

L'Afrique du Nord antique et médiévale et la mer

Installations portuaires, ressources et représentations

John SCHEID, François BARATTE et Nicolas GRIMAL éd.
ACADÉMIE DES INSCRIPTIONS ET BELLES-LETTRES • 2025

Géoarchéologie du port circulaire de Carthage : l'apport des carottages pour la chronostratigraphie, les paléop profondeurs et le fonctionnement du bassin

Jean-Philippe Goiran, Ahmed Gadhoud *et alii*



ACTES DE COLLOQUE

TABLE DES MATIÈRES

Présentation, par John SCHEID et François BARATTE.....	7
Allocution d'accueil, par John SCHEID	11
Allocution d'accueil, par Nicolas GRIMAL	13
Pascal ARNAUD, « Le port antique en questions : l'exemple des côtes africaines ».....	17
Jean-Philippe GOIRAN, Ahmed GADHOUM, Semah BETTAIB, Cécile VITTORI, Valerian JESUS, Camille GONÇALVES et Hakim ABICHOU, « Géoarchéologie du port circulaire de Carthage : l'apport des carottages pour la chronostratigraphie, les paléoprofondeurs et le fonctionnement du bassin »	87
Claude SINTÈS, « Apollonia, le port de Cyrène, à la lumière des fouilles de la Mission archéologique française de Libye »...	119
Abdellatif MRABET, « Les côtes de Byzacène à l'époque byzantine ».....	133
Mohamed-Riadh HAMROUNI, « À propos des <i>horrea</i> portuaires de l'Afrique romaine ».....	147
Mohamed KBIRI ALAOUI, Darío BERNAL-CASASOLA, Rachid ARHARBI, Fadwa BENJAAFAR, Juan J. CANTILLO DUARTE, José J. DÍAZ, Nadia El BAHRI, José A. EXPOSITO ÁLVAREZ, Leandro FANTUZZI, Hajar FEDDOUL, Hicham HASSINI, Florian HERMANN, Halima NAJI, Javier OVIEDO CALLEALTA, Laura PAVÓN GONZÁLEZ, Gaël PIQUÉS, José L. PORTILLO SOTELO, Asmae RAJAD, Ferréol SALOMON, Felix TEICHNER et Saoussane YAHIA, « <i>Lixus</i> et l'artisanat halieutique maurétano-romain : nouvelles données et perspectives de recherche »	171
Mohammed KBIRI ALAOUI, Adolfo FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, Meriem HANSALI, Fermín PÉREZ LOSADA, Halima NAJI, Alba A. RODRÍGUEZ NÓVOA, Rachid ARHARBI, Patricia VALLE ABAD, Saoussane YAHIA, Ricardo COSTEIRA DA SILVA, Hajar FEDDOUL, Nerea RUANOVA ÁLVAREZ, Hakim AMMAR, Pedro CARVALHO, Iliass DEFAA, Roberto BARTOLOMÉ ABRAIRA et Raúl MÉNDEZ OTERO, « Bilan des nouvelles recherches sur les usines de salaison de Tahaddart ».....	221
Faouzi MAHFOUDH, « Aménagement et équipement du littoral ifrīqiyen au Moyen Âge ».....	247



GÉOARCHÉOLOGIE DU PORT CIRCULAIRE DE CARTHAGE : L'APPORT DES CAROTTAGES POUR LA CHRONOSTRATIGRAPHIE, LES PALÉOPROFONDEURS ET LE FONCTIONNEMENT DU BASSIN

Introduction

L'objectif de la campagne de carottage de 2018 était d'apporter un éclairage nouveau sur l'histoire des anciens ports de Carthage, grâce à l'étude des archives sédimentaires accumulées dans les bassins au fil du temps. Nous présenterons ici le contexte et l'historique de ces prospections en géoarchéologie côtière en Tunisie du nord, la méthodologie suivie, les principaux résultats obtenus dans le port dit circulaire de Carthage et enfin la discussion et les interprétations.

La mission géoarchéologique internationale de Carthage (fig. 1) prend sa source dans un précédent programme portant sur le site archéologique d'Utique en Tunisie, premier établissement phénicien de cette région. Cette recherche interdisciplinaire a été initiée en 2015 par cinq institutions : l'INP de Tunis (A. Gadhoum), l'Université d'Oxford (A. Wilson), l'Université de la Sorbonne (J.-Y. Monchambert), l'université de Tunis (H. Abichou) et le CNRS-Université de Lyon 2 (J.-Ph. Goiran). Elle a comme axe de recherche les ports romains et phénico-puniques mentionnés dans les textes antiques. Les fouilles archéologiques, en contrebas du promontoire d'Utique, ont été limitées par la présence d'une nappe phréatique proche de la surface (à seulement 40 cm sous le sol actuel). Malgré la cartographie de la ville romaine obtenue par la géophysique, aucune structure portuaire n'a pu être mise au jour. L'équipe géoarchéologique était pilotée par Jean-Philippe Goiran (CR CNRS, UMR 5133, Archéorient, Université Lumière Lyon 2) et Ahmed Gadhoum (archéologue, INP), et faisait appel à un groupe de recherche pluridisciplinaire constitué d'archéologues, géographes, géologues et biologistes. Pour une analyse plus approfondie, nous invitons

le lecteur à consulter la thèse d'Élisa Pleuger¹ et plusieurs autres articles dans ce secteur². Les carottages réalisés aux abords d'Utique et dans le delta de la Medjerda ont révélé que, dès le IV^e millénaire avant J.-C. et jusqu'à la période phénicienne, le promontoire d'Utique formait un cap bordé d'une vaste baie au nord et d'une île au sud (Kalat al Andalous, l'ancienne Castra Corneliana). De plus, l'oued Medjerda (l'antique Bagrada) a apporté près de 5 mètres d'alluvions depuis le V^e siècle apr. J.-C., rendant les fouilles complexes dans le cadre de la recherche des structures portuaires romaines. Les résultats des carottages indiquent que la profondeur des eaux autour d'Utique était d'environ 4 mètres à l'époque phénicienne, puis a diminué à environ 3 mètres à l'époque romaine : des conditions favorables à la navigation et à l'accès des navires aux potentielles structures portuaires³.

L'étude du port de Carthage s'inscrit donc dans la continuité de ce programme international, le site archéologique étant situé à 30 km au sud d'Utique. Dans le port circulaire de Carthage (sur son pourtour et dans l'îlot de l'Amirauté), les structures portuaires de l'époque romaine sont connues grâce notamment aux travaux de H. Hurst⁴. Les structures portuaires les plus anciennes qu'il rencontre datent de 165 av. J.-C. L'archéologue britannique a cependant vite été limité dans ses fouilles archéologiques par la présence de la nappe phréatique. En effet, à proximité immédiate de la mer, la nappe phréatique se situe à peu près au niveau marin. Autrement dit, même en utilisant des pompes, les fouilles archéologiques profondes sont impossibles. Le long d'une façade maritime, les pompes permettent d'abaisser artificiellement le niveau phréatique (ou niveau piézométrique) de 25 cm à 75 cm maximum. Il est important de rappeler que le niveau marin antique dans ce secteur se positionne à 50 cm sous le zéro marin actuel. Par l'utilisation de carottages mécaniques, rotatifs, avec chemisage, nous souhaitons extraire des archives sédimentaires sur 5 à 10 mètres de profondeur et compléter ainsi la chronostratigraphie « vers le bas ». Au-delà de l'obtention d'une chronostratigraphie solide, nous souhaitons obtenir les premiers sédiments dits portuaires, antérieurs au milieu du II^e siècle av. J.-C. que les fouilles archéologiques classiques n'ont pas pu atteindre. Les autres objectifs scientifiques étaient de comprendre le colmatage du

1. E. PLEUGER, 2020.

2. H. DELILE *et al.*, 2015 et 2019.

3. E. PLEUGER, 2020.

4. H. HURST & L. E. STAGER, 1978 ; H. HURST, 2008. Pour une synthèse, nous renvoyons aux travaux de H. DE ROQUEFEUIL, 1898 ; L. CARTON, 1911 ; F. DECRET, 1977 ; V. VITALI *et al.*, 1992 ; J. A. GIFFORD *et al.*, 1992 ; R. A. YORKE & J. H. LITTLE, 1975 ; S. LANCEL, 1992 ; N. CARAYON, 2008 ; A. GADHOUM, 2010.

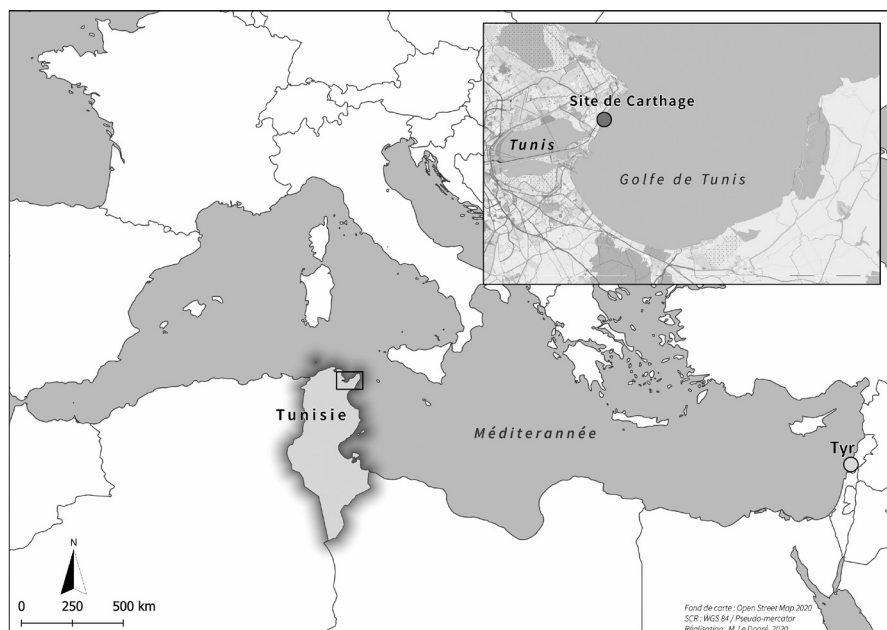


FIG. 1. – Carte de localisation du site de Carthage aux échelles régionale et locale.

bassin, ses paléop profondeurs, son fonctionnement par la mise en évidence de phase de curage. L'idée d'obtenir, en profondeur, les strates préservées contemporaines de la fondation de la ville par les Phéniciens de Tyr au ix^e siècle av. J.-C., était stimulante.

1. Géoarchéologie d'un bassin portuaire antique

1.1 RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

L'étude d'un port antique repose sur l'analyse de son contenant (les structures portuaires, en particulier les môles et les quais) et de son contenu (sédiments accumulés dans le bassin)⁵ (fig.2). L'encaissant peut être composé d'un substrat géologique dur, ou de sédiments meubles. L'analyse peut porter autant sur les sédiments déposés pendant la période d'utilisation du bassin que sur les sédiments antérieurs, sur lesquels reposent les structures portuaires.

5. J.-Ph. GOIRAN & C. MORHANGE, 2001 ; J.-Ph. GOIRAN *et al.*, 2014.

À Carthage, les carottages visent à identifier trois séquences stratigraphiques majeures (fig.2) déposées successivement pendant les phases pré-portuaire (préliménique), portuaire (liménique), et post-portuaire (métaliménique). La séquence préliménique permettra de reconstituer le paysage dans lequel les ports phénico-puniques ont été construits. Deux cas peuvent se présenter lorsque le soubassement est constitué de sédiments meubles comme à Carthage : 1) la séquence préliménique peut se terminer par une limite abrupte, dite katoliménique, qui traduit une variation brusque de faciès (changement de texture, de couleur, etc.) et résulte d'opérations de creusement lors de la construction du bassin ; 2) un continuum stratigraphique entre les séquences préliménique et liménique indique que le milieu était suffisamment profond pour que les navires puissent accoster sans dragage. La séquence liménique est habituellement argilo-limoneuse, compacte, de teinte gris foncé à noirâtre, typique de milieux calmes, confinés, et disoxiques. Sa sédimentation est souvent rapide (≈ 1 cm/an) mais fréquemment interrompue par des lacunes sédimentaires dues aux curages. Enfin, l'unité métaliménique se met en place après l'abandon du port. Le passage à cette dernière peut être net, matérialisé par une limite anoliménique, ou progressif, apportant des informations sur le rythme du déclin portuaire. Dans le cas de Carthage, en raison de curages récents, cette dernière séquence n'est partiellement préservée que dans un nombre restreint de carottes.

Enfin, la limite mésoliménique correspond au fond du bassin à un temps donné. Lors de la mise en fonction du port, les limites mésoliménique et katoliménique coïncident. Par la suite, la limite mésoliménique s'élève au rythme de la sédimentation dans le bassin. La tendance au comblement fait que cette dernière se rapproche progressivement du niveau marin, et tend à le rejoindre, voire à le dépasser, après comblement total du bassin. Tant que le bassin est en fonction, la différence altimétrique entre le niveau marin et la limite mésoliménique renseigne la hauteur de la colonne d'eau, qui peut être comparée aux tirants d'eau des navires et permet de déterminer les types d'embarcations qui pouvaient ou non accéder aux quais⁶. L'état actuel de la recherche scientifique situe le zéro marin antique à environ 50 cm sous l'actuel, pour la zone géographique qui nous concerne.

6. G. BOETTO, 2010 ; J.-Ph. GOIRAN *et al.*, 2017.

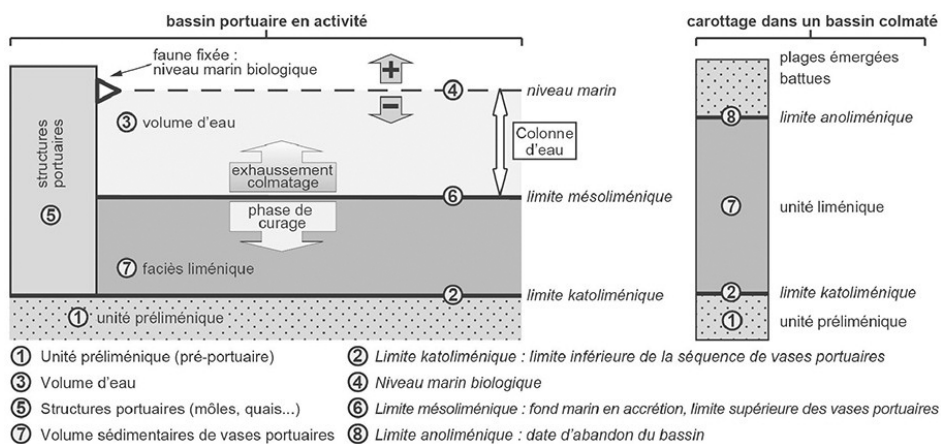


FIG. 2. – Schéma théorique de colmatage d'un bassin portuaire.



FIG. 3. – Échantillonnage à haute résolution pour études sédimentologiques, des bio-indicateurs (macro et microfaunes, charbons, etc.) et datations au radiocarbone (Carthage) (crédit : C. Gonçalves).



FIG. 4. – Photographies des tessons de céramiques (Carthage) (crédit : C. GONÇALVES).

1.2 ANALYSES EN LABORATOIRE

Les carottes sédimentaires prélevées dans et autour des bassins portuaires sont analysées en laboratoire (fig. 3 et 4) pour discriminer les différentes unités stratigraphiques. Les sédiments sont étudiés à l'aide de tamis et d'un granulomètre laser, afin de caractériser leur texture et la taille des particules qui les composent, et ainsi, de reconstituer l'hydrodynamisme passé. Les indicateurs biologiques tels que les pollens, la malacofaune et la microfaune (ostracodes et foraminifères) jouent un rôle clé dans l'identification des unités portuaires, car ils renseignent sur le degré de connexion entre les bassins et la mer au cours du temps. Les datations au radiocarbone et archéologiques (essentiellement à partir de tessons) viennent compléter ces analyses et permettent de fournir un contexte chronostratigraphique aux indicateurs sédimentologiques et biologiques, et de dater la mise en fonction du port et ses phases de comblement⁷.

Les analyses effectuées au cours des années 2019, 2020 et 2021 ont été réalisées, principalement, à l'antenne CNRS de la Commanderie de Jalès en Ardèche (laboratoire Archéorient), qui dispose de plateaux techniques en sédimentologie, et à OMEAA (Campus Portes des Alpes, UDL2). Le fait de travailler principalement dans l'antenne CNRS de Jalès, située à la campagne avec 800 m² de locaux, a permis de contourner les difficultés d'accès au laboratoire de Lyon en raison des restrictions sanitaires résultant des confinements de l'hiver 2020-2021 et du printemps 2021.

2. Présentation de la campagne de carottages

L'emplacement des points de carottage de la campagne de 2018 (fig. 5 et tab. 1) répond à plusieurs questions géoarchéologiques⁸. La forme particulière des deux bassins, que l'on peut voir actuellement dans le paysage, est héritée d'aménagements anthropiques puis de l'évolution naturelle de la géomorphologie côtière. L'étude des archives sédimentaires extraites en différents points apporte des informations primordiales pour la compréhension de l'évolution de ce milieu portuaire. La carotte CARTH II, située au cœur de l'îlot de l'Amirauté, a été prélevée pour déterminer l'origine naturelle ou artificielle de cet îlot. Les carottes CARTH I, III, III

7. J.-Ph. GOIRAN *et al.*, 2022.

8. La campagne de carottage menée en 2018 s'est déroulée sous la direction administrative et archéologique du D^r Ahmed Gadhoum (INP) et sous la responsabilité scientifique pour les investigations géoarchéologiques du D^r Jean-Philippe Goiran (CNRS).



Fig. 5. – Localisation des points de carottages de 2018.

Carotte	Latitude (N)	Longitude (E)
CARTH I	36.8448306	10.326444444444444
CARTH II	36.8449333	10.325605555555555
CARTH III	36.8445194	10.326033333333333
CARTH III bis	36.8445417	10.326047222222222
CARTH IV	36.8440278	10.326238888888888
CARTH V	36.8439278	10.326508333333333
CARTH VI	36.8433556	10.326441666666666

Tableau I. – Coordonnées GPS des carottages en degré décimal (DD).

bis, IV, V et VI forment un transect nord-sud à travers le bassin circulaire. Ce dispositif permet de suivre l'évolution sédimentaire de ce secteur et de reconstituer les différentes phases d'occupation et d'aménagement du port.

Enfin, les carottes VII, VIII et IX forment un deuxième transect au sud, orienté nord-ouest/sud-est, et permettent d'étudier la nature de la connexion avec la mer du bassin rectangulaire, de contraindre son extension maximale et de mieux appréhender sa configuration par rapport au rivage. Les résultats détaillés de ces carottages, ainsi que ceux de la campagne 2022 (en cours d'analyse par datation ^{14}C), feront l'objet de publications ultérieures. Le présent article se concentre sur le bassin dit « circulaire », dont la morphologie annulaire suggère une complexité géoarchéologique et sédimentaire plus grande qu'initialement supposée.

3. Résultats de l'étude chronostratigraphique des carottes sédimentaires et interprétations

Les logs stratigraphiques sont des représentations graphiques qui mettent en évidence les différentes unités sédimentaires d'une séquence stratigraphique. L'ensemble des carottes issues de la campagne 2018 ont ainsi été dessinées. Pour une meilleure compréhension des résultats stratigraphiques, les carottes ont été subdivisées en deux unités principales : l'unité A, pré-portuaire, et l'unité B, portuaire, syn-portuaire et post-portuaire. Nous plaçons le paragraphe interprétatif à la suite de la description et des analyses stratigraphiques pour une meilleure lecture et compréhension de la stratigraphie.

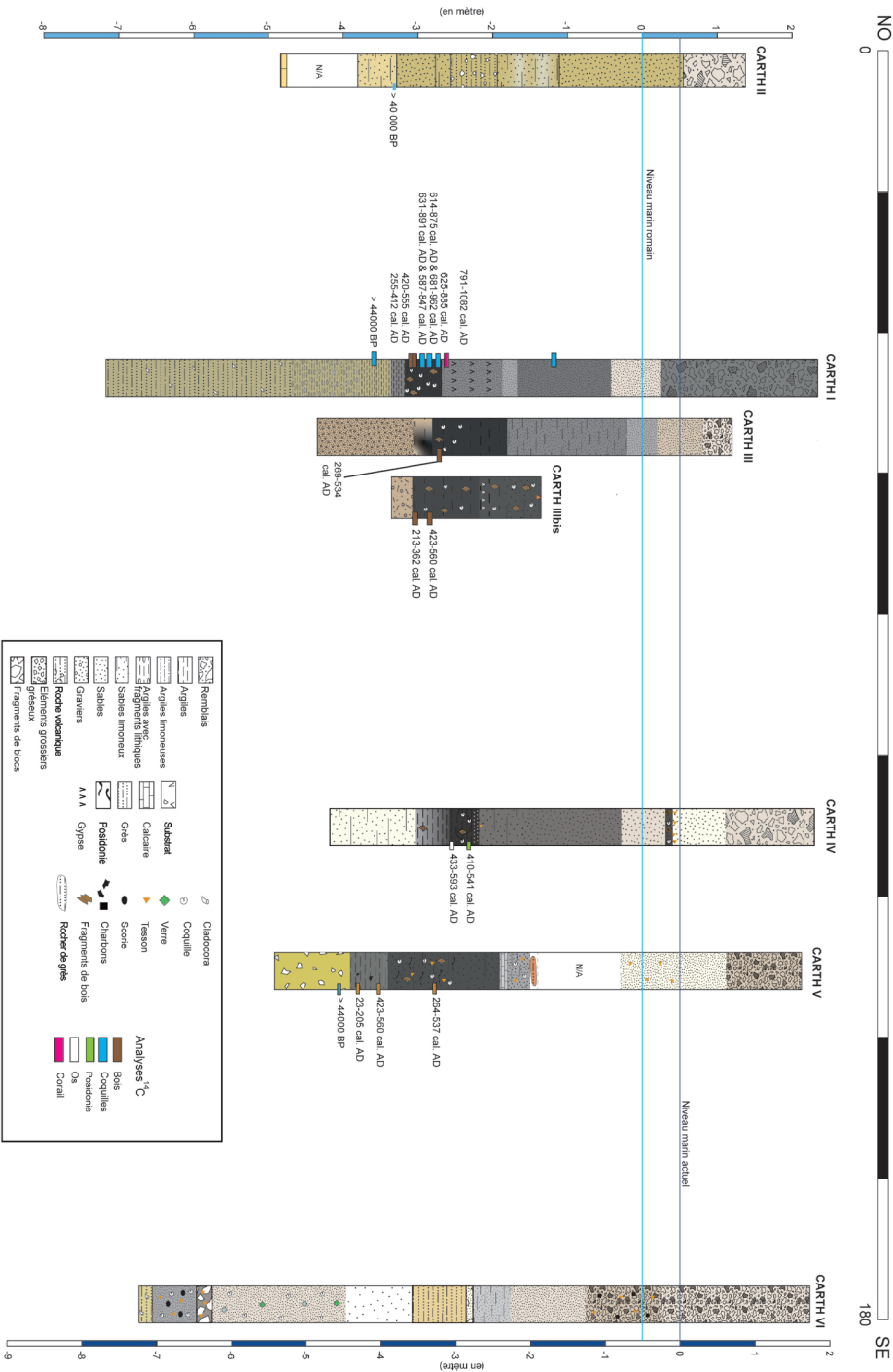
La représentation des séquences stratigraphiques et leur mise en relation sous forme de transect ont permis de faciliter la compréhension globale de l'évolution des dynamiques sédimentaires du site (fig. 6).

3.1. CAROTTE CARTH I

3.1.1. CARTH I – Description stratigraphique

La carotte CARTH I est située dans le secteur est (aujourd'hui colmaté) du bassin circulaire nord. Elle est d'une longueur de 9,5 m et a fait l'objet d'analyses de texture, de susceptibilité magnétique, de microfaune, de macrofaune et minéralogique.

La base de la carotte constitue l'unité A, pré-portuaire (fig. 7). On y trouve un grès coquillier jaunâtre datant probablement du Pléistocène, avec des branches de *Cladocora* (un corail méditerranéen). Au-dessus, se placent



14C

Fig. 6. – Transect nord-ouest/sud-est dans le port circulaire.

des altérites du substrat, c'est-à-dire des argiles contenant des éléments très grossiers jaunâtres. Elles sont surmontées d'argiles jaunâtres. Un échantillon de coquille daté au radiocarbone indique une fourchette chronologique entre 44 871 et 39 320 cal. BC. Cette unité est antérieure à l'Holocène. Les assemblages d'espèces malacologiques présentes dans cette unité soulignent un milieu de mer ouverte.

L'unité B débute à partir de 5,80 m en dessous du niveau topographique. Elle est constituée en sa base d'argiles compactes grises suivies d'argiles limoneuses noires, riches en morceaux de bois. L'assemblage malacologique est composé d'espèces caractéristiques des sables vaseux de mode calme, ce qui atteste de la réduction de l'hydrodynamisme, et pourrait donc traduire la fermeture de l'environnement sur la mer. Les datations permettent de placer le début de cette unité B dans une période principale comprise entre 255 et 885 cal. AD. La vitesse de sédimentation entre le sommet et la base de cette unité est d'environ 0,07 cm/an.

Au-dessus de cette unité se trouvent des sables gris moyen lités, avec un grand nombre de rosettes et de macles de gypse. Cette unité est stérile de malacofaune et microfaune. Se déposent ensuite des sables grossiers de couleur gris moyen, surmontés par des sables moyens à fins noirs homogènes. Un contact brutal se fait entre cette unité et la suivante ; il se manifeste par un changement de couleur. Ainsi, les sables moyens à fins compris entre 2,10 et 2,75 m sous le niveau topographique sont beige clair. Enfin, la partie sommitale de la carotte sur une épaisseur de 2 m est interprétée comme étant une unité de remblais moderne.

3.1.2. *CARTHI – Interprétation*

Le substratum géologique gréseux est atteint à 3,50 m sous le zéro marin antique (fig. 7). L'unité d'argiles limoneuses noires riches en coquilles et morceaux de bois, à la base de l'unité B, correspond à l'unité portuaire. À la base de l'unité portuaire, les datations radiocarbone indiquent une période comprise entre le milieu du III^e siècle apr. J.-C. et le début du V^e siècle apr. J.-C. La série de huit datations radiocarbone montre une sédimentation relativement continue du milieu du III^e siècle apr. J.-C. au début du IX^e siècle apr. J.-C. La profondeur du bassin dans ce secteur est de 3,25 m sous le zéro marin antique, au plus tôt au milieu du III^e siècle apr. J.-C. Puis entre le IX^e et le XII^e siècle apr. J.-C., la bathymétrie est de l'ordre de 2,50 m sous le zéro marin antique. Le contact abrupt entre le substratum géologique pléistocène et la séquence portuaire permet d'émettre l'hypothèse d'un creusement artificiel du port circulaire. Les datations de l'époque romaine impériale de la séquence portuaire suggèrent un curage du port à cette époque, pour

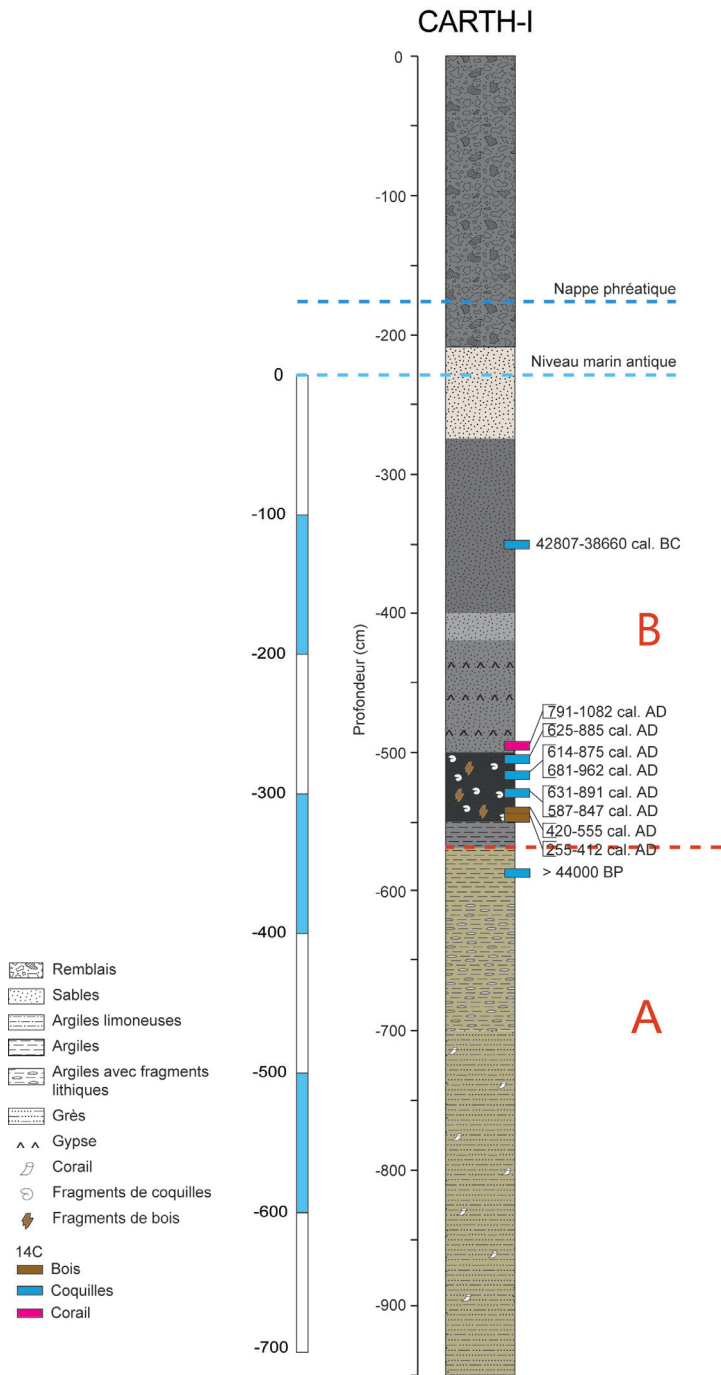


FIG. 7. – Stratigraphie de la carotte sédimentaire CARTH I (bassin circulaire).

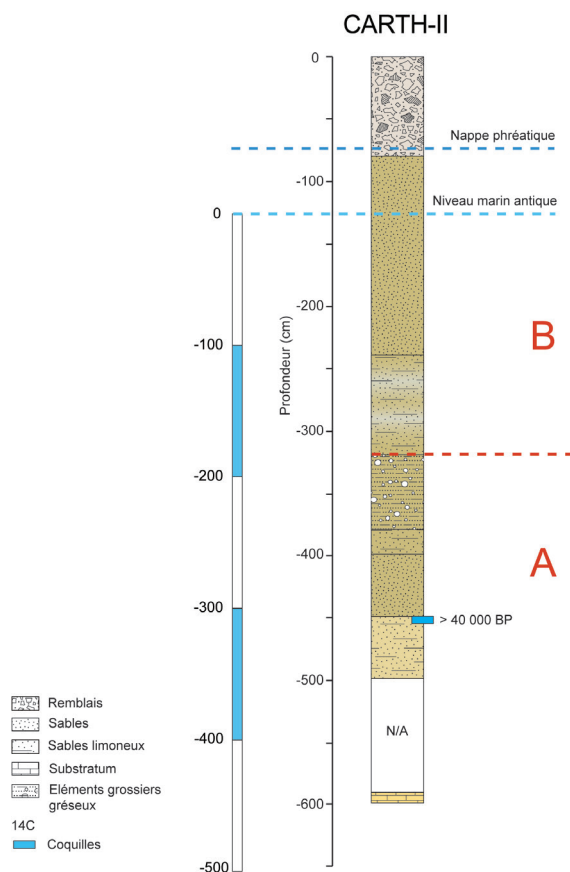


FIG. 8. – Stratigraphie de la carotte sédimentaire CARTH II (îlot de l'Amirauté).

assurer l'accès des navires à fort tirant d'eau. Autrement dit, une strate de sédiments portuaires antérieurs au III^e siècle apr. J.-C. a pu être détruite par ces travaux d'entretien et de manutention.

3.2. CAROTTE CARTH II

Voir figure 7.

3.2.1. CARTH II – Description stratigraphique

La carotte CARTH II est implantée sur l'îlot de l'Amirauté et atteint une profondeur de 6 m (fig. 8 et 9). L'unité A pré-portuaire s'étend de la base jusqu'à 3,25 m de profondeur sous le niveau topographique. Un substrat gréseux occupe la partie basale de la carotte. Un mètre de carotte, entre 5 et 6 m, n'a pu être récupéré. Des sables limoneux jaune clair sont présents entre

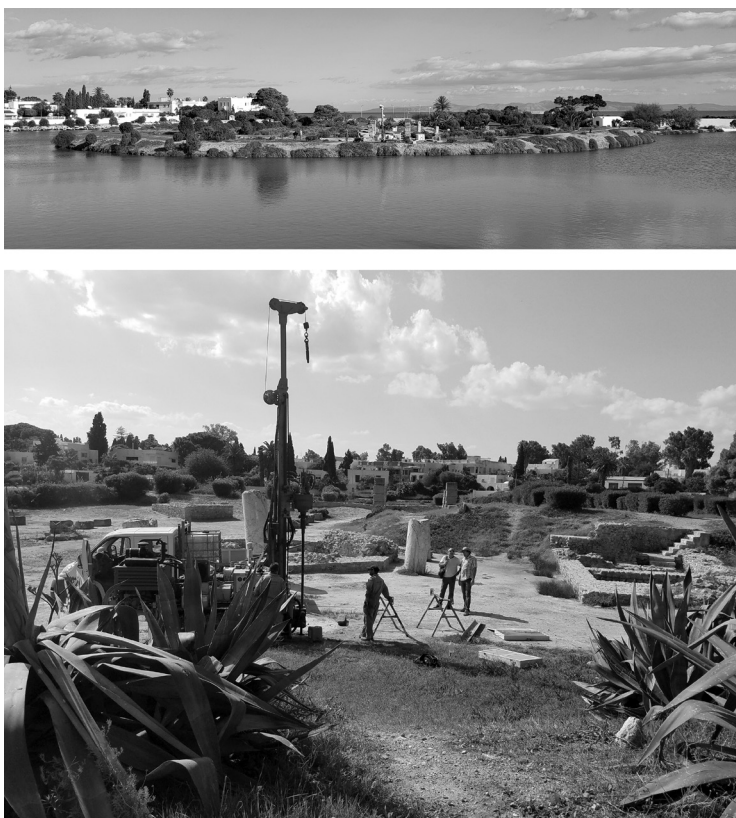


FIG. 9. – Opération de carottage mécanique rotatif, avec chemisage. Site de carottage CARTH II.
(Crédit : J.-Ph. Goiran).

4,50 et 5 m. Ils sont suivis de sables limoneux, puis d'éléments grossiers jaunâtres gréseux. Une coquille datée de plus de 40 000 ans située à 4,50 m témoigne d'une unité Pléistocène.

Une séquence de sables limoneux jaunâtres avec des passées grises marque le début de l'unité A, suivie par des sédiments sableux jaunâtres. Enfin, à l'image de CARTH I, les 80 premiers centimètres sont interprétés comme étant des remblais modernes ; aucun échantillon n'y a été prélevé.

Aucun des assemblages malacologiques observés le long de cette carotte sédimentaire ne témoigne d'un environnement fermé sur la mer, comme peut l'être un environnement portuaire.

3.2.2. CARTH II – Interprétation

La carotte CARTH II est, pour le moment, la plus difficile à interpréter (fig. 8). À ce stade, nous devons rester prudents et attendre des analyses paléoenvironnementales plus poussées. En effet, ce carottage a été réalisé sur

l'îlot de l'Amirauté qui est un secteur extrêmement complexe à comprendre, en raison de fouilles archéologiques nombreuses et profondes réalisées par une équipe anglaise, et dont certains secteurs de fouilles n'ont pas été répertoriés. La séquence que nous observons est essentiellement sableuse jaunâtre sans artéfacts, et se distingue de la stratigraphie portuaire composée d'argiles gris foncé. On peut supposer qu'à partir de 3,25 m sous la surface topographique, la séquence n'est plus perturbée. Cela tend à indiquer que l'îlot de l'Amirauté est un reliquat des environnements pré-portuaires, épargné par le creusement du bassin circulaire.

3.3. CAROTTE CARTH III

Voir figure 10.

3.3.1. CARTH III – Description stratigraphique

Ce point de carottage CARTH III (et CARTH IIIbis) a été choisi afin d'obtenir une stratigraphie du bassin annulaire dans un autre secteur que CARTH I. Lors des opérations de carottage pour CARTH III, un incident technique a rendu difficile la remontée de la section comprise entre 2,50 et 4,50 m sous la surface topographique. C'est pour cette raison que nous avons décidé de réaliser le carottage CARTH IIIbis, afin d'obtenir la stratigraphie manquante, à seulement 2 mètres de distance (fig. 10).

La base de CARTH III est constituée d'altérites du substrat géologique ; il s'agit de l'unité pré-portuaire A. L'unité B débute ainsi vers 4,25 m sous le niveau topographique, et est composée dans un premier temps d'argiles noires mélangées à des altérites du substrat jaune. Elle est surmontée par une séquence d'argiles noires coquillières, avec des coquilles marines et des fragments de bois avec une forte odeur de décomposition. Une datation au radiocarbone date la base de cette unité entre 269 et 534 cal.AD. Ces argiles sont surmontées par des sables fins limoneux gris moyen à foncé recouverts ensuite par des sables fins à moyens homogènes marrons. Le sommet de CARTH III est constitué de remblais modernes, à l'image des deux précédentes carottes.

La carotte CARTH IIIbis, jumelle de CARTH III, présente une succession stratigraphique complète entre 2,50 et 4,50 m. Les unités sont similaires à celles de la carotte précédente, CARTH III, avec une même unité d'altérites jaunâtres à éléments grossiers, puis des argiles gris foncé à noires, riches en coquilles et fragments de bois datés par radiocarbone entre 213 et 561 cal. AD. Par la suite, la carotte présente une unité d'argiles gris foncé également riches en coquilles marines, en fragments de bois, mais aussi en macles de gypse. Des sables limoneux riches en coquilles marines et fragments de bois

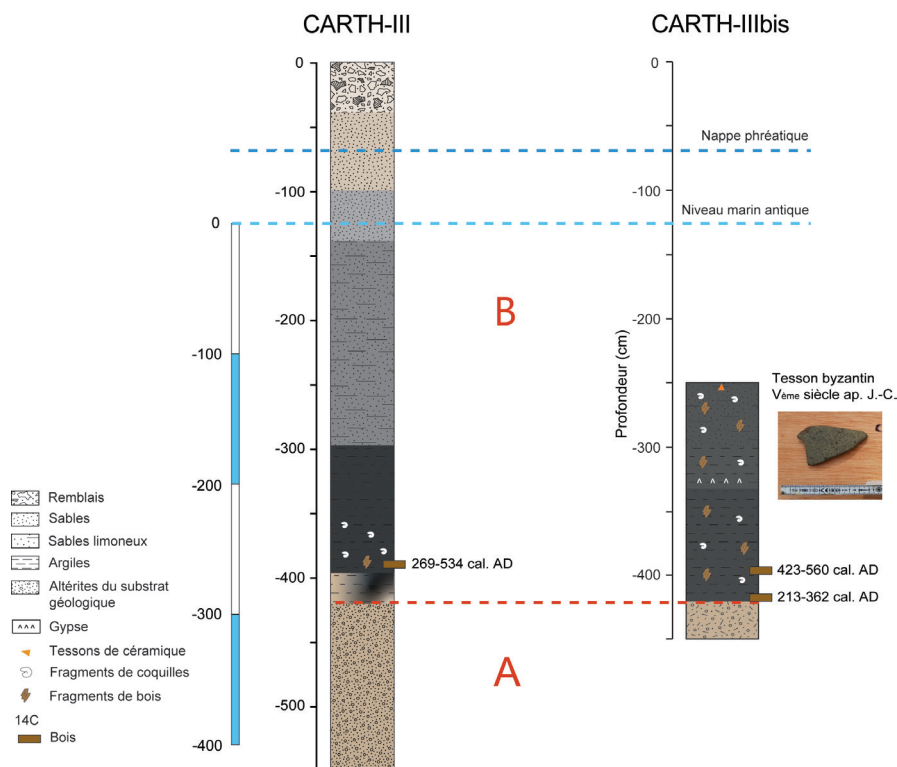


FIG. 10. – Stratigraphie des carottes sédimentaires CARTH III et III bis (bassin annulaire).

constituent l'unité sommitale. Un tesson de céramique d'époque byzantine a également été retrouvé. Il daterait du ^ve siècle apr. J.-C.

3.3.2. CARTH III – Interprétation

Dans les deux carottes, les altérites du substrat gréseux sont atteintes vers 3 m sous le niveau marin antique (fig. 10). La base de l'unité portuaire est datée du début du ^{III}e au milieu du ^{VI}e siècle apr. J.-C. La profondeur maximale du port circulaire dans ce secteur est de 3 m, qui est un chiffre comparable à celui documenté pour la carotte CARTH I. Au ^ve siècle apr. J.-C. la profondeur est de 2,5 m sous le zéro marin antique.

3.4. CAROTTE CARTH IV

Voir figure 11.

3.4.1. *CARTH IV – Description stratigraphique*

La carotte sédimentaire CARTH IV a été placée dans ce que nous estimons être l'ancien bassin annulaire. Ce secteur correspond actuellement aux jardins de l'ancien Musée océanographique, devenu l'Institut national des Sciences et Technologies de la Mer. Le carottage se trouve à 1,8 m d'altitude au-dessus de la nappe phréatique.

L'unité basale de la carotte constitue l'unité A pré-portuaire (fig. 11). Il s'agit de sables limoneux jaunâtres, probablement composés d'altérites du substrat. Le contact avec les argiles gris foncé débutant l'unité B est relativement brutal. À leur sommet, on note une concentration de tessons de céramique punique, de macles et de rosettes de gypse mais aussi de coquilles de bivalves, des posidonies ou encore des morceaux de bois. L'ensemble de ces éléments permet de situer cette unité entre 410 et 593 cal. AD. Celle-ci est suivie par des vases noirâtres puis des sables limoneux gris foncé. Une unité sableuse gris foncé puis beige se place au-dessus de cette couche. Un niveau de tessons rouges émaillés romains (sigillées africaines), associé à un bloc de roche volcanique noir, se situe juste au-dessus de ces sables. On trouve ensuite une unité de sables jaunâtres de type dunaire ou de haut de plage. Enfin, comme pour les autres carottes, le sommet de CARTH IV est constitué de remblais, sur 1,20 m d'épaisseur.

3.4.2. *CARTH IV – Interprétation*

La carotte CARTH IV atteint le substratum géologique vers 3 m sous le zéro marin antique (fig. 11). Au-dessus, se met en place une séquence portuaire riche en argiles, en macrofaune laguno-marine, en tessons céramiques et en gypse. Ces éléments indiquent un milieu de sédimentation très calme avec un faible brassage des eaux. Hélas, nous n'avons pas pu dater la base de cette séquence portuaire. Nous pouvons néanmoins supposer que la profondeur maximale du bassin, dans ce secteur, est de 3 m sous le zéro marin antique. Les premières datations comprises entre le début du ^v^e siècle apr. J.-C. et la fin du ^{vi}^e siècle apr. J.-C. donnent pour cette période une bathymétrie de 2,75 m sous le zéro marin antique.

3.5. CAROTTE CARTH V

Voir figure 12.

3.5.1. *CARTH V – Description stratigraphique*

Le point de carottage CARTH V (fig. 12 et 13) se situe à 1,6 m au-dessus de l'actuelle nappe phréatique et atteint 7 m de profondeur. Il a été placé

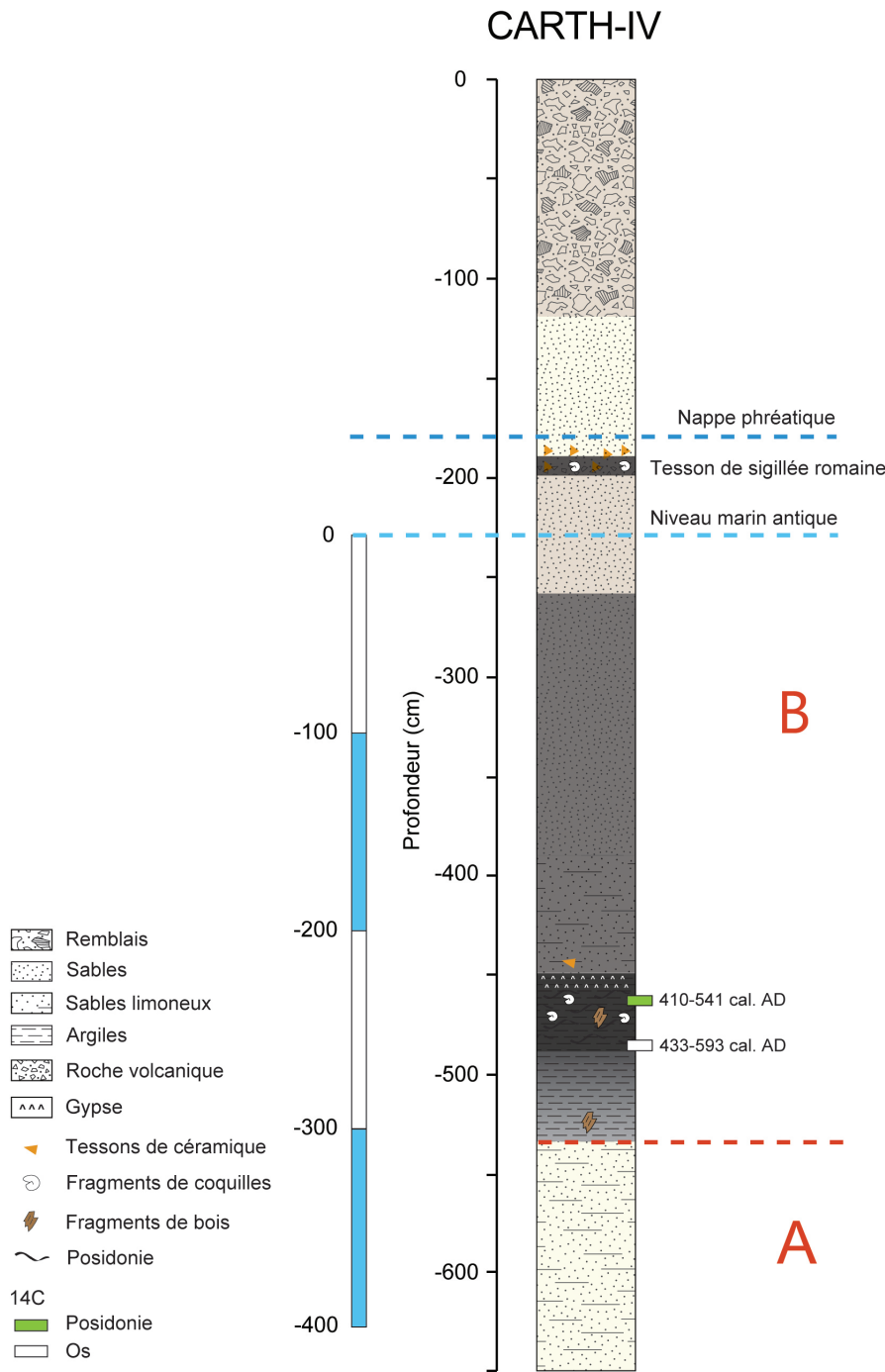


FIG. 11. – Stratigraphie de la carotte sédimentaire CARTH IV (jardin de l’ancien Musée océanographique).

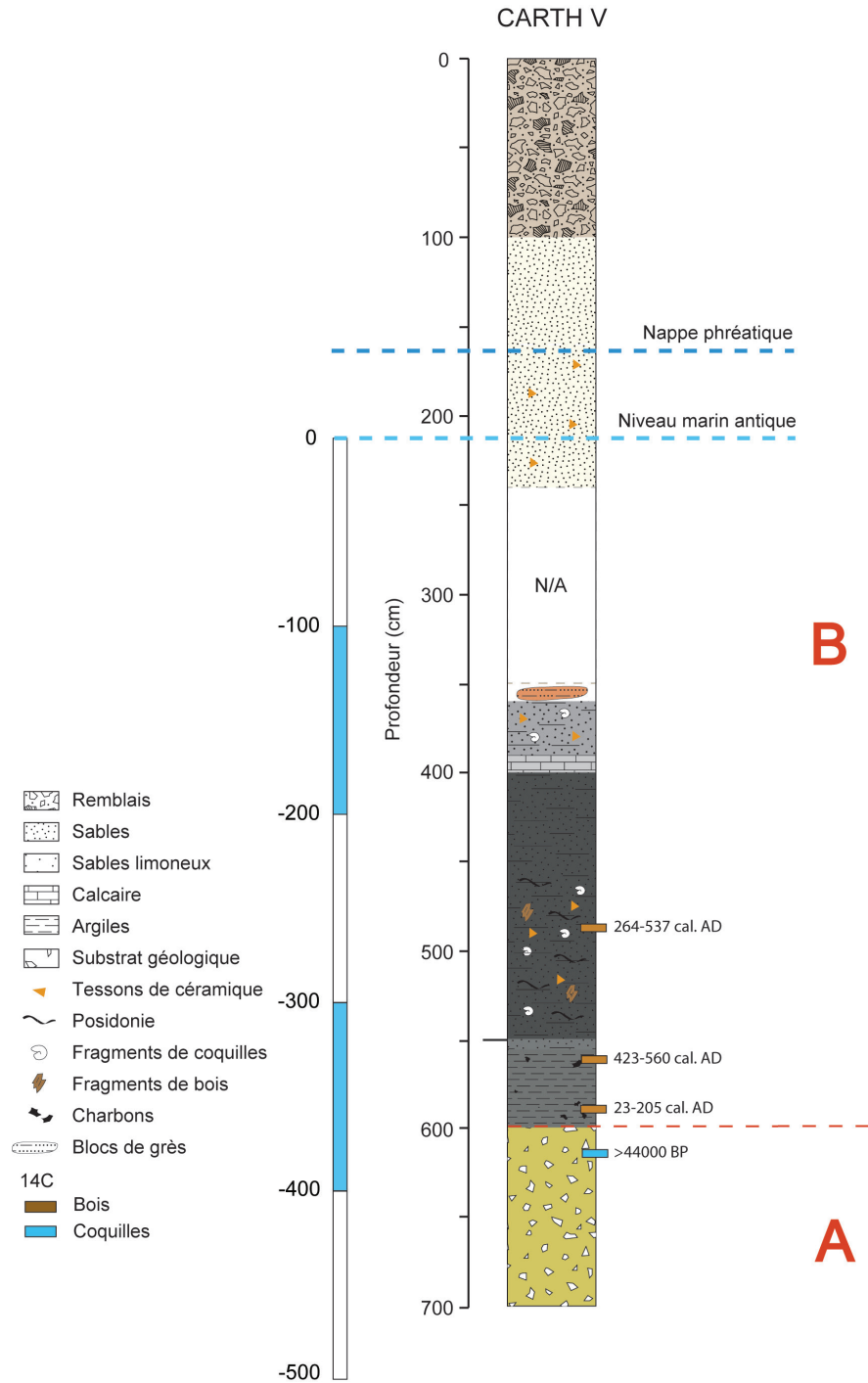


FIG. 12. – Stratigraphie de la carotte sédimentaire CARTH V (bassin circulaire).



FIG. 13. – Opération de carottage mécanique rotatif, avec chemisage. Site de carottage CARTH V.

dans ce secteur afin d'obtenir une autre séquence d'archives portuaires de ce bassin circulaire.

L'unité stratigraphique A pré-portuaire correspond à l'unité basale d'altérites de substrat (fig. 11). Les assemblages malacologiques observés traduisent un milieu de mer ouverte. On trouve par la suite dans l'unité B une séquence relativement homogène de vases gris moyen avec des charbons. Une faune de substrat dur (*Balanus* sp., *Anomia epiphium*) est observée et est associée à une malacofaune indicatrice d'un milieu protégé de la mer ouverte. Ensuite, se déposent des limons sableux riches en matières organiques et coquilles. La malacofaune se diversifie à partir de 4,50 m sous le niveau topographique actuel, avec des faunes de substrat dur de type quais (*Balanus* sp.), de fonds variés (fonds rocheux, vaseux, herbiers) et des espèces indicatrices de la biocénose des sables vaseux de mode calme. Les datations au radiocarbone permettent de placer cette unité entre 23 et 560 cal. AD. Un niveau d'éléments calcaires anguleux occupe la profondeur de 5,50 m en dessous du niveau topographique. Des sables limoneux gris très foncé avec tessons, coquillages, posidonies et morceaux

de bois occupent 1 m d'épaisseur et sont datés entre 264 et 537 cal. AD. La vitesse de sédimentation entre le sommet de cette unité et la base de l'unité précédente est de 0,35 cm/an.

On retrouve à nouveau des éléments calcaires anguleux au-dessus de cette unité sablo-limoneuse, puis des sables grossiers limoneux gris avec des tessons et des coquilles, dégageant une forte odeur de matière organique. Ils sont surmontés par un bloc de grès orange. Une perte de sédiments est à noter entre 2,40 et 3,50 m de profondeur sous le niveau topographique. On trouve par la suite des sables jaunes avec des tessons, puis des sables homogènes. Comme dans les autres carottes, le premier mètre est constitué de remblais modernes.

3.5.2. CARTH V – Interprétation

Dans la carotte CARTH V, le substratum géologique gréseux est rencontré à 3,75 m sous le zéro marin antique (fig. 12). Une séquence argilo-limoneuse gris foncé, riche en charbons et fragments de bois, en macrofaune et en tessons céramiques, se dépose ensuite. Cette séquence illustre un environnement particulièrement marqué par l'anthropisation. Le faciès limono-argileux gris témoigne d'un environnement de dépôt calme. Les premiers sédiments portuaires qui se déposent sur le substratum géologique remontent à une période comprise entre le 1^{er} quart du 1^{er} siècle apr. J.-C. et le tout début du III^e siècle apr. J.-C. À cette période, la profondeur dans ce secteur du bassin circulaire était de 3,75 m sous le zéro marin antique. Puis, entre le milieu du III^e siècle apr. J.-C. et le milieu du VI^e siècle apr. J.-C., la profondeur atteint 2,75 m sous le zéro marin antique. Ce secteur sud-est du bassin circulaire semble légèrement plus profond que les autres secteurs étudiés.

3.6. CAROTTE CARTH VI

Voir figure 14.

3.6.1. CARTH VI – Description stratigraphique

Le point de carottage CARTH VI a été positionné dans ce secteur afin de mieux cerner sa paléogéographie. En effet, nous souhaitons savoir si nous étions toujours dans le bassin circulaire, si nous avons atteint ses limites, autrement dit le quai, voire même la muraille de mer, ou si nous étions positionnés de l'autre côté du système portuaire, c'est-à-dire à l'extérieur, côté mer.

La carotte CARTH VI se situe à 1,8 m d'altitude par rapport à la nappe phréatique, et mesure 9 m de profondeur (fig. 14). L'unité A pré-portuaire correspond au bloc de grès, le substrat géologique. Des fragments de

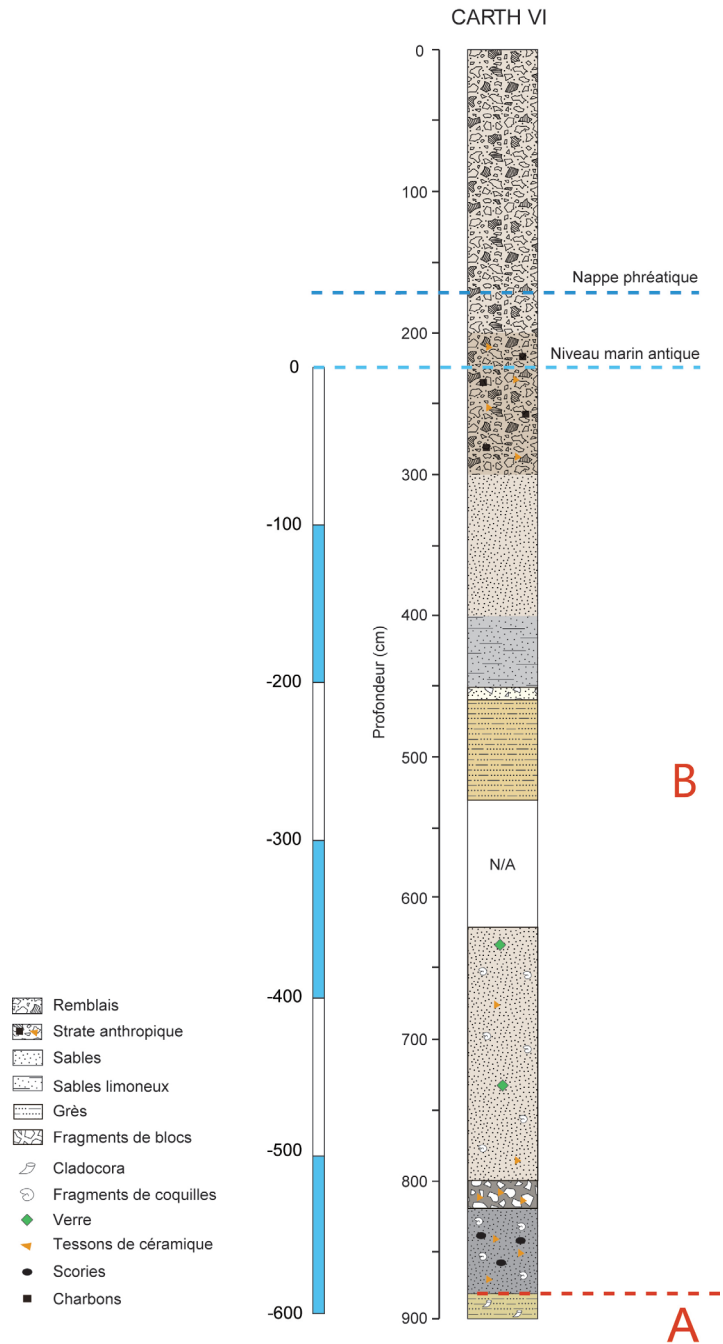


FIG. 14. – Stratigraphie de la carotte sédimentaire CARTH VI.

Cladocora sont par ailleurs observés dans ce grès. Des sédiments sableux marins grossiers beiges contenant des tessons de céramique romaine, des coquilles marines et des scories se situent au-dessus, suivis par un niveau de tessons et de fragments de blocs. Des problèmes techniques n'ont pas permis de prélever les sédiments compris entre 5,30 et 6,30 m sous la surface topographique. Un bloc de grès obstrue la carotte à partir de 4,70 m. Entre 4,50 et 4,60 m, l'unité est constituée de sables jaunes et de fragments de ce bloc. On trouve par la suite des sables limoneux gris clair puis des sables grossiers beiges. Ils sont suivis de strates anthropiques présentant des tessons, des charbons, mais aussi des tesselles de mosaïque, jusqu'à 2 m. Les remblais modernes occupent le sommet de la carotte.

3.6.2 CARTH VI – Interprétation

Dans cette carotte, le substrat géologique est atteint vers 6 m sous le niveau marin antique (fig. 14). L'absence de sédiments fins de couleur foncée indique que ce secteur se trouve **en dehors du bassin circulaire**. La stratigraphie révèle une forte influence marine ainsi qu'une exposition à la houle et aux courants. Il s'agit d'un **milieu ouvert et battu, le long de la façade maritime de l'époque**. Les datations radiocarbone permettront d'établir la chronologie de cette zone. Bien que relativement profonde (entre 4 et 6 m sous le zéro marin antique), elle se situe à proximité de la côte et d'une possible muraille de mer punique. Autrement dit, s'il y a une muraille punique de front de mer dans ce secteur, elle passe entre le point de carottage V et le point de carottage VI.

4. Discussions et interprétations

4.1. VERS UNE HISTOIRE DU PORT CIRCULAIRE DE CARTHAGE AUX ÉPOQUES ROMAINE, VANDALE/BYZANTINE ET ARABO-ISLAMIQUES

La chronostratigraphie des sédiments portuaires provenant des carottes de la campagne de 2018 a permis de mettre en évidence différentes phases d'utilisation du port circulaire, ainsi que des curages (fig. 15 et 16). Ces données semblent indiquer une certaine continuité dans l'utilisation des installations portuaires du port circulaire, entre les I^{er}-III^e siècles et les VII^e-IX^e siècles apr. J.-C.

En combinant les quatre carottes du port circulaire, un total de 4 phases d'utilisation a pu être identifié (fig. 16) :

– **La phase 1 est datée des I^{er}-II^e siècles apr. J.-C. (période romaine)** et n'est retrouvée que dans la carotte CARTH-V. La base de cette séquence

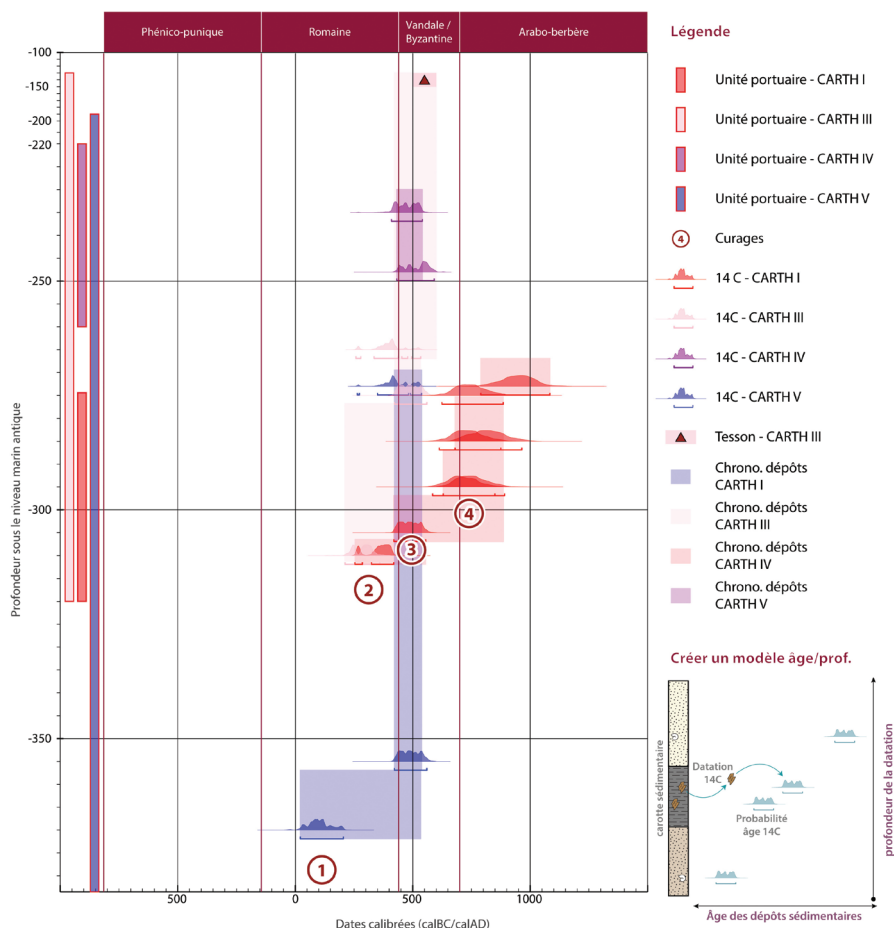


FIG. 15. – Modèles âge-profondeur des carottes sédimentaires localisées dans le bassin circulaire de Carthage et identification des différents curages.

portuaire a la particularité d'être située à une profondeur supérieure à celles documentées dans les autres carottes du bassin, ce qui pourrait expliquer qu'elle ait été préservée des dragages postérieurs.

– **La phase 2 est datée des III^e-IV^e siècles apr. J.-C. (fin de la période romaine)** et est préservée dans les carottes CARTH I et III. Dans la carotte CARTH IV, les phases 1 et 2 ont été détruites par les dragages postérieurs, et dans la carotte CARTH V aucune date ne correspond à cette période, soit en raison d'un curage, soit en raison d'une faible accumulation sédimentaire.

– **La phase 3 est datée de la seconde moitié du V^e à la fin du VI^e s. apr. J.-C. (période vandale/byzantine).** Elle est la seule à être attestée dans



Fig. 16. – Chronologies simplifiées des dépôts portuaires du bassin circulaire avec les TAQ (*terminus ante quem*) du creusement ou du curage le plus profond et les TPQ (*terminus post quem*) du comblement portuaire dans chaque secteur prospecté. Deux phases d'ensablement du bassin circulaire sont identifiées : secteur sud-est (rose, TPQ à 400-550 AD) et est (jaune, entre 625-885 et 790-1080 AD).

l'ensemble des carottes prélevées dans le bassin circulaire et occupe une part importante de la chronostratigraphie portuaire des carottes CARTH III et IV.

– **La dernière phase d'utilisation remonte au VI^e-IX^e siècles apr. J.-C. (fin de la période byzantine au début de l'occupation arabo-islamique)** et n'est retrouvée que dans la carotte CARTH I. L'ensablement de ce secteur est daté entre 625-885 cal AD et 790-1080 cal AD, et semble être postérieur à celui du secteur sud-est (englobant les carottes CARTH III, IV et potentiellement V). En effet, un *terminus post quem* du V^e au milieu du VI^e siècle apr. J.-C. peut être proposé à partir de la chronostratigraphie des carottes CARTH IV et III.

Ces données ont permis de mettre en évidence que l'atterrissement des zones sud-est et est du bassin circulaire visible dans le paysage actuel est relativement ancien (initié dès les VII^e-IX^e s. apr. J.-C.) et s'est produit en plusieurs phases. Il semble que les anciens ingénieurs ont progressivement renoncé à entretenir ce secteur du port, probablement sujet à d'importantes accumulations de sédiments marins (1) sous l'effet des courants littoraux s'engouffrant dans une passe ouverte sur la mer ou (2) apportés par la submersion des môles lors de tempêtes.

4.2. LES DIFFÉRENTES PHASES DE CURAGE DANS LE BASSIN CIRCULAIRE DE CARTHAGE

La complexité de la chronostratigraphie, différente dans chacune des carottes étudiées, traduit un environnement portuaire fortement anthropisé et régulé par de multiples interventions humaines (notamment plusieurs curages) sur de longues périodes historiques. En effet, **entre trois et quatre curages** ont pu être mis en évidence dans le bassin du port circulaire (fig. 6, 15 et 16) :

– **Le premier est daté d'environ 25-200 AD (période romaine)** et correspond à la base de l'unité portuaire dans la carotte CARTH IV. Dans cette dernière, tous les sédiments portuaires antérieurs à 25 AD ont été détruits par un curage qui a atteint le substratum géologique. Or, les données archéologiques (Hurst) démontrent que les structures du port circulaire ne remontent pas au-delà de 165 av. J.-C. Ainsi, près de 200 ans de sédimentation portuaire ont été perdus.

– **Le deuxième est daté d'environ 225-375 AD (période romaine)** et correspond à la base de l'unité portuaire dans les carottes CARTH I et III. Dans ce secteur sud-est, les sédiments antérieurs à 225 AD ont été détruits par un curage qui a atteint le substratum géologique à 3,1 m sous le niveau

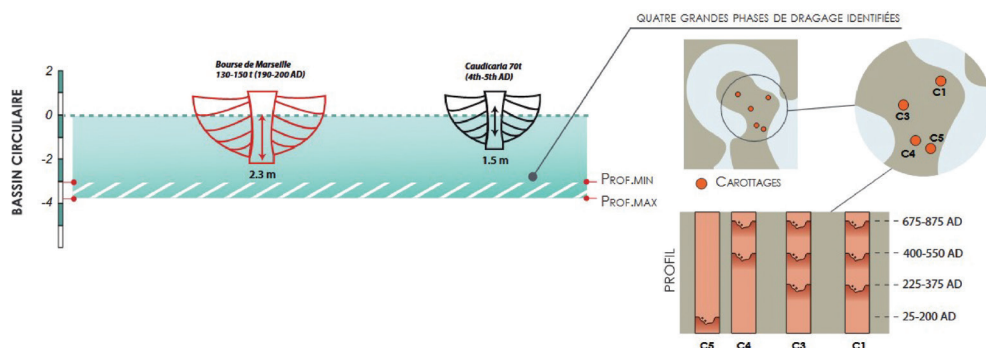


FIG. 17. – Représentation schématique des profondeurs maximale/minimale de la colonne d’eau disponible dans le bassin circulaire du port de Carthage au cours de l’occupation romaine, et exemples d’embarcations pouvant y accéder.

marin antique. Les archives portuaires manquantes représentent ici près de 400 ans.

– **Le troisième est daté d’environ 400-550 AD (fin de la période romaine / début des périodes vandale et byzantine)** et n’est identifié que dans la carotte CARTH I. En près de 300 ans, seulement 5 cm de sédiments se sont accumulés dans ce secteur, alors que pour les mêmes périodes des dizaines de centimètres de sédiments se sont déposés dans les autres carottes du bassin circulaire. Deux hypothèses peuvent expliquer ce phénomène : (1) les vitesses de sédimentation y sont plus faibles que dans le secteur sud-est (CARTH III, IV et V) ou (2) les sédiments de cette période ont été éliminés par un curage qui n’a pas atteint le substratum géologique.

– **Le quatrième est daté d’environ 675-875 AD (fin des périodes vandale et byzantine / début des périodes arabo-islamiques)** et n’est également visible que dans la carotte CARTH I. Les faibles accumulations sédimentaires (10 cm) entre le v^e et le début du viii^e siècle apr. J.-C. suggèrent (1) une modification importante des taux de sédimentation à partir de 625 AD dans le secteur est du bassin circulaire (CARTH I), ou bien (2) la présence d’un curage.

4.3. NAVIGABILITÉ DU BASSIN PORTUAIRE AUX PÉRIODES ROMAINES

L’estimation des anciennes colonnes d’eau a été possible en recalant la profondeur des échantillons datés de la période romaine par rapport au niveau marin antique, estimé à 50 cm sous le niveau marin actuel⁹.

9. R. PASKOFF *et al.*, 1991 ; M. ANZIDEI *et al.*, 2011.

Cette approche permet de restituer les paléo-profondeurs des bassins portuaires à différentes dates (fig. 17).

Pour la période romaine, elle a mis en évidence que le bassin circulaire n'était pas accessible pour les embarcations avec d'importants tonnages. Seuls les navires de taille plus modeste, comme ceux de la Bourse de Marseille (190-200 apr. J.-C.), qui pouvaient transporter seulement 130 à 150 tonnes, étaient en mesure d'y circuler. Ces données semblent cohérentes avec la fonction militaire couramment attribuée à ce port.

Des discussions avec nos collègues experts en navigation et construction navale devraient permettre de déterminer quels types de navires pouvaient accéder aux quais, au fil du temps et de l'accumulation sédimentaire, notamment aux périodes byzantine et arabo-islamique. L'accessibilité aux ports dépendra des tirants d'eau respectifs et du tonnage des navires.

5. Conclusions et perspectives

L'étendue importante des bornes chronologiques offertes par les datations radiocarbone ne permet pas d'être plus précis dans la chronologie des événements (phases d'utilisation/dragages). Néanmoins, il est clair que le port a fait l'objet de nombreux dragages successifs afin d'en améliorer l'accessibilité et de le maintenir en fonctionnement. Il est donc probable que d'autres dragages soient identifiés dans les futurs carottages. Ces chronologies discontinues, retrouvées dans les séquences portuaires, ne sont pas favorables à des études palynologiques à haute résolution bio-stratigraphique. Il apparaît donc préférable de se tourner vers un environnement moins anthropisé, tel que la lagune de Tunis, pour reconstituer l'histoire du couvert végétal dans la région de Carthage.

Pour comprendre le fonctionnement des bassins portuaires de ce site majeur de la Méditerranée antique, le croisement de données issues de nombreuses carottes sédimentaires, y compris provenant des zones encore immergées des bassins, est nécessaire. Chacune d'entre elles représente, avec une chronostratigraphie particulière, un fragment de l'histoire environnementale du port de Carthage, préservé de la destruction des curages successifs. En combinant ces différentes archives sédimentaires, nous pourrions reconstituer une image plus complète de l'évolution du port au cours du temps.

Les principaux résultats à retenir sont les suivants. **(1)** Les recherches ont mis en évidence des bassins portuaires très bien protégés de l'influence marine extérieure, ce qui suggère des môles de défense, voire des murailles particulièrement efficaces face aux tempêtes et autres aléas météo-marins.

(2) Quatre phases d'utilisation du bassin circulaire sont attestées par les archives sédimentaires portuaires à savoir : phase 1 – romaine (I^{er}-II^e s. apr. J.-C.) ; phase 2 – romaine (III^e-IV^e s. apr. J.-C.) ; phase 3 – vandale/byzantine (seconde moitié du V^e à fin du VI^e s. apr. J.-C.) ; phase 4 – byzantine/arabo-islamique (VI^e-IX^e s. apr. J.-C.). (3) L'ensablement ayant provoqué l'atterrissement des zones sud-est et est du bassin circulaire est ancien et s'est produit en au moins deux phases : phase 1 – secteur sud-est (*terminus post quem* du V^e au milieu du VI^e s. apr. J.-C.) et phase 2 – secteur est (entre 625-885 cal AD et 790-1080 cal AD). (4) Le bassin circulaire présente une bathymétrie maximale légèrement dissymétrique, qui oscille entre 3,2 et 3,7 m sous le niveau marin antique. Le contact brutal entre le substratum géologique et la base de la séquence portuaire suggère un port creusé dans ce grès pléistocène. (5) Des hiatus chronologiques interprétés comme des phases de curage ont pu être mis en évidence dans le comblement des bassins. La pratique de curages à l'époque romaine a eu pour conséquence la destruction d'éventuelles séquences stratigraphiques antérieures, d'âge punique voire phénico-punique. Dans ce bassin circulaire, plusieurs hiatus sont identifiables : deux sont attestés vers 25-200 et 225-375 apr. J.-C. et deux sont probables vers 400-550 apr. J.-C. (époque vandale/byzantine) et 675-875 apr. J.-C. (époque arabo-islamique). Si l'on compare des archives sédimentaires aux données de l'archéologie, la datation (radiocarbone) la plus ancienne remonte à 5-130 cal AD et se situe à la base des sédiments portuaires. Or, l'archéologue britannique Hurst date les rampes de halage du bassin circulaire de la fin de la période punique (vers 170 à 165 av. J.-C), ce qui suggère qu'une partie des archives portuaires a été perdue en raison de curages. Les archives portuaires plus anciennes (phénico-puniques ou puniques) ne sont pas conservées dans le bassin circulaire en raison de la récurrence de curages qui ont, à plusieurs reprises, atteint le substratum géologique et ainsi détruit les strates antérieures à l'époque romaine. Autrement dit, ces données ne permettent pas d'identifier (par la présence d'archives sédimentaires) l'emplacement du bassin d'époque phénicienne et/ou phénico-punique dans le secteur du port circulaire.

Nos travaux en cours et futurs s'orientent vers l'analyse des archives sédimentaires du port dit commercial¹⁰, dont les dernières fouilles

10. En 2018 et 2019, le D^r Ahmed Gadhoun a été mandaté par l'INP pour effectuer une fouille de sauvetage aux abords du même port. Cette fouille, qui a duré plusieurs mois, a fait l'objet d'un rapport interne remis à l'INP. Une délégation de l'UNESCO s'est rendue sur place pour constater la situation, les ports étant classés et faisant partie du site de Carthage, inscrit au Patrimoine mondial depuis 1979. Les travaux ont été interrompus avec l'arrivée du Covid en 2020.

archéologiques datent de 1977¹¹ et de 1990¹². Nous examinerons la connexion entre les deux bassins, circulaire et rectangulaire, et la mer, en nous intéressant aux entrées, aux passes et au canal d'accès. Enfin, par l'utilisation des carottages, en contexte urbain dense, il devient possible d'envisager de suivre l'énigmatique canal d'époque punique découvert par Hurst puis par Stager vers le nord-est et vers le sud-ouest, en direction du lac de Tunis.

Jean-Philippe GOIRAN, Ahmed GADHOUM, Semah BETTAIB,
Cécile VITTORI, Valerian JESUS, Camille GONÇALVES et Hakim ABICHOU

Remerciements

Nous tenons à remercier pour leur soutien à cette recherche : l'Institut national du Patrimoine Tunisien (INP), le Ministère des Affaires culturelles (MAC) Tunisien, Les services compétents de la Présidence de la République à Carthage le Ministère français de l'Europe et des Affaires étrangères (MEAE), l'Université de Tunis, l'Université de Lyon 2, le CNRS, la MOM (Maison de l'Orient et de la Méditerranée), le CNRS Sciences humaines et sociales à travers le programme SMI, le programme IDEX, l'ANR ANR-21-CE27-0032 et le programme Artemis pour les datations AMS 14C. Merci à Sylvia Vinai, à Kais Trabels, à Hatem Bounatirou et à Arthur de Grauw pour leur aide. Merci à la municipalité de Carthage, au Centre de Formation des Cadres de l'Enfance de Carthage, à l'Institut national des Sciences et Technologies de la Mer (I.N.S.T.M), à l'École de Formation des Cadres de la Police nationale de Carthage (ministère de l'Intérieur), au Conservateur du site archéologique de Carthage, à l'Agence de Mise en Valeur et de Promotion du Patrimoine culturel (AMVPPC).

*
* *

Bibliographie

- M. ANZIDEI, F. ANTONIOLI, K. LAMBECK, A. BENINI, M. SOUSSI et R. LAKHDAR, 2011, « New insights on the relative sea level change during Holocene along the coasts of Tunisia and western Libya from archaeological and geomorphological markers », *Quaternary International* 232, p. 5-12.
- Z. BEN ABDALLAH et H. BEN HASSEN, 1991, « Rapport préliminaire sur la fouille du port marchand de Carthage », *CEDAC Carthage Bulletin* 12, p. 6.

11. L. E. STAGER, 1977.

12. Z. BEN ABDALLAH et H. BEN HASSEN, 1991.

- G. BOETTO, 2010, « Le port vu de la mer : l'apport de l'archéologie navale à l'étude des ports antiques », *Bollettino di archeologia Online*, p. 112-128.
- N. CARAYON, 2008, *Les ports phéniciens et puniques : géomorphologie et infrastructures*, Thèse de doctorat, Strasbourg.
- L. CARTON, 1911, « Le port marchand et le mur de mer de la Carthage punique », *Revue Archéologique* 18, p. 230-234.
- F. DECRET, 1977, *Carthage ou l'empire de la mer*, Paris, Le Seuil.
- H. DELILE, A. ABICHOU, A. GADHOUM, J.-Ph. GOIRAN, E. PLEUGER, J.-Y. MONCHAMBERT, A. WILSON, E. FENTRESS, J. QUINN, I. BEN JERBANIA et F. GHOZZI, 2015, « Geoarchaeology of Utica, Tunisia: Paleogeography of the Mejerda Delta and hypotheses concerning the location of the ancient harbor », *Geoarchaeology* 30/4, p. 291-306.
- H. DELILE, E. PLEUGER, J. BLICHERT-TOFT, J.-Ph. GOIRAN, N. FAGEL, A. GADHOUM, A. ABICHOU, I. BEN JERBANIA, E. FENTRESS et A. WILSON, 2019, « Economic resilience of Carthage during the Punic Wars: Insights from sediments of the Medjerda delta around Utica (Tunisia) », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, National Academy of Sciences* 116/20, p. 9764-9769.
- A. GADHOUM, 2010, *Étude des ports et des sites côtiers antiques de la côte orientale de la Tunisie : étude économique à partir des données archéologiques*, Thèse de doctorat, Aix-Marseille.
- , 2018, « Le paysage portuaire achollitain », in *De Syrtis Minor au golfe de Gabès : une histoire, un patrimoine*, Actes du 4^e colloque international (Sfax, 20-22 nov. 2014), S. Mokni éd., Sfax, Université de Sfax, vol. 1, p. 21-40.
- , 2019, « Le port de Sullecthum », in *Sullecthum. Salakta et ses environs à l'époque antique et médiévale*, Actes des journées d'études sur Ksour Essef, R. Kaabia éd., Sousse, Université de Sousse, p. 77-91.
- J. A. GIFFORD, J.-R. G. RAPP et V. VITALI, 1992, « Palaeogeography of Carthage (Tunisia): Coastal Change During the First Millennium BC », *Journal of Archaeological Science* 19, p. 575-596.
- J.-Ph. GOIRAN et C. MORHANGE, 2001, « Geoarchaeology of ancient mediterranean harbours: issues and case studies », trad. anglaise par E. Willcox, *Topoi* 11/2, p. 647-669.
- J.-Ph. GOIRAN, H. TRONCHÈRE, F. SALOMON, A. PRIEUR, H. DJERBI, P. CARBONEL et L. SCHMITT, 2014, « The geoarchaeology of ancient Mediterranean harbours in a deltaic context: Methodological approaches highlighted by three study cases from the Nile (Egypt) & Tiber (Italy) deltas », in *La géoarchéologie française au XXI^e siècle*, N. Carcaud et G. Arnaud-Fassetta éd., Paris, CNRS Éditions, p. 291-300.

- J.-Ph. GOIRAN, F. SALOMON, C. VITTORI, H. DELILE, J. CHRISTIANSEN, C. OBERLIN, G. BOETTO, P. ARNAUD, P., I. MAZZINI, L. SADORI, G. POCCARDI et A. PELLEGRINO, 2017, « High chrono-stratigraphical resolution of the harbour sequence of Ostia: palaeo-depth of the basin, ship drought and dredging », *Journal of Roman Archaeology Sup.* 104, p. 67-83.
- J.-Ph. GOIRAN, W. MAY CHAN, C. BENECH, Q. VITALE, N. RIDDICK, H. DELILE, F. SALOMON, S. CHAPKANSKI, C. OBERLIN, G. BROCARD, A. LISÉ-PRONOVOST et C. VITTORI, 2022, « Developments in Geoarchaeological Research, Methodologies and Applications in Harbour Maritime Archaeology », in J. Preiser-Kapeller, T. G. Kolias et F. Daim, *Seasides of Byzantium: Harbours and Anchorages of a Mediterranean Empire*, Heidelberg, Propylaeum (Byzanz zwischen Orient und Okzident, Band 21), 2022, p. 109-129.
- H. HURST et L. E. STAGER, 1978, « A metropolitan landscape: the late Punic port of Carthage », *World Archaeology* 9, p. 334-347.
- H. HURST, 2008, « Understanding Carthage as a Roman Port », *Bollettino di archeologia online* 6, p. 49-68.
- S. LANCEL, 1992, *Carthage*, Paris, Fayard.
- R. PASKOFF, H. SLIM, et P. TROUSSET, 1991, « Le littoral de la Tunisie dans l'Antiquité : cinq ans de recherches géo-archéologiques. », *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres (CRAI)*, fasc. III (juillet-oct.), p. 515-546.
- E. PLEUGER, 2020, *Évolution paléoenvironnementale du delta de la Medjerda et géoarchéologie du site d'Utique (Tunisie)*, thèse de doctorat, Université de Liège-Université de Lyon 2.
- H. DE ROQUEFEUIL, 1898, « Recherches sur les ports de Carthage », *CRAI*, fasc. I (janv.-fév.), p. 20-39.
- L. E. STAGER, 1977, « Carthage 1977. The Punic and Roman harbours », *Archaeology* 30, p. 198-200.
- V. VITALI, J. A. GIFFORD, F. DJINDJIAN et J.-R. G. RAPP, 1992, « A Formalized Approach to Analysis of Geoarchaeological Sediment Samples: the location of the Early Punic Harbour at Carthage, Tunisia », *Geoarchaeology*, 7 juin, p. 545-581.
- R. A. YORKE et J. H. LITTLE, 1975, « Offshore survey at Carthage », *International Journal of Nautical Archaeology* 4 janvier, p. 85-101.