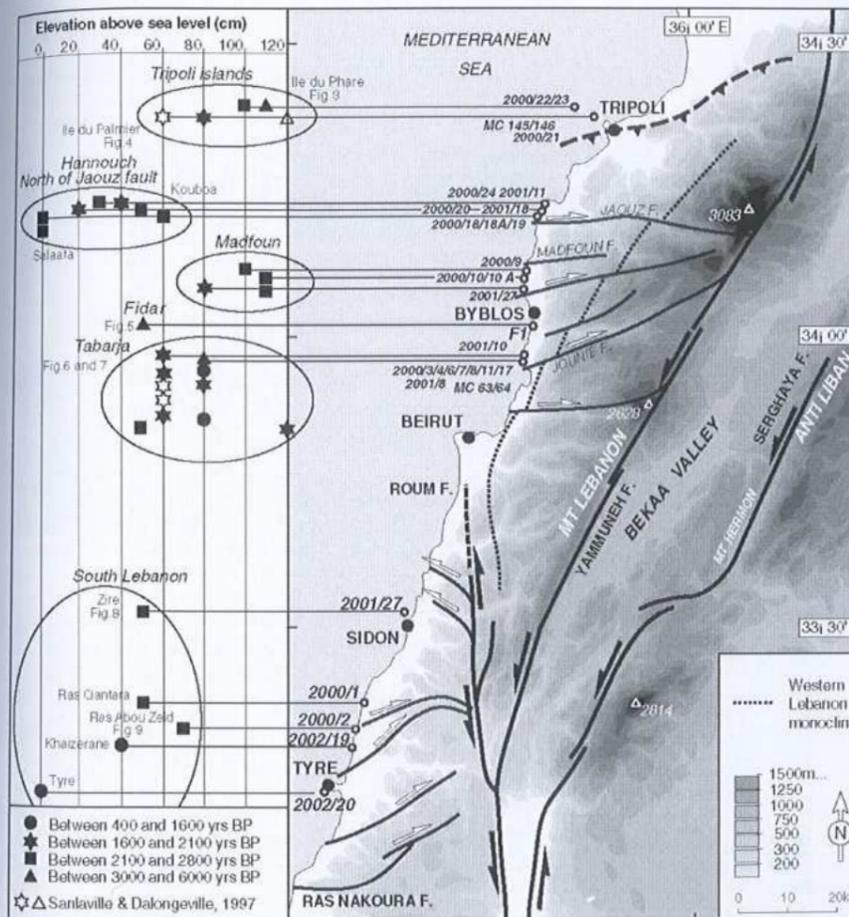


Figure 6.4 : Carte structurale du Liban et des régions adjacentes. L'emplacement des échantillons et leur élévation correspondante au-dessus du niveau de la mer sont indiqués à gauche de la figure (d'après Morhange *et al.*, 2006b).

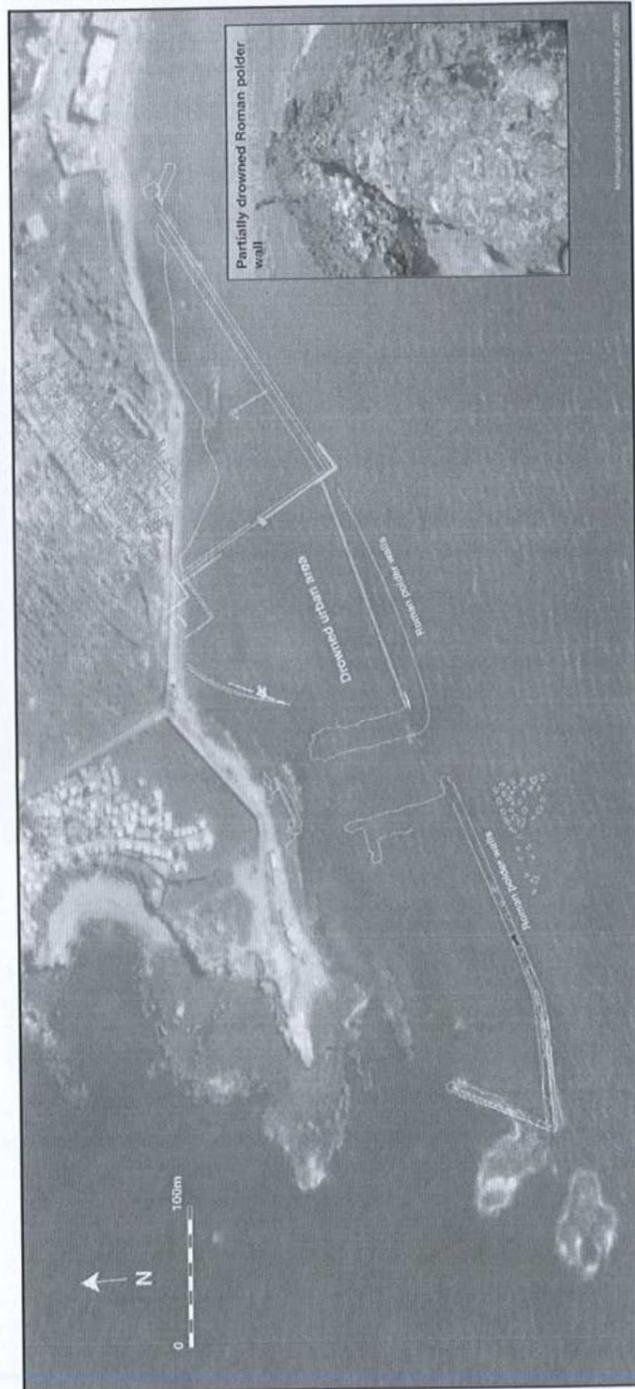


Figure 6.5 : Quartier sud de Tyr submergé sous 3 m d'eau.



Underwater surveys in Tyre's drowned urban quarters



Drowned urban structure south of Tyre (2.5 m below MSL)



Quarry on the coastal fringe of Tyre



Drowned quarry south of Tyre



Drowned urban structure believed to be a street roadway



Roman pillar

Figure 6.6 : Vestiges archéologiques submergés du quartier urbain sud de Tyr (toutes les photographies proviennent du projet de plongée 2002 de l'UNESCO dirigé par C. Morhange).

(2) A **Sidon**, par contre, les données du niveau de la mer montrent un changement inférieur à celui observé à Tyr, autour de +50 cm depuis l'Antiquité (Marriner et Morhange, 2005), encore que le même faciès de sables grossiers soit observé sur les deux sites. Ces données contrastées tendraient à suggérer que les changements tectoniques de la période romaine tardive ne peuvent à eux seuls expliquer le déclin des ports antiques de la Phénicie.

(3) A **Beyrouth**, beaucoup de preuves écrites et archéologiques attestent d'un tremblement de terre durant le milieu du 6^{ème} siècle après J.-C. (Russell, 1985 ; Guidoboni *et al.*, 1994 ; Saghieh Beidoun, 1997 ; Darawcheh *et al.*, 2000 ; Harajli *et al.*, 2002). Le récit d'Agathias (Mikati et Perring, 2006) donne un aperçu de ce désastre : « [...] the lovely city of Berytus, the jewel of Phoenicia, was completely ruined and its world-famous architectural treasures were reduced to a heap of rubble, practically nothing but the bare pavements of the buildings being left. Many of the local inhabitants were crushed to death under the weight of the wreckage [...]. The restored city was very different from what it had been in the past, though it was not changed beyond recognition, since it still preserved a few traces of its former self ».

Des fouilles récentes nous donnent la conviction que les sources antiques n'ont guère exagéré le niveau de destruction causé par cet événement (Curvers et Stuart, 2004). De nouvelles recherches menées sur plusieurs sites confirment l'étendue des dommages causés par le tremblement de terre (Elayi et Sayegh, 2000). Parmi les conséquences, Beyrouth subit des changements dans son commerce, sa production et sa consommation de biens. L'archéologie montre aussi que beaucoup de secteurs de la cité furent laissés à l'abandon, avec peu de reconstruction. Mikati et Perring (2006) présentent un modèle de « continuité » malgré la dégradation de l'infrastructure urbaine après le séisme à Beyrouth. La datation de rivages surélevés au nord de la ville rend compte d'un soulèvement de 50 à 80 cm (Morhange *et al.*, 2006b).

6.1.4.2.1 Déformations régionales du rivage pendant la période romaine tardive

La présence de deux rivages holocènes surélevés le long de la côte libanaise a suscité l'intérêt des chercheurs pendant plusieurs décennies (Sanlaville, 1977 ; Sanlaville *et al.*, 1997). Morhange *et al.* (2006b) ont récemment publié de nouvelles datations radiocarbones sur ces rivages soulevés, élucidant deux principaux niveaux marins holocènes : (1) un niveau plus élevé à environ +120 - +140 cm, qui dura de 6000 à 3000 BP. Sur la côte voisine de la Syrie et de la Turquie, ce rivage élevé atteste d'un ajustement séismotectonique vers 3000 BP, avec une amplitude décroissante de la Turquie au sud Liban (Pirazzoli, 2005) ; (2) un rivage inférieur à environ +80 ±40 cm, développé entre 2700 BP

et le 6^{ème} siècle après J.-C. Les bioindicateurs provenant de ce rivage inférieur sont datés de la période romaine tardive. Ces rivages soulevés résultent de l'activité de la faille de Yammunch et de Roum-Tripoli, à l'origine d'un glissement le long des failles transversales (Figure 6.4). Les données sur Tyr indiquent que la faille de Rosh Hanikra/Ras Nakoura marque la frontière sud des déplacements levantins verticaux, sans que la preuve d'un soulèvement côtier à l'Holocène ne soit rapportée pour Carmel (Figure 6.7 ; Sivan *et al.*, 2001). Cela est confirmé par la relative stabilité de son archéologie côtière, qui inclut, par exemple, le bassin à poisson romain d'Achziv vers le zéro biologique actuel (Raban et Galili, 1985 ; Galili *et al.*, 1988 ; Galili et Sharvit, 1998). Nous concluons que la zone tectonique charnière de Rosh Hanikra/Ras Nakoura est située entre Tyr et Achziv.

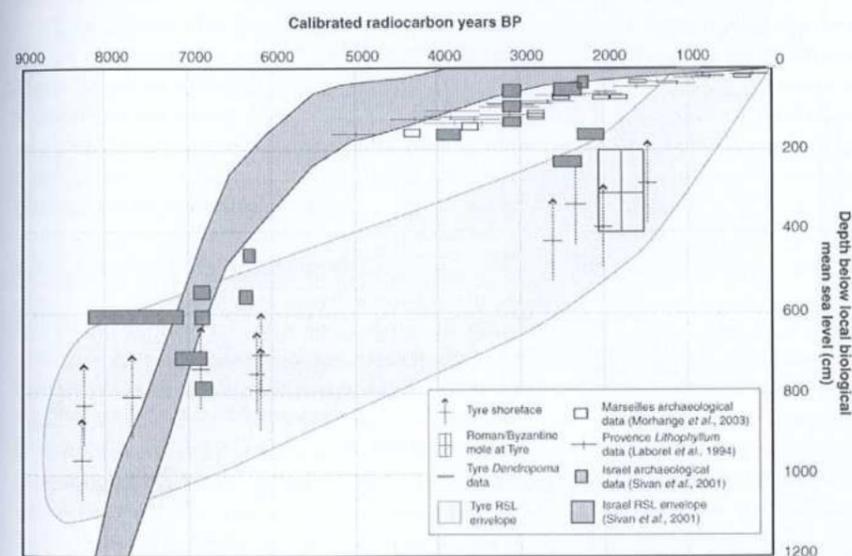


Figure 6.7 : Tendances du niveau relatif de la mer à Tyr depuis 8000 BP.

Quels sont les traits caractéristiques du soulèvement au Liban pendant la période romaine tardive ? Depuis Tripoli au nord du Liban (rivages entre 80 et 120 cm), le soulèvement décroît en intensité dans la zone de Beyrouth (Sanlaville, 1977), augmentant à nouveau dans le secteur de Sidon, où il reste cependant plus bas que dans le nord du pays. Par contraste, les indices géoarchéologiques sur le horst tyrien révèlent un effondrement d'environ 3 m depuis l'époque romaine (Marriner *et al.*, 2006a). Cette répartition géographique de soulèvement et de subsidence révèle un basculement des panneaux tectoniques liés aux failles, accompagnés de mouvements verticaux

différentiels au travers de Jaouz, Madfoun, Jounieh et des failles orientées E.-N.E. dans le secteur de Tyr. L'élévation tectonique sur chacun des sites varie en fonction : (1) de la distribution spatiale du vecteur de glissement sur le plan de faille ; (2) de la distance du site au plan de faille ; et (3) des hétérogénéités locales dans la déformation de surface. Le rôle précis des failles libanaises transverses reste donc ouvert au débat, en attendant une meilleure résolution spatiale des indicateurs du soulèvement.

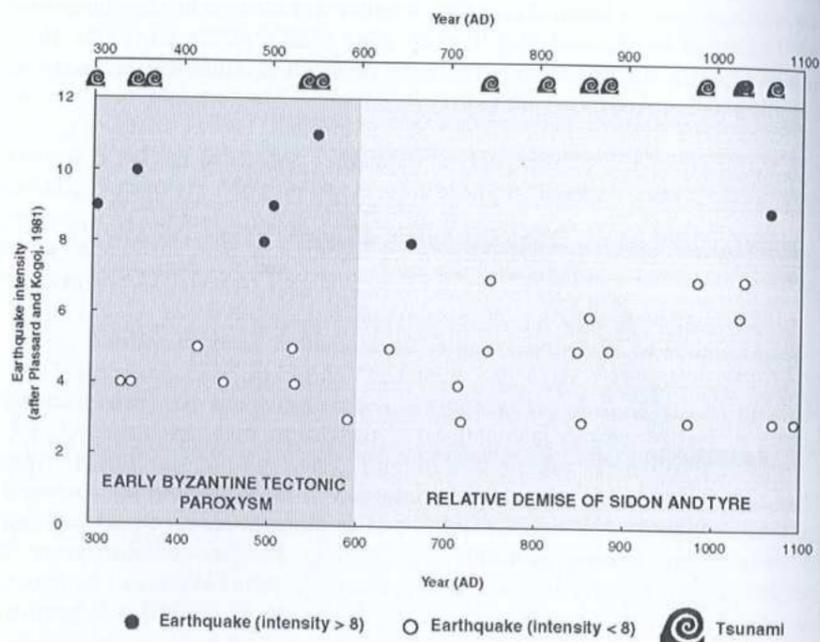


Figure 6.8 : Chronologie des tremblements de terre et des tsunamis qui ont marqué la côte levantine entre 300 et 1100 après J.-C. Données compilées d'après Ambraseys (1962), Plassard et Kogoj (1981), Russell (1985), Guidoboni *et al.*, (1994), Darawchek *et al.* (2000) et Soloviev *et al.* (2000).

Il est difficile d'affirmer avec certitude si, oui ou non, le soulèvement du rivage inférieur a résulté d'un événement sismique singulier ou de plusieurs grands tremblements de terre entre le 4^{ème} et le milieu du 7^{ème} siècle après J.-C. (Stiros, 2001). La côte levantine fut particulièrement affectée par le tremblement de terre de 551 après J.-C. (Plassard, 1968 ; Russell, 1985 ; Saghieh Beidoun, 1997) ; cependant attribuer le plus bas rivage soulevé à un événement sismique unique est sujet à controverse. Etant donné l'étendue et la variété des soulèvements, sur plus de 500 km de côte, il est difficile d'invoquer

le scénario d'un seul tremblement de terre. D'un autre côté, la déformation du rivage inférieur correspond à une fenêtre chronologique étroite, évoquant une période relativement courte d'intense activité sismique. Selon diverses sources (Plassard et Kogoj, 1981 ; Russell, 1985), il est intéressant de noter que durant le *Early Byzantine Tectonic Paroxysm* de Pirazzoli (1986), une série de cinq séismes de magnitude ≥ 8 sont documentés sur la côte levantine contre seulement deux de 600 à 1100 après J.-C. (échelle *sensu* Plassard et Kogoj, 1981).

Les résultats de Morhange *et al.* (2006b) décrivent une stabilité du niveau relatif de la mer depuis 1000 BP. Cette stabilité est documentée par trois types d'indicateurs, archéologique, biologique (développement de cordons de *Dendropoma*) et géomorphologique (plateforme d'abrasion au niveau moyen actuel).

Les indices stratigraphiques provenant des trois ports démontrent que leur déclin est centré sur les 6^{ème}/8^{ème} siècles après J.-C. Ces données indiquent un léger décalage chronologique entre la crise sismique du 4^{ème} au 6^{ème} siècles et l'ouverture des ports du 6^{ème} au 8^{ème} siècle (Pirazzoli, 1986, 2005 ; Pirazzoli *et al.*, 1996). La Figure 6.8 détaille les tremblements de terre et les tsunamis sur la côte levantine, illustrant les multiples chocs sismiques pouvant provoquer des dommages partiels aux ports.

6.1.4.2 L'impact des tsunamis

Etant donné la stratigraphie quasi identique des trois sites, nous pouvons conclure que les changements relatifs du niveau de la mer ont joué un rôle mineur dans la stratigraphie des ports. Cette différence nous conduit à modérer l'importance de l'effondrement tectonique par rapport aux impacts tsunamogéniques documentés. En effet, plus de dix tsunamis ont frappé la côte levantine entre les 4^{ème} et 11^{ème} siècles après J.-C., endommageant sérieusement les infrastructures portuaires (Ambraseys, 1962 ; Guidoboni *et al.*, 1994 ; Soloviev *et al.*, 2000). L'événement le mieux documenté est le tsunami de 551 après J.-C. qui a frappé la côte phénicienne à Beyrouth, Sidon et Tyr. Des preuves archéologiques provenant du port antique de Beyrouth soulignent l'étendue des dommages portuaires (Mikati et Perring, 2006).

6.1.4.3 Climatologie

Riche de plusieurs archives paléoclimatiques à haute résolution, le Levant a fourni une mesure indépendante de la chronologie, de l'amplitude et de la durée d'événements climatiques passés (Figure 6.9 ; Bar-Matthews *et al.*, 1997, 1998 ; Schilman *et al.*, 2002 ; Enzel *et al.*, 2003 ; McGarry *et al.*, 2004 ; Devillers, 2005 ; Rosen, 2006). Ces séries temporelles indiquent que le climat levantin à l'Holocène fut bien plus variable que ce que l'on avait cru auparavant

(Schilman *et al.*, 2001). De manière significative, la transition byzantino-islamique correspond à une aridification du bassin levantin. Une chute brutale de la pluviométrie est enregistrée dans nombre de données paléohydrologiques locales et des enregistrements isotopiques d'oxygène (Stiller *et al.*, 1983 ; Frumkin *et al.*, 1991 ; Bar-Matthews *et al.*, 1997 ; Lemcke et Sturm, 1997 ; Schilman *et al.*, 2002 ; Enzel *et al.*, 2003 ; McGarry *et al.*, 2004). Dans la Mer Morte, par exemple, une baisse prononcée des niveaux d'eau entre le 5^{ème} et la fin du 8^{ème} siècles après J.-C. correspond à une période de sécheresse régionale prolongée (Enzel *et al.*, 2003). Des enregistrements isotopiques marins et terrestres, entre 1300 et 900 BP, montrent une augmentation similaire en volume de $\delta^{18}\text{O}$ ($\Delta\delta^{18}\text{O} \sim 0.5\text{‰}$), indiquant le développement de conditions plus sèches (Bar-Matthews *et al.*, 1999 ; Schilman *et al.*, 2002). Cette aridité accrue a été attribuée à la diminution des dépressions cycloniques affectant le Levant sud à cette époque.

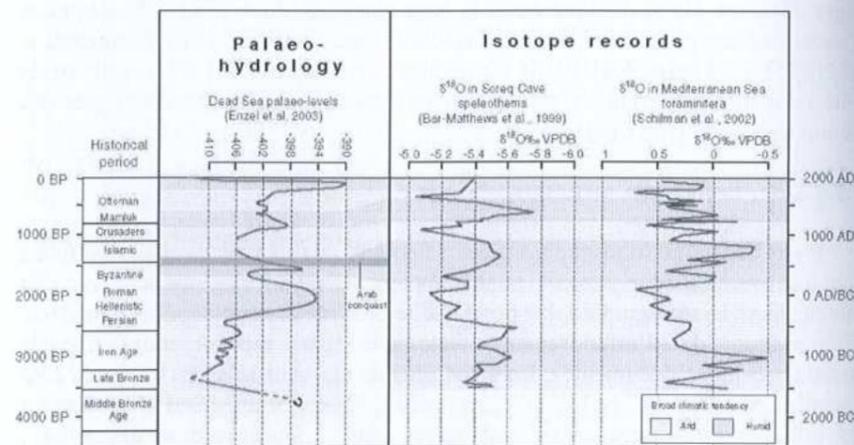


Figure 6.9 : Enregistrement paléoclimatique du bassin levantin (Bar-Matthews *et al.*, 1999 ; Schilman *et al.*, 2002 ; Enzel *et al.*, 2003).

Etant donné que la stabilité de la société byzantine était basée sur l'agriculture, une détérioration climatique a conduit certains chercheurs à établir une causalité directe entre le déclin byzantin et l'augmentation de l'aridité (Issar, 2003). Bien que ce facteur soit important, la tendance actuelle attribuant les déclin culturels aux modifications climatiques doit être modérée (Yoffee et Cowgill, 1988 ; Weiss *et al.*, 1993 ; Butzer, 1996 ; Tainter, 1998 ; Peiser, 1998 ; Cullen *et al.*, 2000 ; Webster, 2002 ; Berglund, 2003 ; Haug *et al.*, 2003 ; Rosen et Rosen, 2001 ; Rosen, 2006). Ces changements ne se font pas nécessairement au détriment de tous, ou ne sont pas négatifs dans tous leurs aspects, et la

tentation d'attribuer le changement sociétal au seul déterminisme environnemental doit être évitée.

6.1.5 Remarques de conclusion

On peut plausiblement avancer l'idée que le Levant fut une des régions les plus riches de l'empire byzantin pendant les premiers siècles de son existence (Hall, 2004). Ce fut à cette époque que la zone connut une hausse démographique considérable, attestée par la croissance urbaine et le développement de l'agriculture. L'image globale d'une colonisation rurale et d'une production agricole riche est avérée dans les communautés de la Grande Syrie jusqu'au milieu du 6^{ème} siècle après J.-C. (Kennedy, 1985a).

Le déclin des ports antiques phéniciens, clairement traduit dans les archives sédimentaires, doit être nuancé sur un certain nombre de points. Nous voudrions insister sur deux d'entre eux : (1) Tout d'abord, le déclin fut relatif. Après son apogée technologique pendant les périodes romaine tardive et byzantine, nous observons une médiévalisation des trois cités sur le modèle des médinas arabes. L'émergence de nombreux sites à l'intérieur des terres, du 6^{ème} au 8^{ème} siècle après J.-C., a conféré de l'importance aux routes caravaniers. A Beyrouth, Sidon et Tyr, les indices archéologiques traduisent un déclin des importations méditerranéennes, laissant entendre que ces établissements tournèrent leur activité vers l'intérieur de la péninsule arabique. (2) Attribuer le déclin à une catastrophe historique ou naturelle est difficile. La détérioration de la façade maritime du Levant semble avoir été engendrée par des décennies de maladies, désastres naturels, changement climatique et conflits militaires, bien qu'il soit impossible d'accorder plus de poids à l'un ou l'autre facteur.

Sur la base des observations faites sur les trois ports, pouvons-nous proposer un modèle pour les ports phéniciens et leur évolution ? Raban (1995a) a largement travaillé sur plusieurs sites portuaires des âges du Bronze et du Fer en Israël. Nos données sur la côte libanaise sont complémentaires de cette recherche et ajoutent une dimension géoarchéologique, absente des recherches précédentes. Plusieurs tendances stratigraphiques et structurales frappantes existent.

(1) **Structurales.** Nous distinguons quatre types de ports : (i) les ports **péninsulaires** (Akko, Athlit, Sidon) ; (ii) les ports **insulaires** (Tyr, Arwad, Ziré) ; (iii) les ports **lagunaires** (Paléo-Tyr, Dor) ; et (iv) les ports **mixtes**. Le modèle beyrouthin est un amalgame unique appartenant à cette dernière catégorie, comprenant un wadi submergé dont le débouché était utilisé comme ancrage durant l'âge du Bronze, et une petite île noyée enveloppée de deux promontoires.

(2) **Stratigraphiques.** En ce qui concerne les ports côtiers, l'évolution des techniques est bien documentée par la stratigraphie. Trois types d'ancrage sont distingués. (i) **Les proto-ports.** Les sociétés de l'âge du Bronze exploitèrent la géomorphologie côtière pour établir des mouillages naturels dans les environnements protégés (plages de poche, wadis, lagunes). L'impact stratigraphique de ces ports a été limité. (ii) **Les ports semi-artificiels de l'âge du Fer.** En termes technologiques, ce type de port est à mi-chemin entre les ancrages naturels et les ports complètement artificiels. La stratigraphie de ce deuxième groupe est caractérisée par un faciès de sables fins limoneux qui indique un renforcement artificiel des affleurements protecteurs. (iii) **Les ports artificiels romain et byzantin.** A cette époque, des rades naturelles n'étaient plus indispensables à la fondation d'un port. A Beyrouth, Sidon et Tyr cette période est marquée par une importante phase d'artificialisation côtière et de remodelage portuaire. Les sédiments sont typiquement caractérisés par des argiles plastiques.

6.2 Préservation du patrimoine côtier du Liban

La mer a joué un rôle fondamental dans l'histoire de la côte phénicienne, servant d'importante voie de communication entre l'ancien Proche Orient et la Méditerranée (Haldane, 1993 ; Casson, 1994 ; Katzenstein, 1997 ; Aubet, 2001). Dans ce contexte, la côte syro-palestinienne est une aire géographique essentielle pour comprendre l'évolution des activités maritimes (Basch, 1987 ; Ilan, 1995 ; Raban, 1997b ; Wachsmann, 1998 ; Marcus, 2002a-b ; Pomey et Rieth, 2005). Nos recherches récentes ont éclairci plus de 5000 années d'interactions Homme-environnement, soulignant l'importance archéologique de Beyrouth, Sidon et Tyr pour comprendre l'évolution des technologies, de l'infrastructure et des paysages portuaires entre l'âge du Bronze et la période islamique (Morhange et Saghieh-Beydoun, 2005 ; Marriner *et al.*, 2005, 2006a-b, 2007 ; Marriner et Morhange, 2006a-b). Cette étude a facilité l'identification des zones archéologiques sensibles, en dressant un répertoire des ressources culturelles présentes sur chaque site. L'idée d'établir un cadre pour organiser la protection et la gestion de l'archéologie littorale phénicienne, sans équivalent en Méditerranée, doit être traitée d'urgence. Des agences locales (mairies), nationale (le Département des Antiquités du Liban) et internationales (Association Internationale pour la Sauvegarde de Tyr [AIST], *Lebanese British Friends of the National Museum* [LBFNM] *UNESCO World Heritage Commission*) doivent travailler ensemble sur trois domaines : (1) la protection de l'héritage archéologique exceptionnel de Beyrouth, Sidon et Tyr (voir Doumet-Serhal, 2004a) ; (2) la sensibilisation publique pour une prise de conscience élargie de l'importance du patrimoine culturel phénicien ; et (3) l'encouragement à la recherche archéologique aux niveaux local, national et international. Cela inclut des projets pour le développement du tourisme culturel comme source de développement durable (Frost, 1990 ; Franco, 1996).

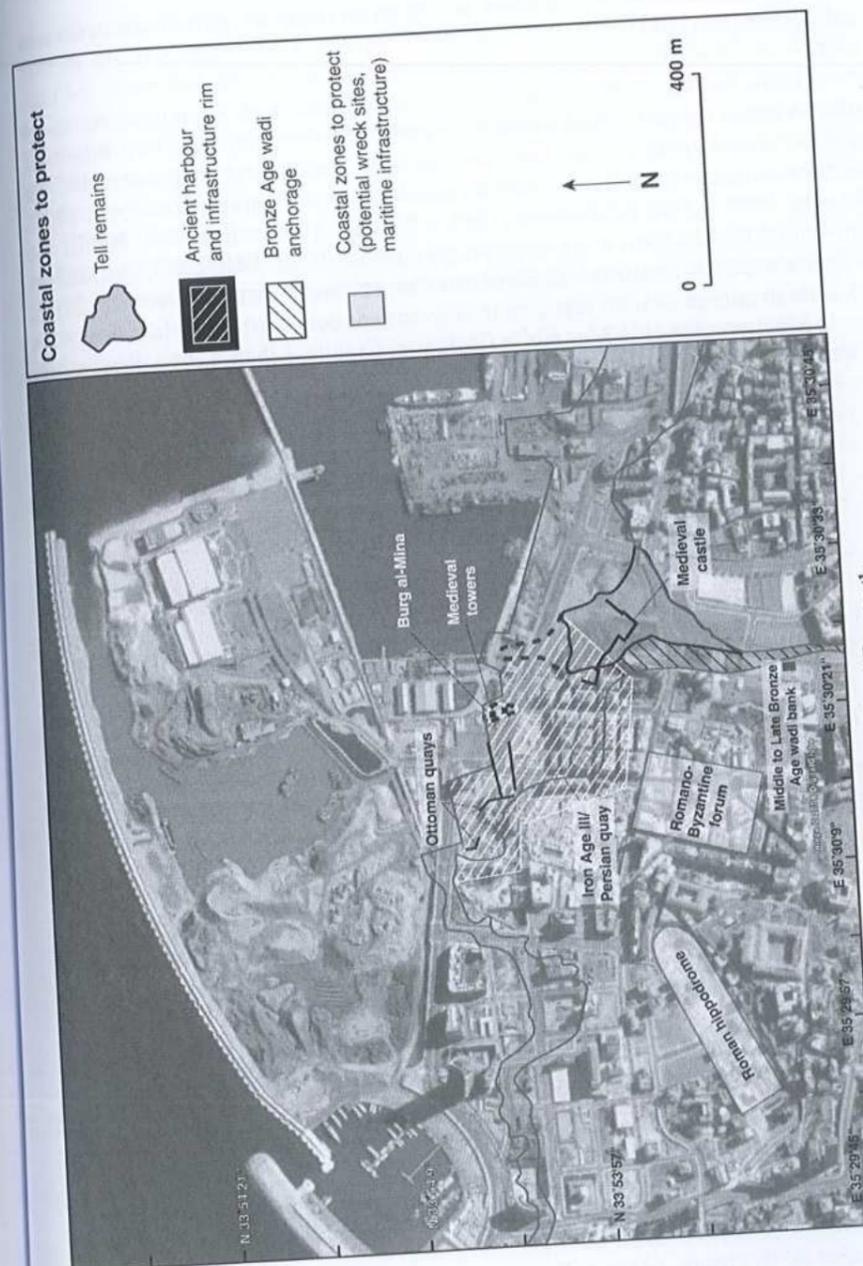


Figure 6.10 : Carte des zones archéologiques sensibles à Beyrouth.

6.2.1 Le Liban et la Convention sur la protection du patrimoine culturel subaquatique (2001)

Depuis 2000, le Liban connaît un développement économique rapide illustré par la modernisation de ses plus grandes villes littorales. Il est impératif que ce développement soit entrepris dans le contexte d'un programme de gestion culturelle clairement défini, évitant les erreurs du passé (Lauffray, 1995 ; Karam, 1996 ; Naccache, 1996, 1998 ; Seeden, 1999 ; Raschka, 2006). En janvier 2007, le Liban a signé le programme 2001 de l'UNESCO intitulé la « Convention sur la protection du patrimoine culturel subaquatique ». En 2007, 15 états membres avaient signé cette convention, dont sept possédant des côtes sur la Méditerranée et la Mer Noire (Bulgarie, Croatie, Liban, Libye, Roumanie, Espagne et Ukraine). Il est significatif que le Liban soit le seul état du Levant à avoir signé cette convention. Une liste complète des 35 articles définissant cette convention et ses objectifs peuvent être consultés sur le lien : http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=13520&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html.

Dans ce travail, nous souhaitons passer en revue les questions de protection du patrimoine archéologique associées à la côte libanaise. A condition que ce pays puisse effectivement gérer son héritage culturel sous-marin, en accord avec les exigences de l'UNESCO, alors nous croyons qu'il pourrait servir de modèle pour ses pays voisins. Il est important de souligner que le rivage levantin est le berceau de la technologie maritime, possédant les plus longues archives de la Méditerranée.

Les ressources archéologiques de Beyrouth, Sidon et Tyr peuvent se diviser en deux catégories principales : les vestiges maritimes « à terre » (ports colmatés, rivages enterrés, infrastructures maritimes ensevelies et épaves) et les contextes archéologiques « en mer » (épaves et terres submergées). Chaque aire géographique correspond à un espace de recherche distinct, avec des problèmes de gestion et de conservation qui lui sont propres (Langley et Unger, 1984 ; Firth et Ferrari, 1992 ; Woodall, 1993). Parmi les trois sites, seul Tyr figure sur la liste du Patrimoine Mondial de l'UNESCO pour l'importance de ses vestiges archéologiques (depuis 1984).

6.2.2 L'infrastructure maritime (échelle portuaire)

Les zones entourant les ports actuels sont riches en monuments et vestiges archéologiques, témoignant d'une histoire d'occupation humaine complexe. A travers une approche géoarchéologique pluridisciplinaire, nous avons identifié plusieurs zones importantes sur le front de mer (Figures 6.10-6.13) permettant de retracer l'évolution de l'infrastructure maritime ainsi que l'expansion des activités maritimes depuis l'âge du Bronze (Marriner *et al.*, 2005, 2006a-b, 2007 ; Marriner et Morhange, 2006a-b). De nos jours, les cœurs des principaux mouillages de Beyrouth, Sidon et Tyr reposent sous les centres villes, ensevelis

sous des couches de sédiments côtiers. Par exemple, les ports de Sidon et Tyr sont à présent enfermés à environ 100-200 m du front de mer actuel. Des fouilles récentes menées à Marseille (Hesnard, 1995, 2004a-b) et Naples (Giampaola *et al.*, 2004) ont démontré que ces sédiments ne sont pas seulement de riches archives historiques, éléments-clés pour comprendre comment les sociétés antiques modifièrent l'environnement côtier, mais que les vases portuaires anoxiques permettent aussi de préserver les infrastructures portuaires au fil des millénaires. A présent, il serait nécessaire d'entreprendre plus de recherches sur les installations en rapport avec la construction et l'approvisionnement des bateaux durant l'Antiquité, et leur évolution dans le temps.

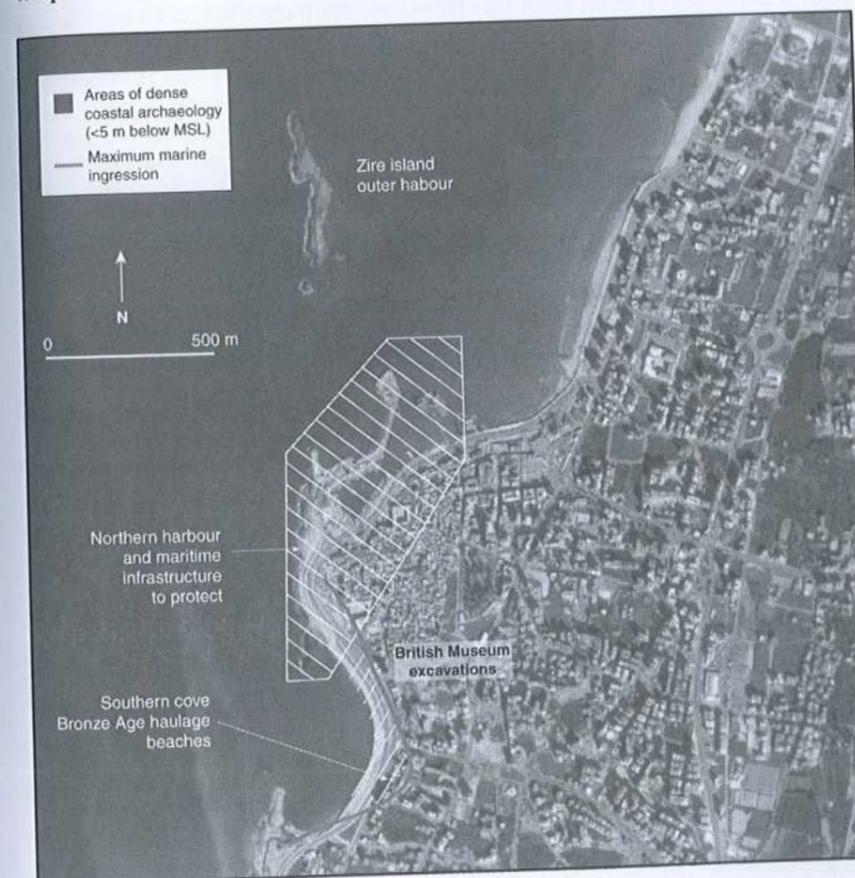


Figure 6.11 : Carte des zones archéologiques sensibles à Sidon.

La plupart des recherches actuelles se focalisent sur l'impact des installations portuaires de l'âge du Bronze, et l'évolution d'une infrastructure naturelle vers des édifices artificiels. Les ports ensablés de chacune des trois cités sont, dans ce sens, uniques pour mieux comprendre ces rapports. Par exemple, à Tyr nous estimons qu'une surface de 32 500 m², sous le marché actuel, peut potentiellement fournir de riches informations archéologiques. Alors que nous avons clairement fait le lien entre certains faciès stratigraphiques et des changements technologiques (Marriner et Morhange, 2006b, 2007), il y a une absence de données en ce qui concerne la nature exacte de ces installations portuaires pour les trois sites. Jusqu'à présent, seul le port colmaté de Beyrouth a révélé des quais de l'âge du Fer (Elayi et Sayegh, 2000), situés à environ 300 m du front de mer actuel. Au large de Tyr, Noureddine et Helou (2005) et Descamps (communication personnelle) ont prospecté le môle du port romain nord, détaillant son potentiel archéologique. La recherche future doit mieux décrire les ressources archéologiques englouties.



Figure 6.12 : Carte des zones archéologiques sensibles à Tyr.

Recommandations

Il est essentiel que les trois ports antiques soient protégés par une législation nationale (e.g. un plan de gestion des sols) ; nos travaux récents nous ont permis de délimiter de façon précise les zones portuaires à protéger. Un des soucis majeurs est de marier le développement urbain avec l'archéologie, de sorte que les riches patrimoines historiques de Beyrouth, Sidon et Tyr soient intégrés dans le tissu urbain. De nouveaux permis de construire ne devraient pas être délivrés dans ces zones sensibles avant que l'étendue archéologique du site n'ait été complètement explorée. Dans le cas où des vestiges d'importance seraient détectés, la zone devrait être correctement fouillée et enregistrée. Les sites d'importance scientifique majeure doivent être impérativement protégés de la destruction, soit en intégrant l'archéologie dans les projets de construction ou en empêchant le site d'être construit. On peut citer comme contre-exemple la modernisation récente du port antique de Sidon qui n'a pas assimilé les vestiges archéologiques dans le nouvel édifice. Ces derniers constituaient les structures portuaires les mieux conservées de la côte levantine. Bien qu'ils n'aient pas été totalement détruits, ils ont été recouverts par des blocs de béton alors qu'une solution plus appropriée aurait été d'exposer et intégrer ces structures antiques dans le nouveau brise-lames. De la même façon, le port sud a été totalement bétonné par une nouvelle corniche littorale de 1 km de long qui s'étend de la zone de Dakerman au sud jusqu'au port nord. Ces aménagements sont survenus en dépit du projet UNESCO « *Urban Development and Freshwater Resources: Small Coastal Cities* » auquel Sidon participe depuis 1997. Une décennie plus tard, beaucoup des objectifs de ce programme, qui proclame un développement intégré et soutenu, ont été largement ignorés par les urbanistes et les décideurs politiques. Sur une échelle plus large, des erreurs semblables ont été faites à Beyrouth pendant les années 1990 (Lauffray, 1995 ; Naccache, 1996, 1998). En réalité, les archéologues doivent lutter avec les promoteurs immobiliers et les hommes politiques pour protéger le patrimoine culturel dans ces zones.

6.2.3 Les paysages submergés

Notre recherche sur Tyr a montré le potentiel important des surfaces immergées de l'âge du Bronze jusqu'à la période romaine tardive, qui subsistent sur les côtes. Ces paysages submergés sont d'une importance considérable et peuvent fournir une vue approfondie des changements littoraux. L'effondrement tectonique a submergé de larges étendues de l'île antique, et nous estimons qu'approximativement 50 % (soit 470000 m²) de sa surface est à présent sous environ 3 m d'eau (Morhange *et al.*, 2006b). Afin que nous puissions bien délimiter les dimensions de l'île durant l'Antiquité, il faudrait mieux connaître l'étendue et l'état des vestiges archéologiques. Frost (1971) et El Amouri *et al.* (2005) ont révélé que le port égyptien de Poidebard est en réalité un quartier

urbain submergé de la cité antique. Le bassin sud offre donc des potentialités exceptionnelles pour la recherche et la valorisation du patrimoine culturel. En effet, la bathymétrie peu profonde de ce site archéologique (autour de 3 m) signifie que la zone pourrait être transformée en musée archéologique sous-marin. Des plongées guidées et l'utilisation de bateaux à fond vitré sont des solutions possibles pour exposer l'archéologie sous-marine au public. Non seulement cela générerait des ressources directes pour l'économie locale, mais ce serait aussi un moyen efficace de réguler la zone et de générer des fonds pour de recherches futures.

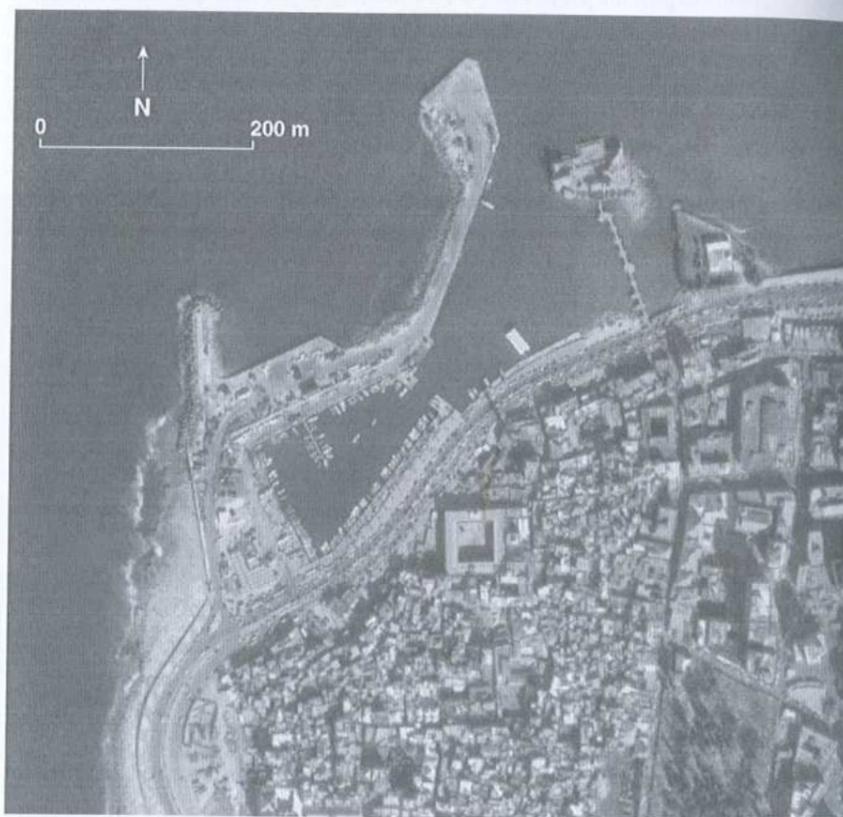


Figure 6.13 : Port nord de Sidon.

Des prospections sous-marines récentes menées par Descamps *et al.* ont mises en évidence d'importants vestiges hellénistiques, romains et byzantins au nord du port de Tyr, sur l'avancée du cordon gréseux (Descamps, communication personnelle). Ce cordon, d'environ 1400 m, est aujourd'hui

englouti sous la mer. Pendant l'Antiquité, l'utilisation de ces récifs distaux comme ports extérieurs permet de comprendre l'infrastructure maritime de l'époque. A la différence des restes archéologiques sur la péninsule actuelle, ces vestiges sont restés à l'abri des constructions médiévales et modernes. A présent, deux grandes menaces pèsent sur la préservation à long terme de ces ressources sous-marines. (1) **Le pillage par des plongeurs clandestins.** Les vestiges archéologiques autour de Tyr sont connus des plongeurs locaux depuis longtemps. Il est impossible d'estimer la quantité d'objets archéologiques ayant été perdus ou extraits de leur contexte par suite de cette activité. Pour mettre cela en perspective, les statistiques suggèrent que jusqu'à 60 % des objets archéologiques submergés dans les eaux proches d'Israël ont été récupérés et dispersés dans des collections privées (Blot, 1995). (2) **L'érosion.** Non seulement l'érosion côtière mine la préservation du patrimoine archéologique, mais les tempêtes et la forte houle peuvent aussi exposer des fonds archéologiques à des plongeurs.

Recommandations

Comme à Alexandrie (Egypte), il est important que les chercheurs locaux et étrangers répertorient et de protègent les vestiges archéologiques submergés de Tyr (Empereur, 1998 ; Goddio *et al.*, 1998 ; Goddio et Bernand, 2004). Par exemple, depuis 1994, les archéologues du Centre d'Etudes Alexandrines ont enregistré plus de 3000 objets (statuaire, sphinx, colonnes et blocs de pierre) autour du site sous-marin de l'ancien Phare (Empereur, 1998). Plusieurs des pièces les plus importantes ont été dressées et restaurées pour être exposées au public (Goddio et Bernand, 2004). Des vestiges similaires ont également été déterrés à Sidon, dans le secteur de Ziré (Frost, 1973 ; Carayon, 2003 ; Carayon et Viret, 2004). Une meilleure compréhension de la taphonomie des dépôts sous-marins est aussi requise, améliorant ainsi notre connaissance de la préservation des objets archéologiques et des impacts de l'érosion littorale. Nous avons dressé une série de cartes pour les trois sites, identifiant les zones archéologiques sensibles pour chacune des trois villes (Figures 6.10-6.13). Nous proposons que les zones côtières jusqu'à une profondeur de 5 m soient protégées à Beyrouth, Sidon et Tyr. Les vestiges archéologiques de ces zones doivent faire l'objet de prospections régulières afin d'éviter d'autres pertes. A court terme, il s'agit de mettre en place des mesures pour combattre la destruction du patrimoine culturel sous-marin, en commençant au niveau local (dans les écoles et par des programmes de sensibilisation du public, etc.). Il ne s'agit pas de fermer l'accès du public au site, mais de contrôler plus correctement les zones les plus sensibles pour déterminer les nouveaux endroits mis au jour par l'érosion. L'éducation et la participation publiques sont essentielles pour changer les mentalités. Par exemple, les agences nationales et internationales doivent entrer en relation plus étroite avec les pêcheurs locaux

pour répertorier toutes leurs trouvailles archéologiques. Un système de récompense pourrait aussi encourager la déclaration aux autorités des nouveaux sites découverts.

6.2.4 Les épaves

Comme c'est le cas sur d'autres sites maritimes de la côte levantine, la possibilité de mettre au jour des épaves de l'âge du Bronze à la période islamique dans les zones de Beyrouth, Sidon et Tyr est élevée (Raveh et Kingsley, 1992 ; Royal et Kahonov, 2000). Les épaves sont d'une grande signification pour les études sur la culture et le commerce, du fait qu'elles recèlent des objets bien datés (Croome, 1973 ; Parker, 1995). Des travaux archéologiques récents à Istanbul, Naples et Marseille révèlent le grand potentiel de préservation des vases portuaires dans la conservation de coques en bois à l'échelle de plusieurs millénaires (Hesnard, 1995 ; Pomey, 1995 ; Morhange *et al.*, 2003a ; Giampaola *et al.*, 2004 ; Giampaola et Carsana, 2005). Par exemple, des fouilles sur le site de Yenikapi (Istanbul) ont dégagé au moins 22 bateaux des vases portuaires.

Les plans de développement urbain le permettant, il n'y a pas de menace immédiate sur ces structures en bois ensevelis. La question des épaves côtières sous-marines est plus délicate, car elles peuvent être dégradées par l'érosion et les plongeurs clandestins. Nous ne disposons pas de chiffres précis pour le littoral libanais, mais les statistiques françaises démontrent que sur les 600 épaves répertoriées par les autorités seulement 5 % d'entre elles sont restées intactes. Clairement, même quand les sites d'épaves ont été identifiés, il est très difficile de les protéger. Les archéologues doivent donc faire preuve d'efficacité afin d'en extraire le maximum d'informations sur des périodes de temps relativement courtes (voir Galili *et al.*, 1993a).

Recommandations

En prenant exemple sur le DRASSM (Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines), nous recommandons que les agences gouvernementales se mettent en liaison avec les pêcheurs locaux pour établir une banque de données des sites d'épave le long des côtes de Beyrouth, Sidon et Tyr. A l'échelle du bassin levantin, l'archéologie maritime bénéficierait largement d'un programme régional de protection et de collaboration, peut être dans le cadre de la convention 2001 de l'UNESCO. Il s'agit, en effet, de répertorier toutes les épaves connues de la région, mettant en œuvre un nouveau programme de protection si nécessaire. Juste au sud de Tyr, sur la côte du Carmel, 26 épaves ont été localisées dans la lagune de Dor/Tantura et cinq autres à Akko (Kahanov, communication personnelle). Les ports antiques ensablés offrent donc des opportunités exceptionnelles de

préservation, les épaves antiques pouvant être fouillées à l'aide des techniques terrestres classiques.

A Beyrouth, Sidon et Tyr, nous proposons que les fonds marins jusqu'à une profondeur de 5 m soient impérativement protégés (Morhange et Saghieh-Beydoun, 2005 ; Marriner et Morhange, 2005a-b). Malheureusement, la prospection sous-marine est très coûteuse et fournit des résultats bien plus pauvres que les études terrestres classiques (voir Marseille et Naples [Pomey, 1995 ; Hesnard, 2004a-b ; Giampaola *et al.*, 2004 ; Giampaola et Carsana, 2005]).

6.2.5 L'évolution du littoral phénicien

Nos reconstitutions côtières indiquent que les traits de côte de Beyrouth, Sidon et Tyr ont changé de façon significative durant les dernières 6000 années (Marriner *et al.*, 2005, 2006a-b, 2007). Les réseaux de carottages ont détaillé un modèle paléoenvironnemental pour les trois ports. A Tyr, nous avons reconstitué les dimensions antiques de l'île, son évolution au fil des millénaires ainsi que les phases d'accrétion et de progradation de l'isthme d'Alexandre le Grand (Marriner *et al.*, 2007). La présence de cette chaussée signifie que les changements côtiers les plus prononcés ont eu lieu à Tyr, avec l'accrétion d'une langue de sable de 1,5 km par 3 km reliant l'ancienne île au continent. A Beyrouth et Sidon, nos recherches ont reconstitué l'ingression marine maximale et la progradation du trait de côte depuis 6000 ans. Les données archéologiques sur Beyrouth, par exemple, indiquent que le rivage de l'âge du Bronze se situe à 300 m de la darse actuelle (Elayi et Sayegh, 2000 ; Marquis, 2004). La régularisation du trait de côte est observée sur chacun des trois sites, expliquant la répartition des ressources archéologiques. Cette modification des rivages à partir de l'âge du Bronze est due à une perte d'espace disponible pour la sédimentation.

A Tyr, nous avons élucidé l'existence probable de larges zones d'archéologie maritime de l'âge du Bronze et du Fer autour de Tell Mashuk, Tell Chawakir et Tell Rachidiye. La géophysique serait un moyen rapide et peu coûteux de prospecter les vestiges archéologiques dans cette zone. Des sédiments fins à l'ouest de Tell Mashuk sont, a priori, propices à la préservation des structures. Entre Tell Chawakir et Tell Rachidiye, un système complexe de dunes de sable est observé ; ces couches de sédiments éoliens et côtiers contiennent une grande quantité d'objets archéologiques. Les dunes sont des entités géomorphologiques sujettes à l'instabilité et à des déplacements soudains, avec des implications pour la reconnaissance, la datation et la conservation des ressources archéologiques autour de ces tells. Une recherche approfondie sur la géomorphologie des formes est nécessaire pour mieux comprendre la répartition des ressources archéologiques. Comme le démontrent

les vestiges romains et byzantins exhumés sur le tombolo de Tyr, les possibilités de recherche archéologique sur l'isthme sont également importantes.

Recommandations

Nous avons éclairci l'histoire des changements côtiers sur les trois sites, permettant de faire avancer la connaissance des ressources archéologiques de ces villes. A Beyrouth, Sidon et Tyr, bien des fronts de mer de l'âge du Bronze à l'âge du Fer sont à présent isolés à plusieurs centaines de mètres des lignes de côte actuelles. A Tyr, la subsidence tectonique de la période romaine tardive (Morhange *et al.*, 2006b ; Elias *et al.*, 2007) est aussi responsable de la submersion de plusieurs quartiers antiques (environ 50 % de l'île antique). Des prospections préliminaires, entreprises par Descamps *et al.*, suggèrent que ces endroits recèlent également de riches archives archéologiques. Les recherches futures pourraient utiliser cette information pour repérer et protéger les secteurs les plus riches (Morhange et Saghieh-Beydoun, 2005). Comme c'est le cas pour les ports colmatés, les travaux de construction à venir pourraient tenter d'intégrer les découvertes archéologiques afin d'en assurer la protection à long terme.

6.2.6 Exposition du patrimoine archéologique de la Phénicie

6.2.6.1 Programme de protection à terre

A terre, les ressources culturelles de Beyrouth, Sidon et Tyr sont beaucoup plus faciles à gérer et à exposer au public que celles en mer. En accord avec la « Convention sur la protection du patrimoine culturel subaquatique », qui promeut « *the public's right to enjoy the educational and recreational benefits of responsible non-intrusive access to in situ underwater cultural heritage, and of the value of public education to contribute to awareness, appreciation and protection of that heritage* » nous mettons en avant les idées suivantes : (1) **L'exposition.** Les expositions de musée sont un moyen important de valorisation des sites auprès du public. Une partie des objets exhumés au cours des fouilles sur les trois sites se trouve exposée aujourd'hui au Musée National de Beyrouth, mais ni Sidon ni Tyr ne possèdent actuellement de tels centres d'exposition. Des exemples européens montrent ce qui peut être accompli (Alpözen, 1983 ; Rossellini, 1984 ; Basch, 1985 ; Croome, 1987 ; Gibbins, 1990 ; Rodriguez, 1990 ; Crumlin-Pedersen, 1993). Des sites de l'importance de Sidon et Tyr devraient avoir leurs propres musées, pour exposer les découvertes les plus importantes. C'est à l'évidence un plan pour le futur, déjà envisagé par des organisations non-gouvernementales telles que l'Association Internationale pour la Sauvegarde de Tyr. Des plans sont en train d'être esquissés pour la création d'un musée maritime dans le port antique d'Alexandrie, démontrant

ainsi ce qui reste encore à faire (<http://www.linternaute.com/video/savoir/un-musee-sous-marin-a-alexandrie/>). (2) **La valorisation des données.** Des livres de vulgarisation et des sites internet peuvent être des moyens efficaces pour susciter l'intérêt du public à un niveau international. Au niveau local, des notices, des brochures d'information, ainsi que des guides touristiques sont aussi des moyens efficaces de diffusion et servent d'introduction à l'histoire descriptive des sites. Les découvertes récentes faites à Sidon ont, de ce point de vue, été bien diffusées grâce notamment aux efforts de l'association des *British Friends of the National Museum* en collaboration avec le *British Museum* et la Direction Générale des Antiquités. La dissémination des résultats est un moyen important d'encourager les investisseurs nationaux et internationaux à protéger le patrimoine archéologique. Des sites internet peuvent être librement consultés par des groupes autour de la planète et constituent un média efficace pour la circulation des informations futures. Dans ce contexte, les résultats archéologiques provenant de Beyrouth et Sidon ont été largement publiés dans des journaux régionaux et internationaux (Elayi et Sayegh, 2000 ; Doumet-Serhal, 2003, 2004), et à Sidon un livre de vulgarisation est en cours d'élaboration. Ce domaine n'a pas été correctement exploité à Tyr, et l'information concernant l'archéologie de la cité antique et son importante ressource culturelle n'est pas facilement disponible. (3) **Des chemins balisés.** L'utilisation de signes et de panneaux d'information est un moyen pratique de toucher un large public. Par exemple, le placement de panneaux d'information autour des ports antiques de Beyrouth, Sidon et Tyr non seulement informerait le grand public sur l'histoire locale, mais permettrait aussi aux gens de mieux comprendre l'intérêt archéologique de certaines zones. En réalité, très peu de gens savent que le cœur des ports antiques de Beyrouth, Sidon et Tyr est aujourd'hui enterré sous les centres villes.

6.2.6.2 En mer

Permettre aux plongeurs d'accéder aux sites archéologiques sous-marins est peut être risqué et doit être encadré par les programmes de sensibilisation (Staniforth, 1994). Les parcs d'archéologie sous-marine d'Ampurias et de Césarée Maritime sont des exemples par excellence de ce que l'on peut obtenir. A Césarée, le port submergé couvre une superficie de 200.000 m² (Raban, 1992b) au sein de laquelle les autorités ont créé quatre zones de plongée avec 25 étapes d'intérêt archéologique notable. On fournit aux plongeurs des guides imperméables à l'eau qui détaillent les chemins à suivre en fonction de leur niveau de plongée. L'avantage de plonger dans les ports antiques est que les vestiges archéologiques reposent en eau relativement peu profonde, habituellement à moins de 4 m sous le niveau actuel. Des panneaux de renseignements pourraient aussi servir à délivrer des renseignements sur chacun des sites, avec des lignes directrices sur le comportement à tenir et des sources

d'information additionnelles. Des plaques et des marqueurs de sites peuvent aussi fournir de l'information supplémentaire et coordonner la plongée sur le site (Johnston, 1993). Sur les sites en eau peu profonde comme dans le bassin sud de Tyr (moins de 3-4 m de profondeur), les possibilités d'un tel parc sont riches. Pour le public qui ne plonge pas, des bateaux à fonds vitrés peuvent aussi être utilisés pour observer les vestiges immergés. Un des meilleurs exemples est celui de Baia près de Naples. Ce cratère noyé, riche en vestiges archéologiques, peut être visité avec un bateau à fond vitré.

6.2.7 Remarques de conclusion

Beyrouth, Sidon et Tyr possèdent un riche patrimoine culturel, à la fois sur terre et en mer. Un des problèmes majeurs que rencontrent les gestionnaires de ces sites est de savoir comment changer l'attitude des pilleurs et des entreprises de construction. Bien que la législation gouvernementale ne suffise pas en elle-même (cf. l'exemple du centre ville de Beyrouth), il est essentiel que les institutions locales mettent en œuvre un système de mesures politiques permettant la stabilité de la gestion culturelle sur le long terme. La convention 2001 de l'UNESCO sur la protection du patrimoine culturel subaquatique, dont le Liban fait partie, procure un cadre pour remplir cette tâche. Dans la même voie, le programme ArcheoMed (Patrimoine Culturel Maritime de la Méditerranée) est en train de dresser un inventaire des sites archéologiques sous-marins et de formuler un programme de protection à travers toute la Méditerranée.

Sur des sites comme Sidon et Tyr, les possibilités d'un plan de développement durable basé sur le tourisme culturel sont riches (Frost, 1990 ; Elkin et Cafferata, 2001). En Italie (Baia), en Israël (Césarée) et en Espagne (Ampurias) des parcs culturels ont été établis avec d'excellents résultats. Ces parcs encouragent non seulement l'accès public aux biens culturels, mais aussi génèrent des fonds pour la sauvegarde de ces sites et les futurs programmes de fouilles. Un plan de gestion qui accompagne les besoins de la société dans son ensemble est nécessaire. La plus grande menace qui pèse sur la gestion des vestiges sous-marins à Sidon et à Tyr vient des plongeurs. Alors que certaines personnes sont extrêmement intéressées par l'archéologie et la préservation des sites, une minorité de plongeurs retire des pièces archéologiques par ignorance ou pour faire des gains financiers personnels (Eaton, 1980). D'un autre côté, les plongeurs et les pêcheurs locaux ont des connaissances qui pourraient être bénéfiques à un programme de gestion archéologique sous-marine. Se mettre en relation avec ces groupes peut être difficile pour plusieurs raisons, bien qu'un système de récompense puisse contourner le problème. La DGA et le gouvernement libanais doivent prendre la responsabilité de la gestion du patrimoine culturel des trois sites, en travaillant étroitement avec les organisations non-gouvernementales comme l'UNESCO. Finalement, la

préservation des sites dépendra de l'efficacité du système de gestion, qui devrait être dirigée par des scientifiques ayant une bonne connaissance de ces sites.

Références bibliographiques

- Abd-el-Al, I. (1948). Le Litani, étude hydrologique. Service hydrologique de la République Libanaise, Beirut.
- Acquaro, E. (1988). Gli insediamenti fenici e punici in Italia. Libreria Dello Stato, Roma.
- Ager, D. (1989). Lyell's pillars and uniformitarianism. *Journal of the Geological Society*, 146, 603-605.
- Ager, D. (1995). The new catastrophism, the importance of the rare event in geological history. Cambridge University Press, Cambridge.
- Aguarod Otal, C. et Erice Lacabe, R. (2003). El Puerto de Caesaraugusta. In: Berlanga, G. P. and Pérez Ballester, J. (Eds.), Puertos Fluviales Antiguos: Ciudad, Desarrollo e Infraestructuras. Federico Morillo, Valencia, pp. 143-155.
- Alpözen, O. (1983). The Bodrum Museum of Underwater Archaeology. *Museum*, 35, 61-63.
- Ambert, P. (1995). Le cadre géographique et géologique de Narbonne antique. In : L'Homme préhistorique et la mer, 120e congrès CTHS, Aix-en-Provence, 23-26 oct. 1995, pp. 93-105.
- Ambert, M. et Chabal, L. (1992). L'environnement de Lattara (Hérault): potentialités et contraintes. *Lattara*, 5, 9-26.
- Ambraseys, N. N. (1962). Data for the investigation of seismic sea-waves in the Eastern Mediterranean. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 52, 895-913.
- Ambraseys, N., Melville, C. et Adams, R. (1994). The Seismicity of Egypt, Arabia and the Red Sea: A Historical Review. Cambridge University Press, Cambridge.
- Anthony, E. J. et Blivi, A. B. (1999). Morphosedimentary evolution of a delta-sourced, drift-aligned sand barrier-lagoon complex, western Bight of Benin. *Marine Geology*, 158, 161-176.
- Antonioli, F. et Leoni, G. (1998). Siti archeologici sommersi e loro utilizzazione quali indicatori per lo studio delle variazioni recenti del livello del mare. *Quaternario* 11, 53-66.
- Ardaillon, E. (1896). Rapport sur les fouilles du port de Délos. *Bulletin de Correspondance Hellénique, Ecole française d'Athènes*, 20, 428-445.
- Arnaud, D. et Salvini, M. (2000). Une lettre du roi de Beyrouth au roi d'Ougarit de l'époque dite "d'El-Amarna". *SMEA*, 42/1, 5-17.
- Arnaud, P. (2005). Les routes de la navigation antique : Itinéraires en Méditerranée. Errance, Paris.
- Arnaud, P. *et al.* (1996). Bey 027, Rapport préliminaire. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 1, 103.
- Arnaud-Fassetta, G., Carre, M.-B., Marocco, R., Maselli Scotti, F., Pugliese, N., Zaccaria, C., Bandelli, A., Bresson, V., Manzoni, G., Montenegro, M. E., Morhange, C., Pipan, M., Prizzon, A. et Siché, I. (2003). The site of Aquileia (northeastern Italy): example of fluvial geoarchaeology in a Mediterranean deltaic plain. *Géomorphologie*, 4, 227-246.
- Arteaga, O., Hoffmann, G., Schubart, H. et Schulz, H. D. (1988). *Geologisch-*

- archäologische Forschungen zum Verlauf der andalusischen Mittelmeerküste. In: *Madriider Beiträge*, Band 14, Verlag, pp. 107-126.
- Artzy, M. (1985). Merchandise and merchantmen: on ships and shipping in the late Bronze Age Levant. In: Papadopoullos, T. and Chatzestylli, S (Eds.), *Proceedings of the Second International Cyprological Congress*. Nicosia, pp. 135-140.
- Arvieux, L. d' (1735). *Mémoires du chevalier d'Arvieux, envoyé extraordinaire du Roi à la Porte, consul d'Alep, d'Alger, de Tripoli, et autres échelles du Levant, contenant ses voyages à Constantinople, dans l'Asie, la Syrie, la Palestine, l'Égypte et la Barbarie, la description de ces pays, les religions, les moeurs, les coutumes, le négoce de ces peuples, et leurs gouvernements*. Jean-Baptiste Delespine, Paris.
- Aubert, M. E. (2001). *The Phoenicians and the West: Politics, colonies and trade*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Aubert, M. E. (2004). The Tyre-Al Bass Necropolis. In: Doumet-Serhal, C. (Ed.), *Decade: A Decade of Archaeology and History in the Lebanon*. Archaeology and History in Lebanon, Beirut, pp. 16-27.
- Auriemma, R. (2004). Le strutture sommerse di Egnazia (Br): una rilettura. In: Benini, A. and Giacobelli, M. (Eds.), *Atti del II convegno nazionale di archeologia subacquea*. Edipuglia, pp. 77-97.
- Baedeker, K. (1912). *From Palestine and Syria. Handbook for Travellers*. 5th Edition. Leipzig.
- Baeteman, C., Heyvaert, V. M. A. et Dupin, L. (2005). Geo-environmental Investigation. In: Gasche, H. (Ed), *The Persian Gulf Shorelines and the Karheh, Karun, and Jarrahi Rivers, a Geo-archaeological Approach*. Akkadica, 125-2, p. 155-215.
- Barash, A. et Danin, Z. (1992). Fauna Palaestina, mollusca I. Annotated list of Mediterranean molluscs of Israel and Sinai. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem.
- Bar-Matthews, M., Ayalon, A. et Kaufman, A. (1997). Late Quaternary paleoclimate in the Eastern Mediterranean Region from stable isotope analysis of speleothems in Soreq cave, Israel. *Quaternary Research*, 47, 155-168.
- Bar-Matthews, M., Ayaolon, A. et Kaufman, A. (1998). Middle to Late Holocene Paleoclimate in the Eastern Mediterranean Region from Stable Isotopic Composition of Speleothems from Soreq Cave, Israel. In: Issar, A. S. and Brown, N. (Eds.) *Water, Environment and Society in Times of Climatic Change*. Kluwer, Amsterdam, pp. 203-214.
- Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Kaufman, A. et Wasserburg, G. J. (1999). The eastern Mediterranean paleoclimate as a reflection of regional events: Soreq Cave, Israel. *Earth and Planetary Science Letters*, 166, 85-95.
- Barnett, R. D. (1956). Phoenicia and the Ivory Trade. *Archaeology*, 9, 87-97.
- Barnett, R. D. (1958). Early Shipping in the Near East. *Antiquity*, 32, 220-230.
- Barnett, R. D. (1969). Ezekiel and Tyre. *Eretz-Israel*, 9, 6-13.
- Barreca, F. (1986). I porti fenicio-punici della Sardegna, *Ricerca sugli antichi*

- insediamenti fenici (Sardinian coastal study project 1). *Quaderni della Soprintendenza Archeologica per la Province de Cagliari e Oristano*, 1, 9-19.
- Basch, L. (1985). The Nautical Museum of the Aegean. *Mariner's Mirror*, 71, 85.
- Basch, L. (1987). Le muse imaginaire de la marine antique. Institut Hellénique pour la préservation de la tradition nautique, Athènes.
- Bass, G.A (Ed.) (1974). *History of Seafaring*. Thames and Hudson, London.
- Bass, G. F. (1987). Oldest Known Shipwreck Reveals Splendors of the Bronze Age. *National Geographic*, 172, 6, 692-733.
- Bass, G. F. (1991). Evidence of Trade from Bronze Age Shipwrecks. In: N.H. Gale (Ed.), *Bronze Age Trade in the Mediterranean*. Paul Åströms Förlag, Jonsered, pp. 69-82.
- Bellan-Santini, D., Lacaze, J. C. et Poizat, C. (1994). Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée. *Coll. Patrimoines Naturels*, 19, Muséum National d'Histoire Naturelle.
- Berglund, B. E. (2003). Human impact and climate changes – synchronous events and a causal link? *Quaternary International*, 105, 7-12.
- Bergy, P. A. (1932). Le Paleolithique ancien stratifié a Ras-Beyrouth. *Mélanges de l'Université Saint Joseph*, 16, 169-216.
- Berlanga, G. P. et Pérez Ballester, J. (Eds.) (2003). *Puertos Fluviales Antiguos: Ciudad, Desarrollo e Infraestructuras*. Federico Morillo, Valencia.
- Bertou, J. de (1843). *Essai sur topographie de Tyr*. Firmin Didot Frères, Paris.
- Besson, Le P. J. (1660). *Mission de Jésus et des Pères de la Compagnie de Jésus en Syrie par le R. P. Joseph Besson*. J. Henault, Paris.
- Bikai, P. (1979). *The pottery of Tyre (ancient Near East)*. Aris & Phillips, Oxford.
- Bikai, P. et Bikai, P. (1987). Tyre at the end of the twentieth century. *Berytus*, 35, 67-96.
- Bitar, G. et Kouli-Bitar, S. (1998). Inventaire des mollusques marines benthiques du Liban et remarques biogéographiques sur quelques espèces nouvellement signalés. *Mesogée*, 56, 37-44.
- Blackman, D. J. (1973a). The Harbours of Phaselis. *International Journal of Nautical Archaeology*, 2, 355-364.
- Blackman, D. J. (1973b). Evidence of sea level change in ancient harbours and coastal installations. In: Blackman, D. J. (Ed.), *Marine Archaeology*. Butterworths, London, pp. 115-139.
- Blackman, D. J. (1982a). Ancient harbours in the Mediterranean, part 1. *International Journal of Nautical Archaeology*, 11, 79-104.
- Blackman, D. J. (1982b). Ancient harbours in the Mediterranean, part 2. *International Journal of Nautical Archaeology*, 11, 185-211.
- Blackman, D. J. (1996). Further evidence for the use of concrete in ancient harbor construction. In: Raban, A. and Hollum, K. G. (Eds.) *Caesarea Maritima: A*

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

Retrospective after Two Millennia. Brill, Leiden, pp. 41-49.

Blackman, D. J. (2005). Archaeological evidence for sea level changes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 137, 61-70.

Blanc, J.-J. (1959). Recherches sédimentologiques littorales et sous-marines en Provence occidentale, PhD thesis. Paris-Sorbonne, Paris and published by Masson, Paris.

Blivi, A., Anthony, E. J. et Oyédé, L. M. (2002). Sand barrier development in the bight of Benin, West Africa. *Ocean and Coastal Management*, 45, 185-200.

Bochaca, M., Fauchère, N. et Tranchant, M. (2005). Ports maritimes et ports fluviaux au moyen âge. Publications de la Sorbonne, Série Histoire ancienne et médiévale 81, Paris.

Bonito, M. (1691). Terra tremante, o vero continuatione de' terremoti dalla Creatione del Mondo fino al temp presente. Napoli (reprint Arnaldo Forni Editore, Sala Bolognese, 1980, pp. 834).

Bonner, M. (2005). Arab-Byzantine Relations in Early Islamic Times. Ashgate, Aldershot.

Borrut, A. (1999-2000). L'espace maritime syrien au cours des premiers siècles de l'Islam (VIIe-Xe siècle) : le cas de la région entre Acre et Tripoli. *Tempora, Annales d'histoire et d'archéologie*, 10-11, 1-33.

Borrut, A. (2001). Architecture des espaces portuaires et réseaux défensifs du littoral syro-palestinien dans les sources arabes (VIIe-Xie s.). *Archéologie Islamique*, 11, 21-46.

Bouchayer, A. (1931). Marseille ou la mer qui monte. Editions des Portiques, Paris.

Bourguet, M.-N., Lepetit, B., Nordman, D. et Sinarellis, M. (1998). L'invention scientifique de la Méditerranée (Egypte, Morée, Algérie). Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris.

Bousquet, B. et Pechoux, P. Y. (1980). Géomorphologie, archéologie, histoire dans le bassin oriental de la Méditerranée: principe, méthodes, résultats préliminaires. *Méditerranée*, 1, 33-45.

Bousquet, B., Dufaure, J. J. et Pechoux, P. Y. (1983). Temps historiques et évolution des paysages égéens. *Méditerranée*, 2, 3-25.

Bouzek, J. (1996). Bey 069, Sondage A. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 1, 135-147.

Bracco, J.-P. (2005). Archaeological sites. In: Petit-Maire, N. and Vrielinck, B. (Eds.), *The Mediterranean basin: the last two climatic cycles - Explanatory notes of the maps*. Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Aix-en-Provence, pp. 83-89.

Braidwood, R. J. (1940). Report on two sondages on the coast of Syria, South of Tartous. *Syria*, 21, 183-221.

Brandon, C. (1996). Cements, Concrete, and Settling Barges at Sebastos. Comparisons with Other Roman Harbor Examples and the Description of Vitruvius. In: Raban, A. and Holum, K.G. (Eds.) *Caesarea Maritima - A Retrospective After Two Millennia*. Brill, Leiden, pp. 25-40.

Brandon, C. (1997). Techniques d'architecture navale dans la construction

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

des caissons en bois du port du Roi Hérode a Césarée. *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, 13, 13-33.

Brandon, C. (1999). Pozzolana, lime, and single-mission barges (Area K). In: Holum, K., Raban, A. and Patrich, J. (Eds.), *Caesarea Papers*, 2, JRA supplement 35, pp. 169-178.

Bravard, J.-P. et Magny, M. (Eds.) (2002). Les fleuves ont une histoire: paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15000 ans. Errance, Paris.

Briand, F. et Maldonado, A. (Eds.) (1996). Transformations and evolution of the Mediterranean coastline. *Bulletin de l'Institut océanographique*, numéro special 18, Monaco.

Bridgland, D. R. (2000). River terrace systems in north-west Europe: an archive of environmental change, uplift and early human occupation. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1293-1303.

Bronk Ramsey, C. (2001). Development of the Radiocarbon Program OxCal. *Radiocarbon*, 43, 355-363.

Browder, A. G. et McNinch, J. E. (2006). Linking framework geology and nearshore morphology: Correlation of paleo-channels with shore-oblique sandbars and gravel outcrops. *Marine Geology*, 231, 141-162.

Brückner, H. (1997). Coastal changes in western Turkey; rapid progradation in historical times. In: Briand, F. and Maldonado, A. (Eds.), *Transformations and evolution of the Mediterranean coastline*. *Bulletin de l'Institut Océanographique*, Monaco 18, pp. 63-74.

Brückner, H., Müllenhoff, M., Handl, M., et van der Borg, K. (2002). Holocene

landscape evolution of the Büyük Menderes alluvial plain in the environs of Myous and Priene (Western Anatolia, Turkey). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 127, 47-65.

Brückner, H., Vött, A., Schriever, M. et Handl, M. (2005). Holocene delta progradation in the eastern Mediterranean - case studies in their historical context. *Méditerranée*, 104, 95-106.

Buckley, D. E., Smith, J. N. et Winters, G. V. (1995). Accumulation of contaminant metals in marine sediments of Halifax Harbour, Nova Scotia: environmental factors and historical trends. *Applied Geochemistry*, 10, 175-195.

Bunnens, G. (1983). Tyr et la mer. *Studia Phoenicia*, I-II, 7-21.

Butcher, K. et Thorpe, R. (1997). A note on excavations in central Beirut 1994-96. *Journal of Roman Archaeology*, 10, 291-306.

Butzer, K. W. (1962). Pleistocene stratigraphy and prehistory in Egypt. *Quaternaria*, 6, 451-477.

Butzer, K. W. (1996). 'Sociopolitical Discontinuity in the Near East c. 2200 BCE: Scenarios from Palestine and Egypt. In: Dalfes, H. N., Kukla, G. and Weiss, H. (Eds.), *Third Millennium B. C. Climate Change and Old World Collapse*. Springer, Berlin, New York, pp. 245-96.

Caldara, M., Pennetta, L. et Simone, O. (2002). Holocene Evolution of the Salpi Lagoon (Puglia, Italy). *Journal of Coastal Research*, SI 36, 124-133.

Caldara, C., Cazzella, A., Fiorentino, G., Lopez, R., Magri, D., Moscoloni, M., Narcisi, B. et Simone, O. (2003). The relationship between the Coppa Nevigata

settlement and the wetland area during the Bronze Age (south-eastern Italy). In: Fouache, E. (Ed.), *The Mediterranean world environment and history*. Elsevier, Paris, pp. 429-437.

Canina, L. (1830). Indicazione delle rovine di Ostia e di Porto e della supposizione e dell'intiero loro stato delineata in quattro tavole dall'architetto Luigi Canina. *Mercuri e Boraglia*, Rome.

Carayon, N. (2003). L'île de Ziré à Saïda: nouvelles données archéologiques. *Archaeology and History in Lebanon*, 18, 95-114.

Carayon, N. (2005). Le cothon ou port artificiel creusé. *Essai de définition*. *Méditerranée*, 104, 5-13.

Carayon, N. (2008). Les ports phéniciens et puniques. *Géomorphologie et infrastructures*, PhD thesis. Université Marc Bloch - Strasbourg II, Strasbourg.

Carayon, N. et Viret, J. (2004). L'île de Ziré à Saïda: carrière et port insulaire. In: Denise, F. and Nordiguian, L. (Eds.), *Une aventure archéologique: Antoine Poidebard, photographe et aviateur*. Editions Parenthèses, Marseille, pp. 314-315.

Carmel, Z., Inman, D. L., et Golik, A. (1985a). Characteristics of storm waves off the Mediterranean coast of Israel. *Coastal Engineering*, 9, 1-19.

Carmel, Z., Inman, D. L., et Golik, A. (1985b). Directional wave measurement at Haifa, Israel, and sediment transport along the Nile littoral cell. *Coastal Engineering*, 9, 21-36.

Carmona, P. et Ruiz, J. M. (2003). Cambios geomorfológicos y puertos históricos en la costa Mediterránea

Valenciana. In: Berlanga, G. P. et Pérez Ballester, G. J. (Eds.), *Puertos Fluviales Antiguos: Ciudad, Desarrollo e Infraestructuras*. Federico Morillo, Valencia, pp. 115-126.

Carmona, P. et Ruiz, J. M. (2004). Geomorphological and geoarchaeological evolution of the coastline of the Tyre tombolo: preliminary results. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises, Hors-Série 1*, 207-219.

Casson, L. (1965). Harbour and river boats of ancient Rome. *Journal of Roman Studies*, 55, 31-39.

Casson, L. (1975). Bronze Age ships. The evidence of the Thera wall paintings. *International Journal of Nautical Archaeology*, 4, 3-10.

Casson, L. (1978). The Thera Ships. *International Journal of Nautical Archaeology*, 7, 232-233.

Casson, L. (1994). *Ships and Seafaring in Ancient Times*. British Museum Press, London.

Catuneanu, O. (2002). Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Sciences*, 35, 1-43.

Catuneanu, O. (2005). *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, London.

Cayeux, L. (1907). Fixité du niveau de la Méditerranée à l'époque historique. *Annales de Géographie*, 16, 97-116.

Cayeux, L. (1914). Les déplacements de la mer à l'époque historique. *Revue Scientifique*, 52, 577-586.

Cervin, G. B. R. de (1977). The Thera ships: other suggestions. *Mariner's Mirror*, 63, 150-152.

Cervin, G. B. R. de (1978). A further note on the Thera ships. *Mariner's Mirror*, 64, 150-152.

Chéhab, M. (1939). Tombe phénicienne de Sin el-Fil. In: *Mélanges syriens offerts à Monsieur René Dussaud II*, Paris, pp. 303-810.

Chen, Z., Warne, A. G., et Stanley, D. J. (1992). Late Quaternary evolution of the northwestern Nile Delta between Rosetta and Alexandria, Egypt. *Journal of Coastal Research*, 8, 527-561.

Cinque, A., Russo, F. et Pagano, M. (1991). La successione dei terreni di eta post-romana delle terme di Miseno (Napoli): Nuovi dati per la storia e la stratigrafia del bradisisma puteolano. *Bolletino della Societa Geologica Italiana*, 110, 231-244.

Cohen-Seffer, R., Greenbaum, N., Sivan, D., Jull, T., Barmeir, E., Croitoru, S. et Inbar, M. (2005). Late Pleistocene-Holocene marsh episodes along the Carmel coast, Israel. *Quaternary International*, 140-141, 103-120.

Collina-Girard, J. (1998). Profils littoraux en plongée et niveaux d'érosion eustatiques près de la grotte Cosquer (Marseille) et en Provence. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 324, 607-615.

Collina-Girard, J. (2001). L'Atlantide devant le détroit de Gibraltar? Mythe et géologie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 333, 233-240.

Contenau, G. (1920). Mission archéologique à Sidon (1914). *Syria*, I, 16-55 and 108-154.

Contenau, G. (1924a). Deuxième mission archéologique à Sidon (1920). *Syria*, IV, 261-281.

Contenau, G. (1924b). Deuxième mission archéologique à Sidon (1920). *Syria*, V, 9-23 and 123-134.

Copeland, L. et Wescombe, P. J. (1965). Inventory of Stone-Age Sites in Lebanon. Part one: West-Central Lebanon. *MUSJ*, 41, 61-176.

Copeland, L. and Wescombe, P. J. (1966). Inventory of Stone-Age Sites in Lebanon. Part two: North, South and East-Central Lebanon. *MUSJ*, 42, 1-174.

Courtaud, J. (2000). Dynamiques géomorphologiques et risques littoraux. Cas du Tombolo de Giens (Var, France méridionale), PhD thesis. Université de Provence, Aix-en-Provence.

Croome, A. (1973). Protecting Historic Wrecks. *New Scientist*, 426.

Croome, A. (1987). The Viking Museum, Roskilde. *International Journal of Nautical Archaeology*, 16, 348-352.

Croudace, I. W. et Cundy, A. B. (1995). Heavy metal and hydrocarbon pollution in recent sediments from Southampton Water, southern England: a geochemical and isotopic study. *Environmental Science and Technology*, 29, 1288-1296.

Crumlin-Pedersen, O. (1993). A centre for maritime archaeology in Denmark. *International Journal of Nautical Archaeology*, 22, 293-296.

- Cullen, H. M., deMenocal, P. B., Hemming, S., Hemming, G., Brown, F. H., Guilderson, T. et Sirocko, B. (2000). Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea. *Geology*, 28, 379-382.
- Cumberpatch, C. G. (1997). Archaeology in the Beirut Central District. Some notes and observations. *Berytus*, 42, 157-172.
- Curtis, J. (2000). New excavations at Sidon. *National Museum News*, 10, 27-40.
- Curvers, H. H. (2002). The Lower Town of Beirut (1200-300 BC). A preliminary synthesis. *ARAM*, 13-14, 51-72.
- Curvers, H. H. et Stuart, B. (1996). Bey 008: the 1994 results. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 1, 229.
- Curvers, H. H. et Stuart, B. (1997). The BCD infrastructure archaeology project, 1995. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 2, 167-205.
- Curvers, H. H. and Stuart, B. (1998-1999). The BCD Archaeology Project 1996-1999. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 3, 13-30.
- Curvers, H. et Stuart, B. (2004). Beirut Central District Archaeology Project. 1994-2003. In: Doumet-Serhal, C. (Ed.), *Decade: A Decade of Archaeology and History in the Lebanon*. Archaeology and History of Lebanon, Beirut, pp. 248-260.
- Dally, W. R. et Pope, J. (1986). Detached breakwaters for shore protection. Technical Report, Coastal Engineering Research Centre, Waterways Experiment Station, CERC-86-1.
- Dalongeville, R., Lespez, L., Poursoulis, G., Pastre, J.-F., Keraudren, B., Mathieu, R., Prieur, A., Renault-Miskovsky, J., Darmon, F., Kunesh, S., Bernier, P. et Caron, V. (2001). *Malia : un marais parle*. Bulletin de Correspondance Hellénique, 125, 67-88.
- Darawcheh, R., Sbeinati, M. R., Margottini, C. et Paolini, S. (2000). The 9 July 551 AD Beirut earthquake, eastern Mediterranean region. *Journal of Earthquake Engineering*, 4, 403-414.
- Dark, K. R. (2004). The New Post Office Site in Istanbul and the North-Eastern Harbour of Byzantine Constantinople. *International Journal of Nautical Archaeology*, 33, 315-319.
- Daressy, G. (1895). Une flottille phénicienne d'après une peinture récente. *Revue archéologique*, 286-292.
- Davie, M. F. (1987). Maps and the historical topography of Beirut. *Berytus*, 35, 141-164.
- Davie, M. (2000). Flux mondiaux, expressions locales: Beyrouth et son port au XIXe siècle ottoman. *Chronos*, 3, 139-172.
- Davis, R. A. (Ed.) (1994). *Geology of Holocene Barrier Island Systems*. Springer-Verlag, Berlin.
- De Maria, L. et Turchetti, R. (Eds.) (2004a). Evolución paleoambiental de los puertos y fondeaderos antiguos en el Mediterráneo occidental. *Rubbettino Editore, Soveria Mannelli*.
- Del Carmen Berrocal Caparrós, M. (1998). Instalaciones portuarias en Carthago-Nova: la evidencia arqueológica. In: Pérez Ballester, J. et Berlanga, G. P. (Eds.), *Reunión Internacional sobre Puertos Antiguos y Comercio Marítimo*. III

- Jornades de Arqueologia Subacuática: Actas. La Imprenta, Valencia, pp. 98-114.
- Denise, F. et Nordiguian, L. (Eds.) (2004). Une aventure archéologique: Antoine Poidebard, photographe et aviateur. Editions Parenthèses, Marseilles.
- Desjardins, E. E. A. (1876). Géographie historique et administrative de la Gaule romaine. Tome premier, introduction et géographie physique comparée époque romaine - époque actuelle. Hachette, Paris.
- Desor, E. et Favre, L. (1874). Le bel âge du bronze lacustre en Suisse. *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Neuchâtel*, IV, 2e partie, 1-111.
- Devillers, B. (2005). Morphogenèse et anthropisation holocène d'un bassin versant semi-aride : le Gialias, Chypre, PhD thesis. Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Dickinson, O. (1994). *The Aegean Bronze Age*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dominey-Howes, D., Dawson, A. et Smith, D. (1998). Late Holocene coastal tectonics at Falasarna, western Crete: a sedimentary study. In: Stewart, I. and Vita-Finzi, C. (Eds.), *Coastal Tectonics*. Geological Society, London, Special Publications 146, pp. 343-352.
- Doneddu, M. et Trainito, E. (2005). *Conchiglie del Mediterraneo. Il Castello, Trezzano sul Naviglio*.
- Doumas, C. (1992). *The Wall Paintings of Thera*. The Thera Foundation, Athens.
- Doumet, J. (1980). A Study on the Ancient Purple Colour. *Imprimerie Catholique, Beyrouth*.
- Doumet, J. (2004). Purple Dye. In: Doumet-Serhal, C. (Ed.), *Decade: A Decade of Archaeology and History in the Lebanon*. Archaeology and History in Lebanon, Beirut, pp. 38-49.
- Doumet-Serhal, C. (Ed.) (2003). Sidon - British Museum Excavations 1998-2003. *Archaeology and History in Lebanon*, 18, 1-144.
- Doumet-Serhal, C. (Ed.) (2004a). *Decade: A Decade of Archaeology and History in the Lebanon*. Archaeology and History in Lebanon, Beirut.
- Doumet-Serhal, C. (2004b). Tell Rachidieh: Foreign Relations. In: Doumet-Serhal, C. (Ed.), *Decade: A Decade of Archaeology and History in the Lebanon*. Archaeology and History in Lebanon, Beirut, pp. 88-99.
- Doumet-Serhal, C. (2004c). Excavating Sidon. In: Doumet-Serhal, C. (Ed.), *Decade: A Decade of Archaeology and History in the Lebanon*. Archaeology and History in Lebanon, Beirut, pp. 102-123.
- Doumet-Serhal, C. (Ed.) (2006a). Sidon: British Museum excavations in collaboration with the Department of Antiquities of Lebanon. *Archaeology and History in Lebanon*, 24, 1-160.
- Doumet-Serhal, C. (2006b). Sidon: Mediterranean contacts in the Early and Middle Bronze Age, preliminary report. *Archaeology and History in Lebanon*, 24, 34-47.
- Dubertret, L. (1940). Sur la structure de la plateforme de Beyrouth et sur ses grès Quaternaires. *Compte-Rendu de la Société géologique de France*, 8, 83-84.

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- Dubertret, L. (1955). Carte géologique du Liban au 1:200,000, avec notice explicative. Ministère des Travaux Publics, Beyrouth.
- Dubertret, L. (1975). Introduction à la carte géologique au 1:50 000 du Liban. Notes Mémoire Moyen-Orient, 13, 345-403.
- Dubois, C. (1907). Pouzzoles antique (histoire et topographie). Ecoles d'Athènes et de Rome, 93.
- Dumont, A. (Ed.) (2006). Archéologie des lacs et des cours d'eau. Errance, Paris.
- Dunand, M. (1936). Fouilles de Byblos I (1926-1932). Paris.
- Dunand, M. (1939). Chronique. Bulletin du Musée de Beyrouth, 3, 79-81.
- Dunand, M. (1940). Chronique. Bulletin du Musée de Beyrouth, 4, 118.
- Dunand, M. (1941). Chronique. Bulletin du Musée de Beyrouth, 5, 88-89.
- Dunand, M. (1942-43). Chronique. Bulletin du Musée de Beyrouth, 6, 82-83.
- Dunand, M. (1954). Fouilles de Byblos II. Paris.
- Dunand, M. (1967). Rapport préliminaire sur les fouilles de Sidon en 1964-1965. Bulletin du Musée de Beyrouth, XX, 27-44.
- Duprat, E. (1935). Marseille, l'évolution urbaine. In: Les Bouches du Rhône, Encyclopédie départementale 14, Marseille.
- Dussaud, R. (1927). Topographie historique de la Syrie antique et médiévale. Geuthner, Paris.
- Eaton, N. (1980). Do you sincerely hope to get rich? Diver, 25.
- Edgerton, W. F. (1922-1923). Ancient Egyptian Ships and Shipping. American Journal of Semitic Languages and Literatures, 39, 109-135.
- El Amouri, M., El Helou, M., Marquet, M., Nouredine, I. et Seco Alvarez, M. (2005). Mission d'expertise archéologique du port sud de Tyr, sud Liban: résultats préliminaires. Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises, Hors-Série 2, 91-110.
- El-Asmar, H. M. et Wood, P. (2000). Quaternary shoreline development: the northwestern coast of Egypt. Quaternary Science Reviews, 19, 1137-1149.
- Elayi, J. (1984). Terminologie de la Mer Méditerranée dans les Annales assyriennes. OA, 2, 87-89.
- Elayi, J. (1990). Economie des cités phéniciennes sous l'Empire perse. Supplément à Annali dell'Istituto Universitario Orientale di Napoli, Istituti Editoriali e Poligrafici Internazionali, Napoli.
- Elayi, J. et Sayegh, H. (2000). Un quartier du port Phénicien de Beyrouth au Fer III/Perse. Archéologie et histoire. Gabalda, Paris.
- El Baz, F. (1988). Finding a Pharaoh's Funeral Bark. National Geographic, 173, 512-533.
- El-Falaki, M. B. (1872). Mémoire sur l'antique Alexandrie. Copenhagen.
- Elias, A., Taponnier, P., Singh, S. C., King, G. C. P., Briais, A., Daëron, M., Carton, H., Surssock, A., Jacques, E.,

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- Jomaa, R. et Klinger, Y. (2007). Active thrusting offshore Mount Lebanon: Source of the tsunamigenic A.D. 551 Beirut-Tripoli earthquake. Geology, 35, 755-758.
- Elkin, D. et Cafferata, H. (2001). Underwater archaeology and cultural tourism - a mutual benefit proposal for Patagonia. Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology, 25, 83-88.
- Empereur, J.-Y. (1998). Le Phare d'Alexandrie, la merveille retrouvée. Découvertes Gallimard, Paris.
- Empereur, J.-Y. et Grimal, N. (1997). Les fouilles sous-marines du phare d'Alexandrie. Compte-rendus de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, juillet-octobre, 693-717.
- Enzel, Y., Bookman, R., Sharon, D., Gvirtzman, H., Dayan, U., Ziv, B. et Steinc, M. (2003). Late Holocene climates of the Near East deduced from Dead Sea level variations and modern regional winter rainfall. Quaternary Research, 60, 263-273.
- Escoffier, F. F. (1954). Travelling forelands and the shoreline processes associated with them. Bulletin US Beach Erosion Board, 9, 11-14.
- Espic, K., Morhange, C., Bourcier, M., Bruzzi, C., Carbonel, P., Nammour, T. et Doumet-Serhal, C. (2002). Les ports antiques de Sidon: nouvelles données paléo-environnementales. Archaeology and History in Lebanon, 15, 28-36.
- Euzennat, M. (Ed.) (1987). Déplacements des lignes de rivage en Méditerranée. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Fabre, D. (2004/2005). Seafaring in Ancient Egypt. Periplus Publishing, London.
- Fahmy, A. M. (1966). Muslim naval organisation in the eastern Mediterranean from the seventh to the tenth century AD. National Publication & Print House, Cairo.
- Faraldo Victorica, G. et Curvers, H. H. (2002). Les quartiers de Berytus I: les vestiges ramono-byzantins dans le N-E (Bey 028, 031, 046 et 115). Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises, 6, 259-282.
- Felici, E. (1993). Osservazioni sul porto neroniano di Anzio e sulla tecnica romana delle costruzioni portuali in calcestruzzo. Archeologia Subacquea, 1, 71-104.
- Felici, E. (2002). Scoperte epigrafici e topografiche sulla costruzione del porto neroniano di Antium. Archeologia Subacquea, 3, 107-122.
- Felici, E. et Balderi, G. (1997). Il porto romano di Cosa: appunti per l'interpretazione tecnica di un'opera marittima in cementizio. In: Archeologia Subacquea: studi, ricerche e documenti, 2. Libreria dello stato, Roma, pp. 11-19.
- Finkbeiner, U. et Sader, H. (1997). Beirut BEY 020: Preliminary report on the 1995 excavations. Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises, 2, 114-166.
- Firth, A. et Ferrari, B. (1992). Archaeology and Marine Protected Areas. International Journal of Nautical Archaeology, 21, 67-74.
- Fitchen, J. (1988). Building construction before mechanization. MIT Press, London.
- Fleisch, H. (1946). Position de l'Acheuléen à Ras Beyrouth (Liban).

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

Bulletin de la société préhistorique française, 43, 293-299.

Fleming, W.B. (1915). History of Tyre. Columbia University Press, New York.

Flemming, N. C. (1961). Apollonia revisited. Geographical Magazine, 33, 522-530.

Flemming, N. C. (1965). Apollonia. In: du Plat Taylor, J. (Ed.), Marine Archaeology. London, pp. 168-178.

Flemming, N. C. (1971). Cities in the sea. Doubleday, New York.

Flemming, N. C. (1978). Holocene eustatic changes and coastal tectonics in the northeast Mediterranean: implications for models of crustal consumption. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A, 289, 405-458.

Flemming, N. C. (1996). Sea level, neotectonics and changes in coastal settlements: threat and response. In: Rice, E. E. (Ed.), The Sea and History. Sutton, pp. 23-52.

Flemming, N. C. (1998). Archaeological evidence for vertical movement on the continental shelf during the Palaeolithic, Neolithic and Bronze Age periods. In: Stewart, I. and Vita-Finzi, C. (Eds.), Coastal Tectonics. Geological Society of London, Special Publications 146, pp. 129-146.

Flinn, D. (1997). The Role of Wave Diffraction in the Formation of St. Ninian's Ayre (Tombolo) in Shetland, Scotland. Journal of Coastal Research, 13, 202-208.

Foerster Laures, F. (1986). Roman maritime trades. International Journal of Nautical Archaeology, 15, 166-167.

Forest, C. et Forest, J. D. (1977). Fouilles de la Municipalité de Beyrouth. Geuthner, Paris.

Forstner-Müller, I., Kopetzky, K. et Doumet-Serhal, C. (2006). Egyptian pottery of the late 12th and 13th dynasty from Sidon. Archaeology and History in Lebanon, 24, 52-59.

Fouache, E. (Ed.) (2003). The Mediterranean world environment and history. Elsevier, Paris.

Fouache, E., Dalongeville, R., Kunesch, S., Suc, J.-P., Subally, D., Prieur, A. et Lozouet, P. (2005). The environmental setting of the harbor of the classical site of Oeniades on the Acheloos delta, Greece. Geoarchaeology, 20, 285-302.

Fouache, E. et Pavlopoulos, K. (Eds.) (2005). Sea-level changes in eastern Mediterranean during Holocene: indicators and human impacts. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Volume 137.

Franco, L. (1996). Ancient Mediterranean harbours: a heritage to preserve. Ocean and Coastal Management, 30, 115-151.

Francou, S. (2002). La mobilité des rivages du port de Beyrouth à l'époque contemporaine, une aide à la recherche géoarchéologique. Archaeology and History in Lebanon, 15, 52-56.

Frechen, M., Dermann, B., Boenigk, W. et Ronen, A. (2001). Luminescence chronology of aeolianites from the section at Givat Olga - Coastal Plain of Israel. Quaternary Science Reviews, 20, 805-809.

Frechen, M., Neber, A., Dermann, B., Tsatskin, A., Boenigk, W. et Ronen, A. (2002). Chronostratigraphy of aeolianites

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

from the Sharon Coastal Plain of Israel. Quaternary International, 89, 31-44.

Frechen, M., Neber, A., Tsatskin, A., Boenigk, W. et Ronen, A. (2004). Chronology of Pleistocene sedimentary cycles in the Carmel Coastal Plain of Israel. Quaternary International, 121, 41-52.

Frost, H. (1963). Under the Mediterranean. Routledge, London.

Frost, H. (1964). Rouad, ses récifs et mouillages. Prospection sous-marine. Annales Archéologiques de Syrie, 14, 67-74.

Frost, H. (1966). The Arwad plans 1964, a photogrammetric survey of marine installations. Annales Archeologique de Syrie, 16, 13-28.

Frost, H. (1969a). The stone anchors of Byblos. Mélanges Dunand, Mélanges de l'Université Saint Joseph, LXV, 26, 425-442.

Frost, H. (1970). Bronze-Age Stone-Anchors from the Eastern Mediterranean. Mariner's Mirror, 56, 377-394.

Frost, H. (1971). Recent observations on the submerged harbour works at Tyre. Bulletin du Musée de Beyrouth, 24, 103-111.

Frost, H. (1973). The offshore island harbour at Sidon and other Phoenician sites in the light of new dating evidence. International Journal of Nautical Archaeology, 2, 75-94.

Frost, H. (1990). Museum report - tourism aids archaeology: the Ustica experiment. International Journal of Nautical Archaeology, 19, 341-343.

Frost, H. (1995). Harbours and proto-harbours; early Levantine engineering. In: Karageorghis, V. and D. Michaelides, D. (Eds.), Proceedings of the International Symposium 'Cyprus and the Sea'. University of Cyprus, Nicosia, pp. 1-21.

Frost, H. (2000a). From Byblos to Pharos. In: Some archaeological considerations. Underwater archaeology and coastal management. Focus on Alexandria. UNESCO publishing, coastal management sourcebooks, Paris, pp. 64-68.

Frost, H. (2000b). Installations on the ancient offshore anchorage at Sidon (the rock island of Zire). National Museum News, 10, 69-73.

Frost, H. (2002a). Byblos: the lost temple, the cedars and the sea. A marine archaeological survey. Archaeology and History in Lebanon 15, 57-77.

Frost, H., (2002b). Fourth season of marine investigation: preliminary charting of the offshore shallows. Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises 6, 309-316.

Frost, H. (2004). Byblos and the Sea. In: Doumet-Serhal, C. (Ed.), Decade: A Decade of Archaeology and History in the Lebanon. Archaeology and History in Lebanon, Beirut, pp. 316-347.

Frost, H. (2005). Archaeology, history and the history of archaeology connected with Tyre's harbours. Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises, Hors-Série 2, 45-52.

Frost, H. et Morhange, C. (2000). Proposition de localisation des ports antiques de Byblos (Liban). Méditerranée, 94, 101-104.

- Frumkin, A., Magaritz, M., Carmi, I. et Zak I. (1991). The Holocene climatic record of the salt caves of Mount Sedom, Israel. *The Holocene*, 1, 191-200.
- Galili, E. et Weinstein-Evron, M. (1985). Prehistory and paleoenvironments of submerged sites along the Carmel coast of Israel. *Paléorient*, 11, 37-51.
- Galili, E., Dahari, U. et Sharvit, J. (1993a). Underwater surveys and rescue excavations along the Israeli coast. *International Journal of Nautical Archaeology*, 22, 61-77.
- Galili, E., Weinstein-Evron, M., Hershkovitz, I., Gopher, A., Kislev, M., Lernau, O., Kolska-Horwitz, L. et Lernau, H. (1993b). Atlit-Yam: a prehistoric site on the sea floor off the Israeli coast. *Journal of Field Archaeology*, 20, 133-157.
- Galili, E. et Sharvit, J. (1998). Ancient coastal installations and the tectonic stability of the Israeli coast in historical times. In: Stewart, I. S. and Vita-Finzi, C. (Eds.), *Coastal tectonics*. Geological Society, Special Publications 146, London, pp. 147-163.
- Galili, E., Raban, A. et Sharvit, J. (2002). Forty years of marine archaeology in Israel. *Tropis*, 7, 927-961.
- Gambin, T. (2004). Islands of the Middle Sea: an archaeology of a coastline. In: De Maria, L. and Turchetti, R. (Eds.), *Evolución paleoambiental de los puertos y fondeaderos antiguos en el Mediterráneo occidental*. Rubbettino Editore, Soveria Mannelli, pp. 127-146.
- García, D. and Vallet, L. (Eds.) (2002). *L'espace portuaire de Lattes antique*. Lattara, 15, 1-223.
- García, J. M. (1998). *Portus Carthaginensis*. Simbiosis de un emporio y una gran base militar. In: Pérez Ballester, J. et Berlanga, G. P. (Eds.), *Reunión Internacional sobre Puertos Antiguos y Comercio Marítimo*. III Jornades de Arqueología Subacuática: Actas. La Imprenta, Valencia, pp. 77-97.
- Gardner, J. V., Dartnell, P., Mayer, L. A., Hughes Clarke, J. E., Calder, B. R. et Duffy, G. (2005). Shelf-edge deltas and drowned barrier-island complexes on the northwest Florida outer continental shelf. *Geomorphology*, 64, 133-166.
- Garrison, E. G. (1998). *A History of Engineering and Technology: Artful Methods*. CRC Press, Florida.
- Gavin, A. et Maluf, R. (1996). *Beirut Reborn: The Restoration and Development of the Central District*. Wiley, London.
- Gazda, E. K. (2001). Cosa's Contribution to the Study of Roman Hydraulic Concrete: An Historiographic Commentary. In: Goldman, N. W. (Ed.), *Classical Studies in Honor of Cleo Rickman Fitch*, New York, pp. 145-177.
- Gé, T., Migeon, W. et Szepertyski, B. (2005). L'élévation séculaire des berges antiques et médiévales de Bordeaux. *Étude géoarchéologique et dendrochronologique*. *Comptes Rendus Geoscience*, 337, 297-303.
- Georgiades, A. S. (1907). Les ports de la Grèce dans l'Antiquité qui subsistent encore aujourd'hui. Athènes, Files 1-6.
- Giampaola, D., Carsana, V. et Boetto, G. (2004). Il mare torna a bagnare Neapolis. Parte II: dalla scoperta del porto al recupero dei relitti. *L'archeologo subacqueo*, 10, 3, 15-19.

- del porto di Traiano: metodo e progetto. Gangemi Editore, Roma.
- Giampaola, D. et Carsana, V. (2005). Le nuove scoperte: la città, il porto e le macchine. In: Lo Sarde, E. (Ed.), *Eureka! il genio degli antichi*. Museo archeologico nazionale, Napoli, pp. 116-122.
- Gianfrotta, P. A. (1996). Harbor Structures of the Augustan Age in Italy. In: Raban, A. and Holum, K. G. (Eds.), *Caesarea Maritima: A Retrospective after Two Millennia*. Brill Academic Publishers, Leiden, pp. 65-76.
- Gibbins, D. J. L. (1990). The hidden museums of the Mediterranean. *New Scientist*, 128, 35-40.
- Giescke, H.-E. (1983). The Akrotiri Ship Fresco. *International Journal of Nautical Archaeology*, 12, 123-143.
- Gifford, J., Rapp, G. and Vitali, V. (1992). Paleogeography of Carthage (Tunisia): Coastal change during the first millennium BC. *Journal of Archaeological Science*, 19, 575-596.
- Gill, D. (1999). Non-tectonic settlement of the Herodian harbour in Caesarea. *Israel Geological Society Annual Meeting*, 24.
- Gillmer, T. C. (1975). The Thera Ship. *Mariner's Mirror*, 61, 321-329.
- Gillmer, T. C. (1978). The Thera Ships: A Re-analysis. *Mariner's Mirror*, 64, 125-133.
- Gillmer, T. C. (1985). The Thera Ships as Sailing Vessels. *Mariner's Mirror*, 71, 401-416.
- Giuliani, C. F. (1996). Note sulla topografia di Portus. In: Mannucci, V. (Ed.), *Il parco archeologico naturalistico*
- Goddio, F., Bernand, A., Bernand, E., Darwish, I., Kiss, Z. et Yoyotte, J. (1998). *Alexandria: the Submerged Royal Quarters*. Periplus, London.
- Goddio, F. et Bernand, A. (2004). *Sunken Egypt - Alexandria*. Periplus, London.
- Goddio, F., Clauss, M. et Gerigk, C. (2006). *Egypt's Sunken Treasures*. Prestel Publishing, London.
- Goiran, J.-P. (2001). *Recherches géomorphologiques dans la région littorale d'Alexandrie, Egypte*, PhD thesis. Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Goiran, J.-P. et Morhange, C. (2003). *Géoarchéologie des ports antiques de méditerranée*. *Topoi*, 11, 645-667.
- Goiran, J.-P., Marriner, N., Morhange, C., Abd El-Maguib, M., Espic, K., Bourcier, M. et Carbonel, P. (2005). Evolution géomorphologique de la façade maritime d'Alexandrie (Egypte) au cours des six derniers millénaires. *Méditerranée*, 104, 61-64.
- Goldsmith, V., et Sofer, S. (1983). Wave climatology of the southeastern Mediterranean. *Israel Journal of Earth Science*, 32, 1-51.
- Good, G. L. (Ed.) (1991). *Waterfront Archaeology: International Conference Proceedings*. Council for British Archaeology.
- Goodfriend, G. A. et Stanley, D. J. (1999). Rapid strand-plain accretion in the northeastern Nile Delta in the 9th century A.D. and the demise of the port of Pelusium. *Geology*, 27, 147-150.

- Gosseume, E. (1973). Le tombolo triple d'Orbetello (Toscane). *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 7, 3-11.
- Gouvernet, C. (1948). Une plage ancienne dans le Lacydon à Marseille. *Bull. Soc. Linn. de Prov.*, 16, 13-19.
- Grenier, A. (1934). *Manuel d'archéologie Gallo-Romaine*. Picard, Paris.
- Griffiths, D. et Ownby, M. (2006). Assessing the occurrence of Egyptian marl C ceramics in Middle Bronze Age Sidon. *Archaeology and History in Lebanon*, 24, 63-77.
- Guérin, V. (1880). *Description géographique, historique et archéologique de la Palestine*. Auguste Durand, Paris.
- Guidoboni, E., Comastri, A. et Traina, G. (1994). Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century. *Istituto Nazionale di Geofisica, Bologna, Roma*.
- Guilcher, A. (1958). Coastal and submarine morphology. Methuen and Co. Ltd., London.
- Gulliver, F. P. (1896). Cuspate forelands. *Geological Society of America Bulletin*, 7, 399-422.
- Gulliver, F. P. (1899). Shoreline topography. *Proceedings of the American Academy of Arts and Science*, 34, 149-258.
- Gutscher, M. A. (2005). Destruction of Atlantis by a great earthquake and tsunami? A geological analysis of the Spartel Bank hypothesis. *Geology*, 33, 685-688.
- Haggai, A. (2006). Phoenician Atlit and its newly-excavated harbour: a reassessment. *Tel Aviv, Journal of the Institute of Archaeology of Tel Aviv University*, 33, 43-60.
- Hairy, I. (2006). Alexandrie: nouvelles découvertes autour du Phare. *Archéologia*, 429, 26-36.
- Haldane, C. W. (1990). Egyptian Hulls and Evidence for Caulking. *International Journal of Nautical Archaeology*, 19, 135-136.
- Haldane, D. (1993). At the crossroads of history: nautical archaeology in Syria. *Institute for Nautical Archaeology Newsletter*, 20, 3-7.
- Hall, L. J. (2004). *Roman Berytus: Beirut in Late Antiquity*. Routledge, London.
- Halliday Saville, L. (1941). Ancient Harbours. *Antiquity*, 15, 209-232.
- Hankey, V. (1993). Egypt, the Aegean and the Levant. *Egyptian Archaeology*, 3, 27-29.
- Harajli, M., Sadek, S. et Asbahan, R. (2002). Evaluation of the seismic hazard of Lebanon. *Journal of Seismology*, 6, 257-277.
- Hastaoglou-Martiniadis, V. (1998). Les villes-ports du bassin oriental de la Méditerranée à la fin du XIXe siècle: travaux portuaires et transformations urbaines. In: *Petites et grandes villes du bassin Méditerranéen. Etudes autour de l'œuvre d'Etienne Dalmasso*. Collection de l'Ecole Française de Rome, Palais Farnèse, pp. 507-525.
- Haug, G. H., Gunther, D., Peterson, L. C. D., Sigman, M., Hughen, K. A. et Aeschlimann, B. (2003). Climate and the

- collapse of Mayan civilization. *Science*, 299, 1731-1735.
- Heinze, M. et Bartl, K. (1997). Bey 024 'Place Debbas', preliminary report. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 2, 236-257.
- Hermay, A., Hesnard, A. et Tréziny, H. (1999). Marseille grecque: la cité phocéenne (600-49 av. J.-C.). *Errance, Paris*.
- Hesnard, A. (1994). Une nouvelle fouille du port de Marseille, Place Jules Verne. *Compte-rendus de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 1, 195-216.
- Hesnard, A. (1995). Les ports antiques de Marseille, Place Jules-Verne. *Journal of Roman Archaeology*, 8, 65-77.
- Hesnard, A. (2004a). Terre submergée, mer enterrée: une "géoarchéologie" du port antique de Marseille. In: *De Maria, L. and Turchetti, R. (Eds.), Evolución paleoambiental de los puertos y fondeaderos antiguos en el Mediterráneo occidental*. Rubbettino Editore, Soveria Mannelli, pp. 3-29.
- Hesnard, A. (2004b). Vitruve, De architectura, V, 12 et le port romain de Marseille. In: *Gallina Zevi, A. and Turchetti, R. (Eds.), Le strutture dei porti e degli approdi antichi*. Rubbettino Editore, Soveria Mannelli, pp. 175-203.
- Hesse, A. (1998). Arguments pour une nouvelle hypothèse de localisation de l'Heptastade d'Alexandrie. *Etudes alexandrines*, 1, 1-33.
- Hine, A. C. (1979). Mechanisms of berm development and resulting beach growth along a barrier spit complex. *Sedimentology*, 6, 333-351.
- Hohlfelder, R. L. (1997). Building harbours in the early Byzantine era: the persistence of Roman technology. *Byzantinische Forschungen Internationale Zeitschrift für Byzantinistik*, 24, 367-389.
- Holst, S. et Harb, A. (2006). *Phoenicians: Lebanon's Epic Heritage*. Sierra Sunrise Publishing.
- Horden, P. et Purcell, N. (2000). *The Corrupting Sea: A Study of Mediterranean History*. Blackwell Publishers, Oxford.
- Hornell, J. (1970). *Water Transport: Origins and Early Evolution*. Newton Abbot.
- Humphrey, J. W., Oleson, J. P. et Sherwood, A. N. (1998). *Greek and Roman Technology: A Sourcebook - Annotated Translations of Greek and Latin Texts and Documents*. Routledge, London.
- Ilan, D. (1995). The Dawn of Internationalism - the Middle Bronze Age. In: *Levy, T. E. (Ed.), The Archaeology of Society in the Holy Land*. Leicester University Press, Leicester, pp. 297-319.
- Izarra, F. de (1993). *Le fleuve et les hommes en Gaule romaine*. Errance, Paris.
- Jameson, M. H. (1973). Halieis at Porto Cheli. In: *Blackman, D. J. (Ed.), Marine Archaeology*. Colston Papers 23, London.
- Jessup, H. H. (1910). *Fifty-three years in Syria*. Revell, New York.
- Jing, Z. et Rapp, G. (2003). Holocene coastal landscape evolution of the Ambracian embayment in Epirus, Western Greece and its relationships to archaeological settings. In: *Wiseman, J. and Zachos, K. (Eds.), Landscape*

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- Archaeology in Southern Epirus. American School of Classical Studies, Princeton, pp. 157-198.
- Johnson, D. W. (1919). Shore processes and shoreline development. Wiley, New York.
- Johnston, P. F. (1993). Treasure salvage, archaeological ethics and maritime museums. *International Journal of Nautical Archaeology*, 22, 53-60.
- Jondet, G. (1916). Les ports submergés de l'ancienne île de Pharos. Mémoires présentés à l'Institut Egyptien, Cairo.
- Kaegi, W. E. (2005). Byzantium and the Early Islamic Conquests. Cambridge University Press, Cambridge.
- Karageorghis, V. and Michaelides, D. (Eds.) (1995). Proceedings of the International Symposium 'Cyprus and the Sea'. University of Cyprus, Nicosia.
- Karam, N. (1996). Beyrouth. L'Histoire qu'on assassine. Self-published, Beirut.
- Kassis, A. (2005). Tyr. In: Leclant, J. (Ed.), *Dictionnaire de l'Antiquité*. Presses Universitaires de France, Paris, pp. 2234-2235.
- Katzenstein, H. J. (1997). The History of Tyre. Ben-Gurion University of the Negev Press, Jerusalem.
- Keay, S., Millett, M., Paroli, L. et Strutt, K. (Eds.) (2005a). *Portus*. Archaeological Monographs of the British School at Rome, 15, 1-360.
- Keller, F. (1854). Die keltischen Pfahlbauten in den Schweizerseen. Mitteilungen der Antiquarischen Gesellschaft in Zürich, 9, 3, 67-101.
- Kemp, P. (2001). The History of Ships. Greenwich Editions, London.
- Kennedy, H. (1985a). The Last Century of Byzantine Syria: A Reinterpretation. *Byzantinische Forschungen*, 10, 141-183.
- Kennedy, H. (1985b). From polis to madina: urban change in late antique and early Islamic Syria. *Past and Present*, 106, 3-27.
- Kenrick, J. (1855). History and Antiquities of Phoenicia. B. Fellowes, London.
- Kingsley, S. A. (1996). The ancient harbour and anchorage at Dor, Israel: Results of the underwater surveys, 1976-1991. *British Archaeological Reports International Series 626*, Oxford.
- Kiskyras, D. A. (1988). The reasons for the disappearance of the ancient Greek town Helice (Eliki): geological contribution to the search for it. In: Marinos, P. G. and Koukis, G. C. (Eds.), *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites*. Balkema, Rotterdam, pp. 1301-1306.
- Kjerfve, B. et Magill, K. E. (1989). Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology*, 88, 187-199.
- Knapp, A. B. (1993). Thalassocracies in Bronze Age Eastern Mediterranean Trade: Making and Breaking a Myth. *World Archaeology*, 24, 332-347.
- Kokkalas, S. and Koukouvelas, I. K. (2005). Fault-scarp degradation modeling in central Greece: the Kaparelli and Eliki faults (Gulf of Corinth) as a case study. *Journal of Geodynamics*, 40, 200-215.

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- Koukouvelas, I.K., Stamatopoulos, L., Katsonopoulou, D. et Pavlides, S. (2001). A palaeoseismological and geoarchaeological investigation of the Eliki fault, Gulf of Corinth, Greece. *Journal of Structural Geology*, 23, 531-543.
- Kraft, J. C., Rapp, G. et Aschenbrenner, S. E. (1975). Late Holocene Paleogeography of the Coastal Plain of the Gulf of Messina, Greece, and Its Relationships to Archaeological Settings and Coastal Change. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 1191-1208.
- Kraft, J. C., Aschenbrenner, S. E. et Rapp, G. (1977). Paleogeographic reconstructions of coastal Aegean archaeological sites. *Science*, 195, 941-947.
- Kraft, J. C., Kayan, I. and Erol, O. (1980a). Geomorphic reconstructions in the environs of ancient Troy. *Science*, 209, 1191-1208.
- Kraft, J. C., Rapp, G. R. and Aschenbrenner, S. E. (1980b). Late Holocene Palaeogeomorphic Reconstructions in the Area of the Bay of Navarino: Sandy Pylos. *Journal of Archaeological Science*, 7, 187-210.
- Kraft, J. C., Belknap, D. F. et Kayan, I. (1983). Potentials of discovery of human occupation sites on the continental shelves and nearshore coastal zone. In: Masters, P. M. et Flemming, N. C. (Eds.), *Quaternary Coastlines and Maritime Archaeology*. Academic Press, London, pp. 87-120.
- Kraft, J. C., Rapp, G. R., Kayan, I. et Luce, J. V. (2003). Harbor areas at ancient Troy: sedimentology and geomorphology complement Homer's Iliad. *Geology*, 31, 163-166.
- Kraft, J. C., Rapp, G. R., Aschenbrenner, S. E. et Gifford, J. A. (2005). Coastal Change and Archaeological Settings in Elis. *Hesperia*, 74, 1-39.
- Kristiansen, K. et Larsson, T. B. (2005). The Rise of Bronze Age Society: Travels, Transmissions and Transformations. Cambridge University Press, Cambridge.
- Laborel, J. et Laborel-Deguen, F. (1994). Biological indicators of relative sea-level variations and co-seismic displacements in the Mediterranean region. *Journal of Coastal Research*, 10, 395-415.
- Laborel, J., Morhange, C., Lafont, R., Le Campion, J., Laborel-Deguen, F. and Sartoretto, S. (1994). Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica. *Marine Geology*, 120, 203-223.
- Lambeck, K. et Bard, E. (2000). Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 175, 203-222.
- Langley, S. B. M. et Unger, R. W. (1984). Nautical archaeology: progress and public responsibility. *British Archaeological Report International Series 220*, Oxford.
- Laorty-Hadji, R. P. (1855). La Syrie, la Palestine et la Judée. Pèlerinage à Jérusalem. 6e édition. Bolle-Lasalle, Paris.
- Lauffray, J. (1944-45). Forums et monuments de Béryte. *Bulletin du Musée de Beyrouth*, 7, 13-80.
- Lauffray, J. (1946-48). Forums et monuments de Béryte. *Bulletin du Musée de Beyrouth*, 8, 7-16.

- Lauffray, J. (1995). Beyrouth : ce qui n'a pas été dit. *Archéologia*, 317, 4-11.
- Le Roux, G., Véron, A. et Morhange, C. (2003a). Geochemical evidences of early anthropogenic activity in harbour sediments from Sidon. *Archaeology and History in Lebanon*, 18, 115-119.
- Lefèvre, A. (1995a). Le plus grand chantier d'archéologie urbaine au monde. *Archéologia*, 316, 14-33.
- Lefèvre, A. (1995b). Beyrouth, l'archéologie par le vide. *Archéologia*, 317, 4-33.
- Lehmann-Hartleben, K. (1923). *Die Antiken Hafenanlagen im Östlichen Mittelmeer*. Dietrich, Leipzig.
- Lemcke, G. et Sturm, M. (1997). $\delta^{18}\text{O}$ and trace element measurements as proxy for the reconstruction of climate changes at Lake Van (Turkey): preliminary results. In: Dalfes, H. N. *et al.* (Eds.), *Third millennium B.C. climate change and Old World collapse*, volume 49. Berlin, Springer, Berlin, pp. 178-196.
- Lena, G. et Medaglia, S. (2002). Variazioni della linea di costa antica fra Monasterace Marina e la Foce della Fiumara Assi (RC). *Geologia dell'Ambiente*, 4, 19-22.
- Leoni, G. et Dai Pra, G. (1997). Variazioni del livello del mare nel tardo Olocene (ultimi 2500 anni), lungo la costa del Lazio, in base ad indicatori geoarcheologici, interazioni fra neotettonica, eustatismo e clima. ENEA, Dipartimento Ambiente, Centro Ricerche Casaccia RT/AMB/97/8, Roma.
- Lespez, L., Dalongeville, R., Pastre, J.-F., Darmon, F., Mathieu, R. et Poursoulis, G. (2003a). Late-Middle-Holocene palaeo-environmental evolution and coastline changes of Malia (Crete). In: Fouache, E. (Ed.), *The Mediterranean World Environment and History*. Elsevier, London, Paris, pp. 439-452.
- Lespez, L., Dalongeville, R., Pastre, J.-F. et Müller-Celka, S. (2003b). Le site de Malia et la mer, approche paléoenvironnementale. Résultats préliminaires : l'analyse sédimentologique du sondage VI. *Topoi*, 11, 613-633.
- Leveau, P. (2005). L'archéologie du paysage et l'antiquité classique. *Agri Centuriati*, 2, 9-24.
- Leveau, P., Trément, F., Walsh, K. et Barker, G. (Eds.) (1999). *Environmental Reconstruction in Mediterranean Landscape Archaeology*. Oxbow Books, Oxford.
- Lewis, A. R. (1951). Naval power and trade in the Mediterranean AD 500-1100. Princeton University Press, Princeton New Jersey.
- Lewis, J. D. (1973). Cosa: an early Roman Harbour. In: Blackman, D. J. (Ed.), *Marine Archaeology*. Colston Papers 23, London, pp. 219-231.
- Linder, E. (1967). Athlit, ville phénicienne d'Israël a-t-elle eu le premier port artificiel de Méditerranée? *Archéologia*, 17, 25-29.
- Lipinski, E. (2004). *Itineraria Phoenicia*. Peeters Publishers, Leuven.
- Lortet, L. (1884). *La Syrie d'aujourd'hui. Voyages dans la Phénicie, le Liban et la Judée, 1875-1880*. Hachette, Paris.

- Løytved, J. (1876). Plan de Beyrouth dédié à S. M. J. le Sultan Abdel Hamid II, scale 1:12500.
- Lyell, C. (1830). *Principles of Geology*, Volume 1. John Murray, London.
- Lyell, C. (1863). *Geological Evidence of the Antiquity of Man*. John Murray, London.
- MacGillivray, J. A. (2003). A Middle Minoan cup from Sidon. *Archaeology and History in Lebanon*, 18, 20-24.
- Malhotra, V. M. et Mehta, P. K. (1996). *Pozzolanic and Cementitious Materials*. Gordon & Breach Science Publishers Ltd, Emmapplein.
- Mannucci, V. (1996). *Il parco archeologico naturalistico del porto di Traiano*. Gangemi editore, Roma.
- Marcus, E. (2002a). Early seafaring and maritime activity in the southern Levant from prehistory through the third millennium BCE. In: Van den Brink, E. C. M. and Levy, T. E. (Eds.), *Egypt and the Levant: Interrelations from the 4th through early 3rd millennium BCE*. *New Studies in Anthropological Archaeology*, Leicester University Press/Continuum International Publishing Group, UK, pp. 403-417.
- Marcus, E. (2002b). The southern Levant and maritime trade during the Middle Bronze IIa period. In: Oren, E. and Ahituv, S. (Eds.), *Aharon Kempinski Memorial Volume: Studies in Archaeology and Related Disciplines*. Beer Sheva, Studies by the Department of Bible and Ancient Near East, vol. 15, Ben-Gurion University of the Negev Press, pp. 241-263.
- Marinatos, S. (1971). Excavations at Thera IV (1970 Season). Athens.
- Marinatos, S. (1974). Excavations at Thera IV (1972 Season). Athens.
- Marinatos, S. (1976). Excavations at Thera VII (1973 Season). Athens.
- Markoe, G. E. (2002). *Phoenicians*. British Museum Press, London.
- Marquis, P. (2004). Les fouilles du centre-ville. In: Doumet-Serhal, C. (Ed.), *Decade: A Decade of Archaeology and History in the Lebanon*. *Archaeology and History in Lebanon*, Beirut, pp. 266-279.
- Marriner, N. (2007). *Geoarchaeology of Phoenicia's buried harbours: Beirut, Sidon and Tyre: 5000 years of human-environment interactions*, unpublished PhD thesis. Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Marriner, N. et Morhange, C. (2005a). Under the city centre, the ancient harbour. Tyre and Sidon: heritages to preserve. *Journal of Cultural Heritage*, 6, 183-189.
- Marriner, N. et Morhange, C. (2005b). Save Tyre. *Méditerranée*, 104, 129-131.
- Marriner, N., Morhange, C., Boudagher-Fadel, M., Bourcier, M. et Carbonel, P. (2005). Geoarchaeology of Tyre's ancient northern harbour, Phoenicia. *Journal of Archaeological Science*, 32, 1302-1327.
- Marriner, N. et Morhange, C. (2006a). Geoarchaeological evidence for dredging in Tyre's ancient harbour, Levant. *Quaternary Research*, 65, 64-171.
- Marriner, N. et Morhange, C. (2006b). The 'Ancient Harbour Parasequence': anthropogenic forcing of the stratigraphic

- highstand record. *Sedimentary Geology*, 186, 13-17.
- Marriner, N., Morhange, C., Doumet-Serhal, C. et Carbonel, P. (2006a). Geoscience rediscovers Phoenicia's buried harbors. *Geology*, 34, 1-4.
- Marriner, N., Morhange, C. et Doumet-Serhal, C. (2006b). Geoarchaeology of Sidon's ancient harbours, Phoenicia. *Journal of Archaeological Science*, 33, 1514-1535.
- Marriner, N. et Morhange, C. (2007). Geoscience of ancient Mediterranean harbours. *Earth-Science Reviews*, 80, 137-194.
- Marriner, N., Morhange, C. et Carayon, N. (2008a). Ancient Tyre and its harbours: 5000 years of human-environment interactions. *Journal of Archaeological Science*, 35, 1281-1310.
- Marriner, N., Goiran, J.-P. et Morhange, C. (2008b). Alexander the Great's tomolos at Tyre and Alexandria, eastern Mediterranean. *Geomorphology*, 100, 377-400.
- Mart, Y. et Peregman, I. (1996). Neotectonic activity in Caesarea, the Mediterranean coast of central Israel. *Tectonophysics*, 254, 139-153.
- Masters, P. M. et Flemming, N. C. (Eds.) (1983). *Quaternary Coastlines and Maritime Archaeology*. Academic Press, London.
- Maundrell, H. (1703). *A Journey From Aleppo to Jerusalem At Easter A.D. 1697*.
- McCann, A. M. (1979). The Harbor and Fishery Remains at Cosa, Italy. *Journal of Field Archaeology*, 6, 391-411.
- McCann, A. M. (2002). The Roman Port and Fishery of Cosa. The American Academy in Rome, Rome.
- McCann, A. M., Bourgeois, J., Gazda, E. K., Oleson, J. P. et Will, E. L. (1987). The Roman Port and Fishery of Cosa: a Center of Ancient Trade. Princeton University Press, Princeton.
- McCaslin, D. E. (1980). Stone anchors in antiquity: coastal settlements and maritime trade-routes in the Eastern Mediterranean ca. 1600-1050 BC. *Åström*.
- McGarry, S., Bar-Matthews, M., Matthews, A., Vaks, A., Schilman, B. et Ayalon, A. (2004). Constraints on hydrological and paleotemperature variations in the Eastern Mediterranean region in the last 140 ka given by the δD values of speleothem fluid inclusions. *Quaternary Science Reviews*, 23, 919-934.
- McKee Smith, J., Sherlock, A. R. et Donald, T. (2001). STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model User's Manual for STWAVE Version 3.0. U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC.
- Mehta, P. K. (1991). *Concrete in the Marine Environment*. Elsevier, Barking.
- Melis, S. (2000). Variations des lignes de rivage aux environs de la ville antique de Nora (Sardaigne, Sud-Ouest-Italie) d'après les données géoarchéologiques. In: Vermeulen, F. and De Dapper, M. (Eds.), *Geoarchaeology of the landscapes of Classical Antiquity*. Peeters Publishers, Leiden, pp. 127-135.
- Ménanteau, L. et Geffray, O. (2003). Géoarchéologie de la chora de Nymphaion (presqu'île et Détroit de Kertch, Ukraine): apport de la télédétection spatiale et corrélation avec

- les données archéologiques et historiques. *Archeologia*, 54, 17-27.
- Mendleson, C. (1996). Beirut: Uncovering the Past. *National Museum News*, 3, 8-9.
- Mesnil du Buisson, R. du (1921). Les anciennes défenses de Beyrouth. *Syria*, 21, 235-57 and 317-327.
- Mikati, R. et Perring, D. (2006). From metropolis to ribat: some recent work on Beirut at the end of antiquity. *Archaeology and History in Lebanon*, 23, 42-55.
- Milne, G. (1982). Recent work on London's Roman harbour. *International Journal of Nautical Archaeology*, 11, 163.
- Milne, G. (1985). *The Port of Roman London*. Batsford, London.
- Milne, G. et Hobley, B. (Eds.) (1981). *Waterfront Archaeology in Britain and Northern Europe (CBA Research Reports)*. Council for British Archaeology, York.
- Milne, G. et Bateman, N. (1983). A Roman harbour in London: excavations and observations near Pudding Lane. *Britannia*, 15, 207-226.
- Ming, D. et Chiew, Y.-M. (2000). Shoreline changes behind detached breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, March/April, 63-70.
- Mitchell, S. (2006). *A History of the Later Roman Empire: AD 284-641*. Blackwell, London.
- Monicault, J. (1936). Le port de Beyrouth et l'économie des pays du Levant sous le mandat français, PhD thesis. Librairie technique et économique, Paris.
- Moran, W.F. (1987). *Les lettres d'El-Amarna (LAPO 13)*, Paris.
- Morhange, C. (1994). La mobilité des littoraux provençaux: Eléments d'analyse géomorphologiques, PhD thesis. Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Morhange, C. (Ed.) (2000). *Ports antiques et paléoenvironnements littoraux. Méditerranée*, 94, 1-112.
- Morhange, C. (2001). Mobilité littorale de quelques sites portuaires antiques de Méditerranée : Marseille, Pouzoes, Cumes, Kition et Sidon, HDR thesis. Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Morhange, C., Laborel, J. et Hesnard, A. (2001). Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbor of Marseilles, Southern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 166, 319-329.
- Morhange, C., Blanc, F., Bourcier, M., Carbonel, P., Prone, A., Schmitt-Mercury, S., Vivent, D. et Hesnard, A. (2003a). Bio-sedimentology of the late Holocene deposits of the ancient harbor of Marseilles (Southern France, Mediterranean sea). *The Holocene*, 13, 593-604.
- Morhange, C., Espic, K., Doumet-Serhal, C., Bourcier, M. et Carbonel, P. (2003b). The ancient harbours of Sidon, attempt at a synthesis (1998-2002). *Archaeology and History in Lebanon*, 18, 71-81.
- Morhange, C. et Saghieh-Beydoun, M. (Eds.) (2005). Etude géoarchéologique de quatre ports antiques du Liban (Byblos, Beyrouth, Sidon et Tyr). *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises, Hors-Série 2*.

- Morhange, C., Goiran, J.-P. et Marriner, N. (Eds.) (2005a). Environnements littoraux méditerranéens, héritages et mobilité/Coastal geoarchaeology of the Mediterranean. *Méditerranée*, 104, 1-140.
- Morhange, C., Hamdan Taha, M., Humbert, J. B. et Marriner, N. (2005b). Human settlement and coastal change in Gaza since the Bronze Age. *Méditerranée*, 104, 75-78.
- Morhange, C., Marriner, N., Laborel, J., Todesco, M. et Oberlin, C. (2006a). Rapid sea-level movements and nonruptive crustal deformations in the Phlegrean Fields caldera, Italy. *Geology*, 34, 93-96.
- Morhange, C., Pirazzoli, P. A., Marriner, N., Montaggioni, L. F. et Nammour, T. (2006b). Late Holocene relative sea-level changes in Lebanon, Eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 230, 99-114.
- Moscato, S. (Ed.) (1997). *Les Phéniciens*. Stock, Paris.
- Mouterde, R. (1942-43). Monuments et inscriptions de Syrie et du Liban. *MUSJ*, 25, 1-23.
- Mouterde, R. (1966). *Regards sur Beyrouth, Phénicienne, Hellénistique et Romaine*. Imprimerie Catholique, Beyrouth.
- Mouterde, R. et Lauffray, J. (1952). *Beyrouth ville romaine*. Beyrouth.
- Müllenhoff, M., Handl, M., Knipping, M. et Brückner, H. (2004). The evolution of Lake Bafa (Western Turkey) - Sedimentological, microfaunal and palynological results. In: Schernewski, G. and Dolch, T. (Eds.), *Geographie der Meere und Küsten. Coastline Reports 1*, pp. 55-66.
- Naccache, A. (1996). The price of progress. *Archaeology*, 49, 51-56.
- Naccache, A. (1998). Beirut's memorycide: hear no evil, see no evil. In: Meskell, L. (Ed.), *Archaeology under fire: nationalism, politics and heritage in the Eastern Mediterranean and Middle East*. Routledge, London, pp. 140-158.
- Negrès, P. (1903a). Observations concernant les variations du niveau de la mer depuis les temps historiques et préhistoriques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 137, 222-224.
- Negrès, P. (1903b). Régression et transgression de la mer depuis l'époque glaciaire jusqu'à nos jours. *Revue universelle des mines, de la métallurgie, des travaux publics, des sciences et arts appliqués à l'industrie*, 3, 249-281.
- Negrès, P. (1904a). Vestiges antiques submergés. *Mitteilungen des Deutschen Archeologischen Instituts*, 29, 340-363.
- Negrès, P. (1904b). Nouvelles observations sur la dernière transgression de la Méditerranée. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 2, 379-381.
- Negrès, P. (1921). Les ports submergés de l'ancienne île de Pharos. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 21, 161-164.
- Nibbi, A. (1979). Some Remarks on the Assumption of Ancient Egyptian Sea-Going. *Mariner's Mirror*, 65, 201, 208.
- Nieto, X. et Raurich, X. (1998). La infraestructura portuaria ampuritana. III Jornadas de Arqueología Subacuática, Valencia, pp. 56-76.

- Nieto, X., Revil, A., Morhange, C., Vivar, G., Rizzo, E. et Aguelo, X. (2005). La fachada marítima de Ampurias: estudios geofísicos y datos arqueológicos. *Empúries*, 54, 71-100.
- Nir, Y. (1996). The city of Tyre, Lebanon and its semi-artificial tombolo. *Geoarchaeology*, 11, 235-250.
- Nordguian, L. et Salles, J.-F. (Eds.) (2000). *Aux origines de l'archéologie aérienne: A. Poidebard (1878-1955)*. Presses de l'Université Saint-Joseph, Beyrouth.
- Norwich, J. J. (1993). *Byzantium: The Apogee*. Penguin Books, London.
- Noureddine, I. et Helou, M. (2005). Underwater archaeological survey in the northern harbour at Tyre. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises, Hors-Série 2*, 111-128.
- Oleson, J. P. (1988). The technology of Roman harbours. *International Journal of Nautical Archaeology*, 17, 147-157.
- Oleson, J. P. et Branton, G. (1992). The Harbour of Caesarea Palaestinae: A Case Study of Technology Transfer in the Roman Empire. *Mitteilungen, Leichtweiß-Institut für Wasserbau*, 117, 387-421.
- Oleson, J. P., Brandon, C., Cramer, S. M., Cucitore, R., Gotti, E. et Hohlfelder, R. L. (2004a). The ROMACONS Project: a Contribution to the Historical and Engineering Analysis of Hydraulic Concrete in Roman Maritime Structures. *International Journal of Nautical Archaeology*, 33, 199-229.
- Oleson, J. P., Brandon, C. et Hohlfelder, R. L. (2004b). *The Roman Maritime Concrete Study (ROMACONS): Fieldwork at Portus, Anzio, Santa Liberata, Cosa, 2002-2003*. In: Maniscalco, F. (Ed.), *Mediterraneum: Tutela e valorizzazione dei beni culturali ed ambientali, vol. 4. Tutela del patrimonio culturale sommerso*, Naples, pp. 185-194.
- Ordóñez Agulla, S. (2003). El Puerto romano de Hispalis. In: Berlanga, G. P. and Pérez Ballester, J. (Eds.), *Puertos Fluviales Antiguos: Ciudad, Desarrollo e Infraestructuras*. Federico Morillo, Valencia, pp. 59-79.
- Ormsby, H. A. (1839). *Plan of Beirut, and its East and West Bay, the Site of Ancient Berytus (scale: 1:14,591)*. Hydrographic Office, London.
- Otvos, E. G. (2000). Beach ridges - definitions and significance. *Geomorphology*, 32, 83-108.
- Otvos, E. G. et Giardino, M. J. (2004). Interlinked barrier chain and delta lobe development, northern Gulf of Mexico. *Sedimentary Geology*, 169, 47-73.
- Papadopoulos, G., Vassilopoulou, A. et Plessa, A. (2000). A new catalogue of historical earthquakes in the Corinth rift central Greece: 480 BC - 1910 AD. In: Papadopoulos, G. (Ed.), *Historical Earthquakes and Tsunamis in the Corinth rift, Central Greece*, Publication No. 12. National Observatory of Athens, Institute of Geodynamics, Athens, pp. 9-119.
- Papageorgiou, S., Arnold, M., Laborel, J. et Stiros, S. C. (1993). Seismic uplift of the harbour of ancient Aigeira, Central Greece. *International Journal of Nautical Archaeology*, 22, 275-281.
- Paret, O. (1958). *Le mythe des cités lacustres*. Dunod, Paris.

- Paris, J. (1915). Contributions à l'étude des ports antiques du monde grec, note sur Léchaion. Bulletin de Correspondance hellénique, 29, 6-16.
- Paris, J. (1916). Contributions à l'étude des ports antiques du monde grec, les établissements maritimes de Délos. Bulletin de Correspondance hellénique, 40, 5-73.
- Parker, A. J. (1995). Maritime cultures and wreck assemblages in the Graeco-Roman world. International Journal of Nautical Archaeology, 24, 87-96.
- Paroli, L. (2005). History of Past Research at Portus. In: Keay, S., Millett, M., Paroli, L. and Strutt, K. (Eds.) Portus. Archaeological Monographs of the British School at Rome 15, London, Oxford, pp. 43-59.
- Paskoff, R., Hurst, H. et Rakob, F. (1985). Position du niveau de la mer et déplacement de la ligne de rivage à Carthage (Tunisie). Compte Rendus de l'Académie des Sciences, 300, II, 13, 613-618.
- Pasquinucci, M. (2004). Paleogeografia costiera, porti e approdi in Toscana. In: De Maria, L. et Turchetti, R. (Eds.), Evolución paleoambiental de los puertos y fondeaderos antiguos en el Mediterráneo occidental. Rubbettino Editore, Soveria Mannelli, pp. 61-86.
- Pavlopoulos, K., Karkanias, P., Triantaphyllou, M. et Karymbalis, E. (2003). Climate and sea-level changes recorded during late Holocene in the coastal plain of Marathon, Greece. In: Fouache, E. (Ed.), The Mediterranean World Environment and History. Elsevier, London; Paris, pp. 453-465.
- Peiser, B. J. (1998). Comparative Analysis of Late Holocene Environmental and Social Upheaval. In: Peiser, B. J., Palmer, T. and Bailey, M. E. (Eds.), Natural Catastrophes during Bronze Age Civilisations. British Archaeological Reports S728, Oxford, pp. 117-139.
- Péres, J.-M. (1982). Major benthic assemblages. In: Kinne, O. (Ed.), Marine Ecology, vol. 5, part 1. Wiley, Chichester, pp. 373-522.
- Péres, J.-M. et Picard, J. (1964). Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Rec. Trav. Station Marine Endoume 31, Marseille.
- Pérez Ballester, J. et Berlanga, G. P. (Eds.) (1998). Reunión Internacional sobre Puertos Antiguos y Comercio Marítimo. III Jornades de Arqueología Subacuática: Actas. La Imprenta, Valencia.
- Perrey, A. (1850). Mémoire sur les tremblements de terre ressentis dans la péninsule Turco-hellénique et en Syrie. Acad. R. Sci. de Belgique, Bruxelles, 23, 1-50.
- Perring, D. (1999). Excavations in the Souks of Beirut: An Introduction to the Work of the Anglo-Lebanese Team and Summary Report. Berytus, 43, 9-34.
- Perring, D., Seeden, H., Sheehan, P. et Williams, T. D. (1996). Archaeological excavations in the souks area of downtown Beirut. Interim report of the AUB project Bey 006 1994-1995. Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises, 1, 176-227.
- Petit-Maire, N. et Vrielinck, B. (Eds.) (2005). The Mediterranean basin: the last two climatic cycles - Explanatory notes of the maps. Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Aix-en-Provence.

- Pirazzoli, P. A. (1976). Sea level variations in the Northwest Mediterranean during Roman times. Science, 194, 519-521.
- Pirazzoli, P. A. (1986). The Early Byzantine Tectonic Paroxysm. Zeitschrift für Geomorphologie, 62, 31-49.
- Pirazzoli, P. A. (1987a). Submerged remains of ancient Megisti in Castellorizo island (Greece): a preliminary survey. International Journal of Nautical Archaeology, 16, 57-66.
- Pirazzoli, P. A. (2005). A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late-Holocene relative sea-level histories from the Mediterranean area. Quaternary Science Reviews, 24, 18-19, 1989-2001.
- Pirazzoli, P. and Thommeret, J. (1973). Une donnée nouvelle sur le niveau marin à Marseille à l'époque romaine. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 277 D, 2125-2128.
- Pirazzoli, P. A., Laborel, J., Saliege, J. F., Erol, O., Kayan, I. et Person, A. (1991). Holocene raised shorelines on the Hatay coasts (Turkey): palaeoecological and tectonic implications. Marine Geology, 96, 295-311.
- Pirazzoli, P. A., Ausseil-Badie, J., Giresse, P., Hadjidaki, E. et Arnold, M. (1992). Historical environmental changes at Phalassarna Harbor, west Crete. Geoarcheology, 7, 371-392.
- 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, 6083-6097.
- Pirenne, H. (1937). Mahomet et Charlemagne. Les Presses Universitaires de France, Paris.
- Plassard, J. (1968). Crise séismique au Liban du IV^e au VI^e siècle. Mélanges de l'Université Saint-Joseph, 44, 10-20.
- Plassard, J. et Kogol, B. (1981). Séismicité du Liban. Conseil National de la Recherche Scientifique, Beyrouth.
- Pococke, R. (1745) Description of the East and Some Other Countries, vol. II, part I. W. Bowyer, London.
- Poidebard, A. (1939). Un grand port disparu, Tyr. Recherches aériennes et sous-marines, 1934-1936. Librairie Orientaliste Paul Geuthner, Paris.
- Poidebard, A. et Lauffray, J. (1951). Sidon, aménagements antiques du port de Saïda. Etude aérienne au sol et sous-marine. Imprimerie Catholique, Beyrouth.
- Pomey, P. (1995). Les épaves grecques et romaines de la place Jules Verne à Marseille. Compte-Rendus Académie Inscriptions et Belles Lettres, avril-juin, 459-484.
- Pomey, P. et Rieth, E. (2005). L'archéologie navale. Errance, Paris.
- Poppe, G. T. and Goto, Y. (1991). European seashells, Vol. I. Verlag Christa Hemmen, Wiesbaden.
- Poppe, G. T. and Goto, Y. (1993). European seashells, Vol. II. Verlag Christa Hemmen, Wiesbaden.
- Poulain de Bossay, P. A. (1861). Recherches sur la topographie de Tyr. Madame Maire-Nyon, Paris.

- Poulain de Bossay, P. A. (1863). Recherches sur Tyr et Palaetyr. Extrait du recueil de géographie, Paris.
- Provansal, M., Morhange, C. et Vella, C. (1995). Impacts anthropiques et contraintes naturelles sur les sites portuaires antiques de Marseille et Fos: acquis méthodologique. Méditerranée, 82, 93-100.
- Raban, A. (1981). Recent maritime archaeological research in Israel. International Journal of Nautical Archaeology, 10, 287-308.
- Raban, A. (1984). Dor: installations maritimes. Revue Biblique, 91, 252-256.
- Raban, A. (1985a). Recent Maritime Archaeological Research in Israel. International Journal of Nautical Archaeology, 14, 332-349.
- Raban, A. (Ed.) (1985b). Harbour Archaeology. Proceedings of the first international workshop on ancient Mediterranean harbours. Caesarea Maritima, BAR International Series 257, Haifa.
- Raban, A. (1985c). The Ancient Harbours of Israel in Biblical Times. In: Raban, A. (Ed.) Harbour Archaeology, Oxford, pp. 11-44.
- Raban, A. (1987a). Alternated river courses during the Bronze Age along the Israeli coastline. In: Déplacements des lignes de rivage en Méditerranée d'après les données de l'archéologie. CNRS, Paris.
- Raban, A. (1987b). The Harbor of the Sea People at Dor. Biblical Archaeologist, 50, 118-126.
- Raban, A. (Ed.) (1988). Archaeology of coastal changes, Proceedings of the first international symposium "Cities on the sea - past and present". BAR International Series 404, Haifa.
- Raban, A. (1990). Man instigated coastal changes along the Israeli shore of the Mediterranean in ancient times. In: Entjes-Nieborg, G. and van Zeist W. (Eds.), Man's role in the shaping of the Eastern Mediterranean landscape. Balkema, Rotterdam, pp. 101-112.
- Raban, A. (1991). Minoan and Canaanite Harbours. In: Laffineur, R. and Basch, L. (Eds.), Thalassa: L'Egée Préhistorique et la Mer. Aegaeum, 7, pp. 129-146.
- Raban, A. (1992a). Sebastos: the royal harbour at Caesarea Maritima - a short-lived giant. International Journal of Nautical Archaeology, 21, 111-124.
- Raban, A. (1992b). Archaeological park for divers at Sebastos and other submerged remnants in Caesarea Maritima, Israel. International Journal of Nautical Archaeology, 21, 27-35.
- Raban, A. (1993). Marine Archaeology. In: Stern, E., Lewinson-Gilboa, A. and Aviram, J. (Eds.), The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land, Israel Exploration Society, Jerusalem, 1993, pp. 957-965.
- Raban, A. (1995a). The heritage of ancient harbour engineering in Cyprus and the Levant. In: Karageorghis, V. and Michaelides, D. (Eds.), Proceedings of Third International Symposium 'Cyprus and the Sea'. University of Cyprus, Nicosia, pp. 139-189.
- Raban, A. (1995b). Dor-Yam: Maritime and Coastal Installations at Dor in Their Geomorphological and Stratigraphic Context. In: Stern, E. (Ed.), Excavations at Dor, Final Report, Qedem Reports,

- International Journal of Nautical Archaeology, 21, 309-315.
- Rawlinson, G. (1889). The History of Phoenicia. Longmans, Green, and Co., London.
- Reimer, P. J. et McCormac, F. G. (2002). Marine radiocarbon reservoir corrections for the Mediterranean and Aegean seas. Radiocarbon, 44, 159-166.
- Reinhardt, E. G., Patterson, R. T. et Schröder-Adams, C. J. (1994). Geoarchaeology of the ancient harbor site of Caesarea Maritima, Israel: Evidence from Sedimentology and Paleoecology of Benthic Foraminifera. Journal of Foraminiferal Research, 24, 37-48.
- Reinhardt, E. G., Patterson, R. T., Blenkinsop, J. et Raban, A. (1998). Paleoenvironmental evolution of the inner basin of the ancient harbor at Caesarea Maritima, Israel; foraminiferal and Sr isotopic evidence. Revue de Paleobiologie, 17, 1-21.
- Reinhardt, E. G. et Raban, A. (1999). Destruction of Herod the Great's harbor Caesarea Maritima, Israel, geoarchaeological evidence. Geology, 27, 811-814.
- Renan, E. (1864). La Mission de Phénicie. Imprimerie Nationale, Paris.
- Reynolds, P. (1999). Pottery production and economic exchange in 2nd century Berytus: some preliminary observations of ceramic trends from quantified ceramic deposits from the souk excavations in Beirut. Berytus, 43, 35-110.
- Ribes, E., Borschneck, D., Morhange, C. et Sandler, A. (2003). Recherche de l'origine des argiles du bassin portuaire volume 1. The Institute of Archaeology of The Hebrew University, Israel Exploration Society, Jerusalem, pp. 285-354.
- Raban, A. (1997a). The Phoenician Harbour and Fisherman Village at Atlit. Eretz Israel, 25, 490-508.
- Raban, A. (1997b). Phoenician Harbors along the Levantine Coast. Michmanim, 11, 7-27.
- Raban, A. et Galili, E. (1985). Recent maritime archaeological research in Israel, a preliminary report. International Journal for Nautical Archaeology, 14, 321-356.
- Raban, A. et Holum, K. G. (Eds.) (1996). Caesarea Maritima: A Retrospective after Two Millennia. Brill Academic Publishers, Leiden.
- Rapp, G. et Kraft, J. C. (1994). Holocene Coastal Change in Greece and Aegean Turkey. In: Kardulias, P. N. (Ed.), Beyond the Site - Regional Studies in the Aegean Area. University Press of America, Lanham, New York, London, pp. 69-90.
- Rapp, G. et Hill, C. L. (1998). Geoarchaeology: The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation. Yale University Press, New Haven.
- Raschka, M. (2006). Beirut digs out. In: Vitelli, K. D. (Ed.), Archaeological Ethics. AltaMira Press, pp. 96-102.
- Raulin, V. (1869). Description physique de l'île de Crète. Bertrand, Paris.
- Raveh, K. et Kingsley, S. A. (1992). The wreck complex at the entrance to Dor harbour, Israel: preliminary details.

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- antique de Sidon. *Archaeology and History in Lebanon*, 18, 82-94.
- Rickman, G. E. (1988). The archaeology and history of Roman ports. *International Journal of Nautical Archaeology*, 17, 257-267.
- Riedel, H. (1995). Die spätholozäne Entwicklung des Dalyan-Delats (SW-Türkei) - ein Beitrag zur Paläogeographie Kariens. *Kölner Geographische Arbeiten*, 66, 83-96.
- Rodriguez, A. (1990). A new maritime museum for Malta. *International Journal of Nautical Archaeology*, 19, 250.
- Roller, D. W. (1998). *The Building Program of Herod the Great*. University of California Press, Los Angeles.
- Rosada, G. (2003). Il porto di Aquileia nel sistema degli scali fluvio-lagunari della Decima Regio. In: Berlanga, G. P. and Pérez Ballester, J. (Eds.), *Puertos Fluviales Antiguos: Ciudad, Desarrollo e Infraestructuras*. Federico Morillo, Valencia, pp. 277-297.
- Rosen, A. M. (1986). *Cities of Clay: The Geoarchaeology of Tells*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Rosen, A. M. (2006). *Civilizing Climate: Social Responses to Climate Change in the Ancient Near East*. AltaMira Press, Lanham.
- Rosen, A. et Rosen, S. (2001). Determinist or not determinist? : Climate, environment, and archaeological explanation in the Levant. In: Wolff, S. (Ed.), *Studies in the Archaeology of Israel and Neighboring Lands in Memory of Douglas L. Esse*. Oriental Institute, University of Chicago, Chicago, pp. 535-554.
- Rosen, D. et Kit, E. (1981). Evaluation of the wave characteristics at the Mediterranean coast of Israel. *Israel Journal of Earth Science*, 30, 120-134.
- Rossellini, S. R. (1984). The Cesenatico Maritime Museum. *Mariner's Mirror*, 7, 119-128.
- Rothé, M.-P. et Tréziny, H. (2005). Carte archéologique de la Gaule. Marseille et ses alentours, 13-3. Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, Paris.
- Rougé, J. (1966). *Recherches sur l'organisation du commerce maritime en Méditerranée sous l'empire Romain*. S. E. V. P. E. N., Paris.
- Royal Engineers (1841). Plan of the environs of Beirut (scale: 1:21,120). Royal Engineers.
- Royal, J. G. et Kahonov, Y. (2000). An Arab period merchant vessel at Tantura Lagoon, Israel. *International Journal of Nautical Archaeology*, 29, 151-153.
- Ruegg, B. S. D. (1988). Minturnae: A Roman River Seaport on the Garigliano River, Italy. In: Raban, A. (Ed.), *Archaeology of coastal changes, Proceedings of the first international symposium "Cities on the sea - past and present"*. BAR International Series 404, Haifa, pp. 209-228.
- Russell, K. W. (1985). The earthquake chronology of Palestine and Northwest Arabia from the 2nd through the mid-8th century A.D. *Bulletin of the American School of Oriental Research*, 260, 37-59.
- Sader, H. (1999). *Ancient Beirut: Urban Growth in the Light of Recent*

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- Excavations. In: Rowe, P. and Sarkis, H. (Eds.), *Projecting Beirut: Episodes in the Construction and Reconstruction of a Modern City*. Prestel, München, London, New York, pp. 122-134.
- Saghieh Beidoun, M. (1997). Evidence of Earthquakes in the Current Excavations of Beirut City Centre. *National Museum News*, 5, 15-19.
- Saghieh-Beydoun, M. (2005). Urban planning in a seaport city: Beirut from Hellenistic to Byzantine periods. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, Hor-Série 2, 147-184.
- Saghieh-Beydoun, M., 'Allam, M., 'Al'Eddine, A. et Abulhosn, S. (1998-1999). The monumental street 'Cardo Maximus' and the replanning of Roman Berytus. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 3, 95-126.
- Saghieh, M. (1996). Bey 001 and 004 preliminary report. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 1, 23-59.
- Said, R. (1993). *The River Nile: geology, hydrology and utilization*. Pergamon Press, New York.
- Saidah, R. (1979). Fouilles de Sidon-Dakerman: l'agglomération chalcolithique. *Berytus*, 27, 29-55.
- Sanderson, P. et Eliot, I. G. (1996). Shoreline salients on the coast of Western Australia. *Journal of Coastal Research*, 12, 761-773.
- Sanlaville, P. (1977). Étude géomorphologique de la région littorale du Liban. *Publications de l'Université Libanaise*, Beyrouth.
- Sanlaville, P., Dalongeville, R., Bernier, P., et Evin, J. (1997). The Syrian coast: a model of Holocene coastal evolution. *Journal of Coastal Research*, 13, 385-396.
- Säve-Söderbergh, T. (1946). *The Navy of the Eighteenth Egyptian Dynasty*. Lundequistka, Uppsala.
- Sayegh, H. et Elayi, J. (2000). Rapport préliminaire sur le port de Beyrouth au Fer III/Perse (Bey 039). *Transeuphratène*, 19, 65-74.
- Schilman, B., Bar-Matthews, M., Almogi-Labin, A. et Luz, B. (2001). Global climate instability reflected by Eastern Mediterranean marine records during the late Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176, 157-176.
- Schilman, B., Ayalon, A., Bar-Matthews, M., Kagan, E.J. et Almogi-Labin, A. (2002). Sea-land paleoclimate correlation in the Eastern Mediterranean region during the late Holocene. *Israel Journal of Earth Sciences*, 51, 181-190.
- Schmiedt, G. (1970). *Atlante aerofotografico delle sedi umane in Italia, parte II, le sedi antiche*. Firenze.
- Schmiedt, G. (1972). Il livello antico del mar Tirreno: Testimonianze dei resti archeologici. Leo S. Olschki Editore, Florence.
- Schmiedt, G. (1975). *Antichi Porti d'Italia. Gli Scali Fenico-Punici i porti della Magna-Grecia. Coi Tipi Dell'Istituto Geografico Militare*, Firenze.
- Schröder, B. et Bochum, B. B. (1996). Late Holocene Rapid Coastal Change in Western Anatolia - Büyük Menderes Plain as a Case Study. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band 102*, 61-70.

- Schwartz, R. K. et Birkemeier, W. A. (2004). Sedimentology and morphodynamics of a barrier island shoreface related to engineering concerns, Outer Banks, NC, USA. *Marine Geology*, 211, 215-255.
- Scognamiglio, E. (1997). Aggiornamenti per la topografia di Baia sommersa. *Archeologia Subacquea*, 2, 35-45.
- Scott, R. (1841). Plan of Beyrut, the ancient Berytus (scale: 1:5280). Royal Engineers.
- Scranton, R. L. et Ramage, E. S. (1967). Investigations at Corinthian Kenchreai. *Hesperia*, 36, 124-186.
- Seeden, H. (1999). Lebanon's archaeological heritage on trial in Beirut: what future for the capital's past? In: McManamon, F. P. and Hatton, A. (Eds.), *Heritage conservation in modern society. One World Archaeology*, 33, London, pp. 168-187.
- Seeden, H. et Thorpe, R. (1997-1998). Beirut from Ottoman sea walls and landfill to a twelfth century BC burial: Interim report on the archaeological excavations of the souk's northern area (BEY 007). *Berytus*, 43, 221-254.
- Segarra Lagunes, M. M. (2004). *Il Tevere e Roma: storia di una simbiosi*. Gangemi Editore, Roma.
- Shackleton, J., van Andel, T. et Runnels, C. (1984). Coastal paleogeography of the central and western Mediterranean during the last 125,000 years and its archaeological implications. *Journal of Field Archaeology*, 11, 307-314.
- Shaw, J. W. (1990). Bronze Age Aegean Harboursides. In: Hardy, D. A., Doumas, C. G., Sakellarakis, J. A. and Warren, P. M. (Eds.), *Thera and the Aegean World*. Thera Foundation, London, pp. 420-436.
- Shaw, M. D. (1743). Voyages de Monsieur Shaw, M. D. dans plusieurs provinces de la Barbarie et du Levant, contenant des observations géographiques, physiques, philologiques et mêlées sur les royaumes d'Alger et de Tunis, sur la Syrie, L'Egypte et l'Arabie pétrée, avec des cartes et des figures, ouvrage traduit de l'anglais. Jean Neaulme, La Haye, 2 vols.
- Shepard, F. P. (1964). Sea-level changes in the past 6000 years: Possible archaeological significance. *Science*, 143, 574-576.
- Siani, G., Paterne, M., Arnold, M., Bard, E., Métivier, B., Tisnerat, N. et Bassinot, F. (2000). Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon*, 42, 271-280.
- Silvester, R. et Hsu, J. R. C. (1993). *Coastal stabilization: innovative concepts*. Prentice Hall, New Jersey.
- Simms, A. R., Anderson, J. B. et Blum, M. (2006). Barrier-island aggradation via inlet migration: Mustang Island, Texas. *Sedimentary Geology*, 187, 105-125.
- Sivan, D., Wdowinski, S., Lambeck, K., Galili, E. et Raban, A. (2001). Holocene sea-level changes along the Mediterranean coast of Israel, based on archaeological observations and numerical model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 167, 101-117.
- Sivan, D. et Porat, N. (2004). Evidence from luminescence for Late Pleistocene formation of calcareous aeolianite (kurkar) and paleosol (hamra) in the Carmel Coast, Israel. *Palaeogeography,*

- Palaeoclimatology, Palaeoecology, 211, 95-106.
- Skyring, T. F. (1841). Plan of the Town and defences of Beyrut and its vicinity (scale: 1:4800). Royal Engineers.
- Soffer, A. (1994). The Litani River: Fact and Fiction. *Middle Eastern Studies*, 30, 963-974.
- Soloviev, S. L., Solovieva, O. N., Go, C. N., Kim, K. S. et Shchetnikov, N. A. (2000). Tsunamis in the Mediterranean Sea 2000 B.C.-2000 A.D. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Soter, S. (1998). Holocene uplift and subsidence of the Helike Delta, Gulf of Corinth, Greece. In: Stewart, I. and Vita-Finzi, C. (Eds.) *Coastal Tectonics*. Geological Society, London, Special Publications 146, pp. 41-56.
- Soter, S. et Katsonopoulou, D. (1998). The search for ancient Helike, 1988-1995. Geological, sonar and bore hole studies. In: Katsonopoulou, D., Soter, S. and Schilardi, D. (Eds.), *Ancient Helike and Aigialeia*. Athens, pp. 68-114.
- Sourdél, D. et J. Sourdél-Thomine, J. (1989). In: E. Poleggi (Ed.), *Città portuali del Mediterraneo: storia e archeologia*. Sagep Editrice, Genova.
- Spratt, T. S. (1865). *Travels and Researches in Crete*, Vol. 2. J. van Voorst, London.
- Staniforth, M. (1994). Public access to maritime archaeology. *Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology*, 18, 13-16.
- Stanley, D. J. (2002). Configuration of the Egypt-to-Canaan coastal margin and north Sinai byway in the Bronze Age. In: Van den Brink, E. C. M. and Levy, T. E. (Eds.), *Egypt and the Levant*. Leicester University Press, London, pp. 98-117.
- Stanley, D. J. (2005). Submergence and burial of ancient coastal sites on the subsiding Nile delta margin, Egypt. *Méditerranée*, 104, 65-73.
- Stanley, D. J. et Warne, A. G. (1994). Worldwide Initiation of Holocene Marine Deltas by Deceleration of Sea-Level Rise. *Science*, 265, 228-231.
- Stanley, D. J. et Warne, A. G. (1998). Nile Delta in its destruction phase. *Journal of Coastal Research*, 14, 794-825.
- Stanley, D. J., Goddio, F. et Schnepf, G. (2001). Nile flooding sank two ancient cities. *Nature*, 412, 293-294.
- Stanley, D. J., Goddio, F., Jorstad, T. F. et Schnepf, G. (2004a). Submergence of Ancient Greek Cities Off Egypt's Nile Delta - A Cautionary Tale. *GSA Today*, 14, 4-10.
- Stanley, J.-D., Warne, A. G. et Schnepf, G. (2004b). Geoarchaeological Interpretation of the Canopic, Largest of the Relict Nile Delta Tributaries, Egypt. *Journal of Coastal Research*, 20, 920-930.
- Stanley, D. J. et Bernasconi, M. P. (2006). Holocene Depositional Patterns and Evolution in Alexandria's Eastern Harbor, Egypt. *Journal of Coastal Research*, 22, 283-297.
- Stanley, J.-D. et Jorstad, T. F. (2006). Buried Canopic channel identified near Egypt's Nile delta coast with radar (SRTM) imagery. *Geoarchaeology*, 21, 503-514.
- Stapor, F. W. et Stone, G. W. (2004). A new depositional model for the buried

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- 4000 yr BP New Orleans barrier: implications for sea-level fluctuations and onshore transport from a nearshore shelf source. *Marine Geology*, 204, 215-234.
- Stefaniuk, L., Brun, J. P., Munzi, P. et Morhange, C. (2003). L'evoluzione dell'ambiente nei Campi Flegrei e le sue implicazioni storiche: Il caso di Cuma e le ricerche del Centre Jean Bérard nella laguna di Licola. In: Grecia, M. (Ed.), *Ambiente e Paesaggio nella Magna Grecia*. Istituto per la storia e l'archeologia della Magna Grecia, Taranto, 5-8 ottobre 2002, pp. 397-435.
- Stefaniuk, L. et Morhange, C. (2005). Evolution des paysages littoraux dans la depression sud-ouest de Cumes depuis 4000 ans. *Méditerranée*, 104, 49-59.
- Stefaniuk L., Morhange C., Saghieh-Beydoun M., Frost H., Boudagher-Fadel M., Bourcier M. et Noujaim-Clark G. (2005). Localisation et étude paléoenvironnementale des ports antiques de Byblos. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, Hors-Série 2, 19-41.
- Stiller, M., Kaushansky, P. et Carmi, I. (1983). Recent climatic changes recorded by the salinity of pore waters in the Dead Sea sediments. *Hydrobiologia*, 103, 75-79.
- Stiros, S. (1998). Archaeological evidence for unusually rapid Holocene uplift rates in an active normal faulting terrain: Roman harbour of Aigeira, Gulf of Corinth, Greece. *Geoarchaeology*, 13, 731-741.
- Stiros, S. C. (2001). The AD 365 Crete earthquake and possible seismic clustering during the fourth to sixth centuries in the Eastern Mediterranean: a review of historical and archaeological data. *Journal of Structural Geology*, 23, 545-562.
- Stiros, S. (2005). Social and historical impacts of earthquake-related sea-level changes on ancient (prehistoric to Roman) coastal sites. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Volume* 137, 79-89.
- Stiros, S., Pirazzoli, P., Rothaus, R., Papageorgiou, S., Laborel, J. et Arnold, M. (1996). On the date of construction of Lechaion, western harbour of ancient Corinth, Greece. *Geoarchaeology*, 11, 251-263.
- Stochove, V. de (1650). *Voyage du Levant du Sr de Stochove*. H. A. Velpius, Bruxelles.
- Stone, G. W., Liu, B., Pepper, D. A. et Wang, P. (2004). The importance of extratropical and tropical cyclones on the short-term evolution of barrier islands along the northern Gulf of Mexico, USA. *Marine Geology*, 210, 63-78.
- Strong, A. (2002). *The Phoenicians in History and Legend*. Authorhouse, Bloomington.
- Sunamura, T. et Mizuzo, O. (1987). A study on depositional shoreline forms behind an island. *Annual Report of the Institute of Geosciences, University of Tsukuba*, 13, 71-73.
- Tainter, J. A. (1998). *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Televantou, C. (1990). New Light on the West House Wall-paintings. In: Hardy, D. A., Doumas, C. G., Sakellarakis, J. A. and Warren, P. M. (Eds.), *Thera and the Aegean World*. Thera Foundation, London, pp. 309-324.

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- Testaguzza, O. (1964). The port of Rome. *Archaeology*, 14, 285-290.
- Thorpe, R. (1998-1999). Bey 045, preliminary report on the excavations. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 3, 57-83.
- Thorpe, R., Reuben, A., Beyhum, S., Kouly, S. et Beayno, F. (1998-1999). Bey 007 the Souks area. Preliminary report of the AUB/Acre project. *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, 3, 31-55.
- Todesco, M., Rutqvist, J., Chiodini, G., Pruess, K. et Oldenburg, C. M. (2004). Modelling of recent volcanic episodes at Phlegrean Fields (Italy): Geochemical variations and ground deformation. *Geothermics*, 33, 531-547.
- Treadgold, W. (2000). *A Concise History of Byzantium, 285-1461 (European History in Perspective)*. Palgrave Macmillan, Basingstoke.
- van Andel, T. (1989). Late Quaternary sea-level and archaeology. *Antiquity*, 63, 733-745.
- van Andel, T. H. et Shackleton, J. C. (1982). Late Paleolithic and Mesolithic Coastlines of Greece and the Aegean. *Journal of Field Archaeology*, 9, 445-454.
- Van Cotvyck, J. (1620). *Itinerarium Hierosolymitanum et Syriacum in quo variarum gentium mores et instituta, insularum, Regionum urbium situs, una ex prisca recentiorisque seculi usu; una cum eventis quae Auctoriter morique acciderunt, dilucide recensentur*. Accessit Synopsis Reipublicae Veneto. Antwerp.
- Vasseur, G. (1911). *Nouvelles découvertes et observations relatives à Massalia*. Bull. Soc. Arch. de Provence, 17, 207-218.
- Vasseur, G. (1914). L'origine de Marseille. *Annales du Museum d'histoire naturelle de Marseille*, 13, 201-224.
- Vaumas, E. de (1944). Les terrasses d'abrasion marine de la côte libanaise. *Bull. Soc. Geogr. Egypte*, 22, 21-85.
- Vaumas, E. de (1946). Le relief de Beyrouth et son influence sur le développement de la ville. *Publications Techniques et Scientifiques de l'école Française d'Ingénieurs de Beyrouth*, 11, Beirut.
- Vella, C. et Provansal, M. (2000). Relative sea-level rise and neotectonic events during the last 6500 yr on the southern eastern Rhône delta, France. *Marine Geology*, 170, 27-39.
- Vella, C., Fleury, T.-J., Raccasi, G., Provansal, M., Sabatier, F. et Bourcier, M. (2005). Evolution of the Rhône delta plain in the Holocene. *Marine Geology*, 222-223, 235-265.
- Vermeulen, F. et De Dapper, M. (Eds.) (2000). *Geoarchaeology of the Landscapes of Classical Antiquity*. Peeters Presse, Leuven.
- Villamont, J. de (1596). *Les Voyages du Seigneur de Villamont, Chevalier de L'Ordre de Hierusalem, Gentil-Homme du Pays de Bretagne: divisez en trois livres*. C. de Montr'oeil et J. Richer, Paris.
- Villas, C. (1996). Geological investigations. In: Coulson, W. D. E. (Ed.), *Ancient Naukratis: Volume II, The Survey at Naukratis and Environs*. Oxbow Monograph 60, Oxford, pp. 163-175.

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- Viret, J. (1999-2000). Nouvelles données sur le port de Tripoli, *Tempora. Annales d'histoire et d'archéologie*, 10-11, 117-138.
- Viret, J. (2000). L'apport d'Antoine Poidebard à l'archéologie des ports antique du Levant: vers une méthode d'investigation moderne. In: Nordiguian, L. and Salles, J. F. (Eds.), *Aux origines de l'archéologie moderne: A. Poidebard (1878-1955)*. Presses de l'Université Saint-Joseph, Beyrouth, pp. 151-163.
- Viret, J. (2004). Aux origines de l'archéologie sous-marine. In: Denise, F. and Nordiguian, L. (Eds.), *Une aventure archéologique: Antoine Poidebard, photographe et aviateur*. Editions Parenthèses, Marseille, pp. 146-165.
- Viret, J. (2005). Les " murs de mer " de la côte levantine. *Méditerranée*, 104, 15-23.
- Volney, C. F. (1791). *Les Ruines Ou Meditations Sur Les Revolutions Des Empires*. Desenne, Volland, Plassan, Paris.
- Volney, C. F. (1792). *The Ruins, or Meditations on the Revolutions of Empires*. J. Johnson, London.
- Vött, A., Brückner, H., Schriever, A., Luther, J., Handl, M. et van der Borg, K. (2006a). Holocene Paleogeographies of the Palairos Coastal Plain (Akarnania, Northwest Greece) and Their Geoarchaeological Implications. *Geoarchaeology*, 21, 649-664.
- Vött, A., Brückner, H., Handl, M. et Schriever, A. (2006b). Holocene palaeogeographies of the Astakos coastal plain (Akarnania, NW Greece). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239, 126-146.
- Wachsmann, S. (1998). *Seagoing ships and seamanship in the Bronze Age Levant*. A & M University Press, Texas.
- Warne, A.G., et Stanley, D. J. (1993a). Late Quaternary evolution of the northwest Nile Delta and adjacent coast in the Alexandria region, Egypt. *Journal of Coastal Research*, 9, 26-64.
- Warne, A. G. et Stanley, D. J. (1993b). Archaeology to Refine Holocene Subsidence Rates Along the Nile Delta Margin, Egypt. *Geology*, 21, 715-718.
- Webster, D. (2002). *The Fall of the Ancient Maya*. Thames & Hudson, London.
- Weiss, H., Courty, M.-A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Seniro, L., Meadow, R. et Curnow, A. (1993). The Genesis and Collapse of Third Millennium North Mesopotamian Civilization. *Science*, 261, 995-1004.
- White, V. S. (2002). *The Ships of Tarshish: The Phoenicians*. Unknown.
- Woodall, J. N. (Ed.) (1993). *Predicaments, Pragmatics and Professionalism: Ethical Conduct in Archaeology*. Society of Professional Archaeologists, A & M University, Texas.
- Wunderlich, J. (1988). Investigations on the development of the western Nile delta in Holocene times. In: Van der Brink, E. C. M. (Ed.), *The archaeology of the Nile delta, Egypt: problems and priorities*. Netherlands Foundation for Archaeological Research in Egypt, Amsterdam, pp. 251-257.
- Wyld, J. (1840). *Plan of the Town and Harbour of Beirut, ancient Berytus (scale: 1:35,000)*. London.

GEOARCHEOLOGIE DES PORTS ANTIQUES DU LIBAN

- Yoffee, N. et Cowgill, G. L. (1988). *The Collapse of Ancient States and Civilizations*. The University of Arizona Press, Tucson, London.
- Yorke, R. A. (1976). Search for submerged Carthage. *Geographical Magazine*, 49, 24-29.
- Yorke, R. A. et Little, J. H. (1975). Offshore survey at Carthage, Tunisia. *International Journal of Nautical Archaeology*, 4, 85-101.
- Yorke, R. A., Little, J. H. et Davidson, D. P. (1976). Offshore survey of the harbours of Carthage. *International Journal of Nautical Archaeology*, 5, 173-176.
- Zaccaria, C. (Ed.) (2001). *Strutture portuali e rotte maritime nell' Adriatico di et à Romana*. Ecole française de Rome, Rome.
- Zenkovich, V. P. (1967). *Processes of Coastal development*. Oliver and Boyd, London.
- Zevi, A. G. et Turchetti, R. (Eds.) (2004a). *Le strutture dei porti e degli approdi antichi*. Rubbettino Editore, Soveria Mannelli.