

Évolution paléogéographique de la façade orientale de l'ancienne île de Tyr (Liban), du début de l'Holocène au siège d'Alexandre le Grand



Localisation de la presqu'île de Tyr au sud-Liban

Encadré par : Éric FOUACHE, Stéphane DESRUELLES et Jean-Philippe GOIRAN

Remerciements	4
Introduction.....	6

Chapitre 1 : Le contexte général

I Le contexte géographique : la côte sud Libanaise.....	7
II Le contexte géographique local : la presqu'île de Tyr.....	15
III Le contexte archéologique.....	21

Chapitre 2 : Méthode et analyses géoarchéologiques

I La géoarchéologie : approche méthodologique globale	28
II Les analyses effectuées pendant le stage.....	30
III Les analyses en cours.....	39

Chapitre 3 : Interprétations et hypothèses de travail

I Interprétations et hypothèses de travail sur le carottage TYR6.....	41
II Mise en relation des carottages TYR 4 et TYR 5 et TYR6.....	51

Conclusion.....	56
Références bibliographiques	58
Table des figures	65
Sommaire	67
Résumé/Abstract	70

Remerciements :

Je tiens particulièrement à remercier monsieur **Éric Fouache** (Professeur à Sorbonne Université, UMR 8185 ENeC), et **monsieur Stéphane Desruelles** (Maitre de Conférences à Sorbonne Université, UMR 8185 ENeC) pour les nombreuses corrections, remarques et orientations qu'ils ont pris le temps d'apporter à ce mémoire.

Je tiens à remercier également **Jean-Philippe Goiran** (Géoarchéologue, CNRS, Archéorient, Maison de l'Orient, Lyon) **qui m'a permis de travailler, d'abord à l'antenne CNRS de Jalès en Ardèche, puis à Paris, sur les carottages réalisés à Tyr.** Merci pour ses corrections et suggestions tout au long de la préparation de ce travail.

Merci à la Direction Générale des Antiquités du Liban d'avoir permis la réalisation de la campagne de Carottages de mai 2018 (sous la Direction de Kosmas Pavlopoulos, Eric Fouache et Jean-Philippe Goiran) ainsi qu'à la Mission Française de Tyr, à l'IFPO (Institut français du Proche-Orient de Beyrouth), à l'association geoarchaeologia, à la Honor Forst Foundation, à et à l'IDEX de l'Université de Lyon pour les financements des opérations de carottage, ainsi que pour la logistique, la bourse de Master et les analyses en laboratoire.

Merci à Gilles Brocard (chargé de Recherche en géologie et tectonique dans l'UMR 5133, Archéorient, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, CNRS, Université Lyon 2) pour ses explications concernant le terrain et les enjeux à Tyr, **ainsi qu'à Jean Baptiste Yon** (Archéologue et directeur de Recherche CNRS, IFPO, UMIFRE 6 – MEAE – CNRS – USR 3135).

Merci à Marianne Cohen et Delphine Gramond d'être présentes pour l'évaluation de ce stage de Master 2 GAED « Géographie, aménagement, environnement et développement » mention Environnement, temps, territoire, sociétés.

Merci à toutes les personnes rencontrées pendant le pré-stage d'un mois réalisé à Jalès : **Emmanuelle Regagnon et Olivier Barge** (Archéorient - Environnements et sociétés de l'Orient ancien) pour leur accueil sur le site de Jalès. **Merci à Cécile Vittori et Stoil Chapkansky**

(Archéorient UMR 8591, Environnements Quaternaires et Actuels, Paris-Sorbonne, France) pour leurs explications et leur aide dans la rédaction de ce mémoire. Merci à Semah Bettaib, présent à Jalès en même temps que moi, ainsi qu'à Amber Goyon et Camille Gonçalves qui m'ont précédée, pour leur travail sur les carottages TYR4 et TYR5.

Merci également à toutes les personnes du laboratoire de géographie physique de Meudon, que j'ai eu la chance de rencontrer sur place à deux reprises, grâce à Stoïl Chapkansky.

Merci enfin à Gwenaëlle Pequay et Maureen le Doaré de l'Université Lyon 2, pour ma convention de stage et ses formalités, et grâce à qui j'ai pu poursuivre mon stage en télétravail malgré le confinement.

Introduction

Inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1984, la Presqu'île de Tyr se trouve au Sud du Liban. Insulaire jusqu'à l'arrivée d'Alexandre le Grand au IV^{ème} siècle avant J.C., Tyr est connue pour avoir été une grande puissance phénicienne, notamment navale et commerciale. Vers 332 av. J-C, Alexandre Le Grand, qui se dirige vers l'Égypte, impose à l'île un siège de neuf mois (Carayon, 2012). Il entreprend alors la construction d'une chaussée reliant l'île au continent, s'aidant pour cela de la faible profondeur des eaux côtières, et d'un tombolo naturel (ou d'un banc de sable) déjà en formation. Les remblais jetés en mer afin de constituer cette route sont probablement les débris de *Palaeotyr*, ancienne partie continentale de la ville de Tyr. La presqu'île est ensuite occupée aux époques hellénistique, romaine et byzantine. En 1291, suite à l'invasion mamelouke, la ville est abandonnée puis laissée en ruine. Ce n'est qu'au XVIII^{ème} siècle que la presqu'île sera habitée de nouveau (Gatier et al., 2011 ; Gatier, 2011) par une petite bourgade, qui deviendra Tyr-ville, la quatrième ville la plus peuplée du Liban.

À partir du milieu des années 1800, la presqu'île de Tyr fait l'objet de prospections pour tenter de retrouver les vestiges de la ville insulaire, « Tyr-le-port » dont parlent les textes historiques (Pritchard, 1955). Entre 1948 et 2018, les fouilles se succèdent. La presqu'île livre alors des énigmes à la fois archéologiques et géographiques : quelles ont été les évolutions du paysage autour de la presqu'île durant l'Holocène¹? Quelles ont été les ressources environnementales dont les tyriens disposaient ? Des catastrophes naturelles ont-elles eu lieu ? En effet, l'île pré hellénistique est habitée à partir de l'Âge du Bronze (Bikai, 1978), mais ses reliefs n'ont cessé d'évoluer à l'Holocène. La remontée progressive du niveau marin et l'évolution des réseaux hydrologiques ont bouleversés le paysage de la côte Libanaise, façonnant le territoire sur lequel s'installèrent les Tyriens.

Après une première mission exploratoire en 2017 dirigée par Éric Fouache, Kosmas Pavlopoulos (Sorbonne Université, Abu Dhabi) et Jean-Philippe Goiran (Lyon 2, CNRS - UMR 5133 Archéorient), une campagne de carottages s'est déroulée au mois de mai 2018. Sept carottages ont été réalisés sur la presqu'île : TYR1, TYR2, TYR3, TYR4, TYR5, TYR6 et TYR7.

¹ Période géologique qui succède en 12 000 BP au Pléistocène. L'interglaciaire holocène marque la fin de la glaciation Würmienne, qui voit en 22 000 BP un niveau eustatique 120 m plus bas que l'actuel. L'Holocène, se poursuit de nos jours.

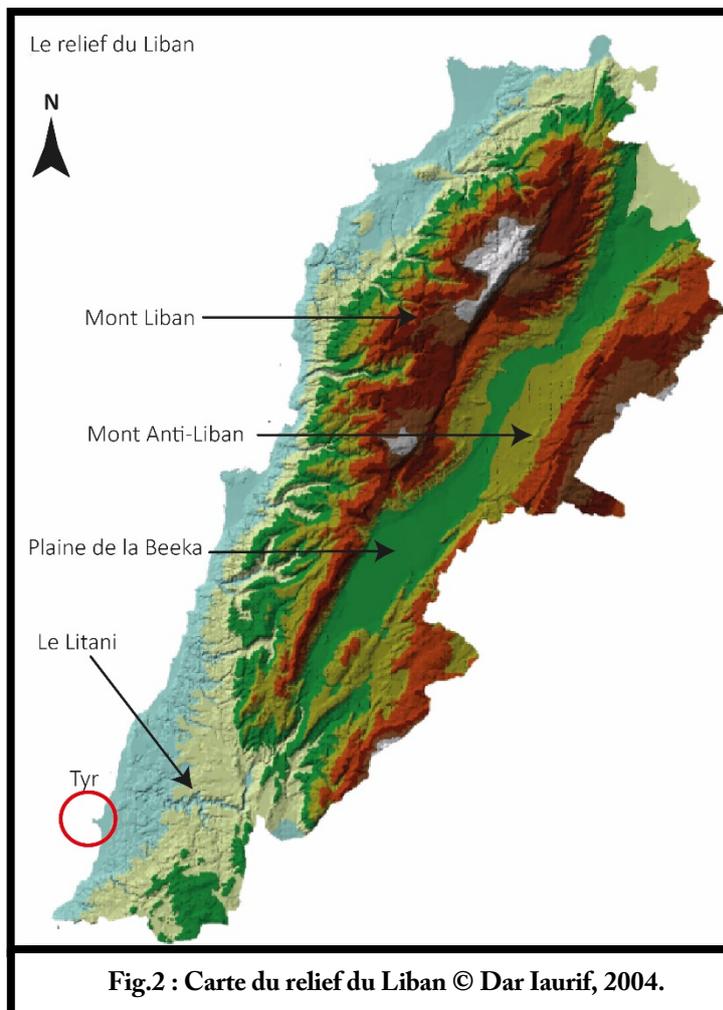
Ont participé à cette campagne Stoïl Chapkanski et Emmanuelle Regagnon (Archéorient, UMR 5133), Kosmas Pavlopoulos, en collaboration de Jwana Chahoud et Jeanine Abdul Massih (Université libanaise). Les carottages, financés par l'association Geoarchaeologia, ont été réalisés par la société « GeoScience », à l'aide d'une foreuse rotative (le tube de carottage s'enfonce dans le sol en tournant sur lui-même). Un échantillonneur Denison avec « double sleeve » (présence d'une poche plastique dans le tube pour récolter l'échantillon) a été mis en place afin de limiter la perturbation des sédiments carottés. Les carottes sédimentaires ont ensuite été transportées au laboratoire de Lyon.

Le carottage étudié dans le cadre de ce master est le carottage TYR6. Prélevé dans la vieille ville au nord de l'île pré-hellénistique (Fig.15p30), à une hauteur de 8 m au-dessus du niveau de la mer, il couvre environ 18 m de sédimentation et descend à 10 m sous le niveau marin actuel. Les analyses effectuées sur les échantillons sédimentaires sont les suivantes : la susceptibilité magnétique, le Munsell, la texture (ou granulométrie) et la microfaune. Les résultats de ces analyses apportent des informations sur la structure de la presqu'île et sur la nature du sous-sol qui la compose. Ces résultats permettent de soulever des hypothèses de travail sur la paléogéographie de la façade orientale de l'ancienne île de Tyr, ainsi que sur les emplacements possibles de la chaussée d'Alexandre et des anciennes zones portuaires à l'est de la presqu'île.

Chapitre 1 : Le contexte général du site

I Le contexte géographique : la côte sud du Liban

A. Le contexte topographique



Le relief libanais est dominé par deux Monts : les Mont Liban et Anti-Liban, dont les plus hautes altitudes avoisinent les 3100 m. De part et d'autre de la plaine de la Bekaa, ils forment un ensemble étagé qui surplombe une frange littorale d'environ 230 km de long. Le trait de côte, composé d'une alternance entre promontoires rocheux, baies ensablées, et falaises, présente un relief très découpé. Tyr se trouve au sud, sur cette bande littorale,

qui avance sur la mer, à une cinquantaine de kilomètres des premières hauteurs du Mont-Liban. La formation de la plaine littorale est le résultat de la géologie et de la tectonique,

des dynamiques holocènes d'érosion marine et d'apport sédimentaires continentaux. Lors de la transition entre le Dryas récent² et la période interglaciaire holocène, le relief du Liban devait se poursuivre bien au-delà de sa ligne de côte actuelle et Tyr n'était pas encore une île. Le niveau marin, 120 m plus bas en 22 000 BP que celui que nous connaissons, était encore bien en deçà de l'actuel au début de l'Holocène (Lambeck et Purcell, 2005).

B. Le contexte tectonique

Le système de failles libanais s'étend sur environ 1000 km de long (Carton *et al.*, 2009) et correspond à la zone de jonction entre les plaques tectoniques Africaine et Arabique (au niveau de la faille décrochante de Yammouné) (Fig.3).

Le Liban se trouve également à proximité de la zone de rencontre entre les plaques africaine et eurasiatique. Les failles dérivées de la pression exercée au niveau de la faille de Yammouné cisailent le littoral tyrien en *horst* et *graben* orientés NE/SO (géomorphologie en « touche de piano » où le *horst* est la partie soulevée et le *graben* est la zone qui s'enfonce).

La presqu'île tyrienne se trouve sur l'un de ces horsts soulevés, entre les failles de *Roum*, à l'est, et celle de *Rosh Hanikra- Ras Nakoura* au sud (Morhange, 2006). Le réseau de failles, qui se prolonge en mer, a pu être l'origine de tsunamis comme celui de 365 ap. J.C. ayant pour origine un séisme en Crète (Striros, 2001), de 551 A.D. (Ata, 2007) et dont le plus récent est celui de 1856. Si le dernier grand séisme à avoir affecté la faille de Yammouné date de 1202, les failles à proximité de Tyr sont encore actives, comme l'attestent les tremblements de terre fréquents dans la région. Jules Bertou (1843) fait état d'une « secousse en 1837 où [Tyr] fut le point de la côte où elle se prolongea le plus longtemps ».

² 11 700 ans BP. Note : toutes les datations se référant à des âges, étages ou zones géologiques sont renseignées par l'« *international Chronostratigraphic Chart* » de Cohen et al., 2020, www.stratigraphy.org

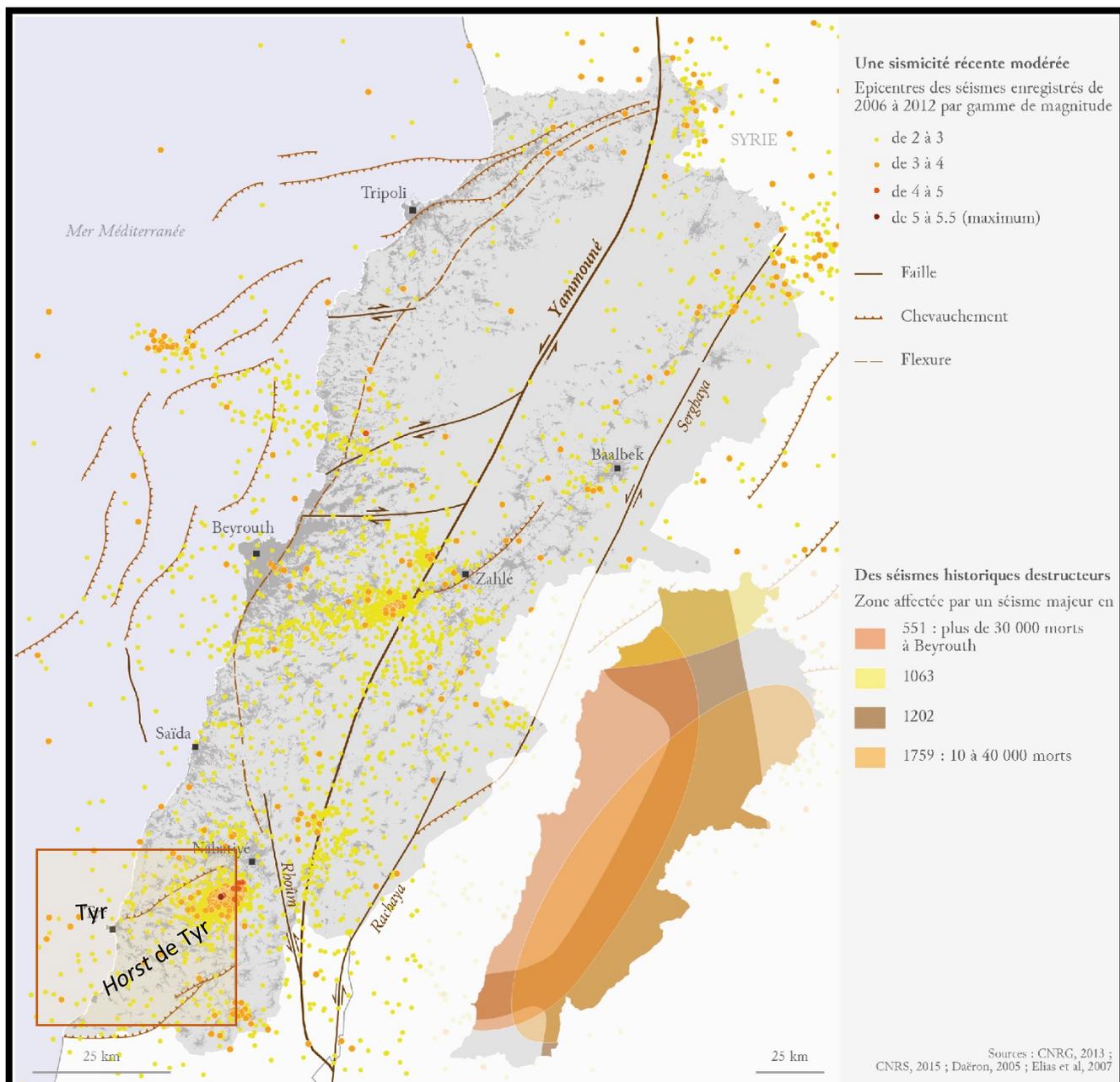
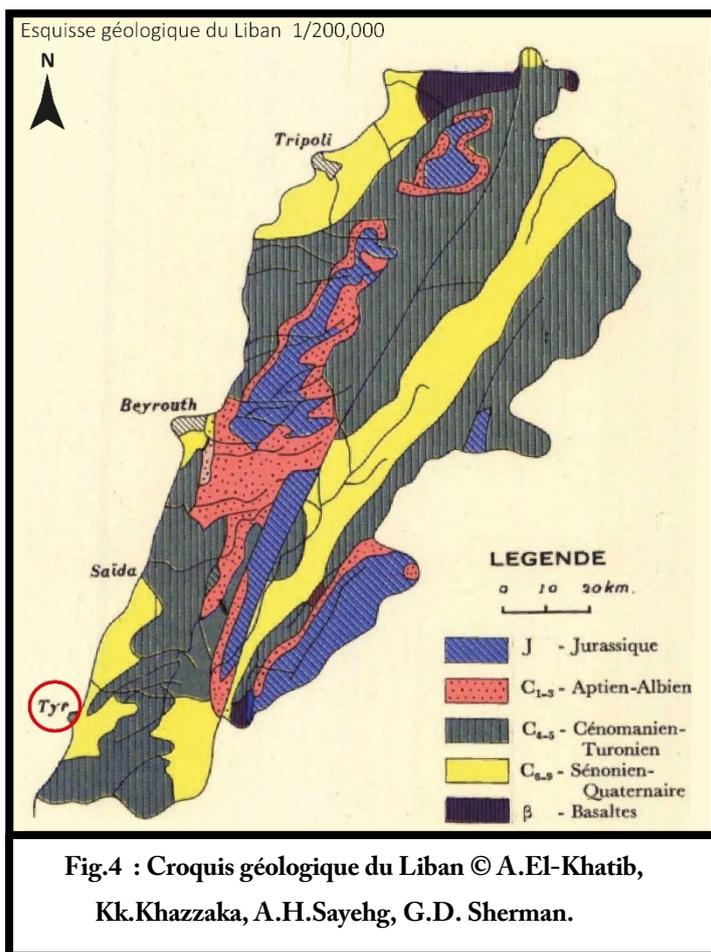


Fig.3 : Carte de la sismicité et des failles majeures du Liban © CNRS, 2015.

C. Le contexte lithologique



Les reliefs du Liban sont constitués de calcaire très perméable du Cénomanién-Turonien (début du Crétacé supérieur³) et de nummulites ou calcaire biodétritique éocènes⁴ (Canapla *et al.*, 1953). Sur les versants est du Mont Liban, les formations jurassiques⁵, déposées sur une plate-forme marine carbonatée plus ancienne, apparaissent sous la forme de falaises calcaires de couleur claire, surmontées d'un horizon gréseux de

couleur ocre, déposé au début du Crétacé (formation aptien-albien⁶) sur le littoral émergé (Veltz, 2008). Le basalte se trouve à la limite entre les horizons crétacé-jurassiques.

Dans la plaine de la Bekaa et à certains endroits sur le littoral, les formations affleurantes correspondent à des dépôts quaternaires⁷, mis en place par les cours d'eau lors de l'érosion des versants. La bande côtière sur laquelle se situe Tyr est constituée par endroit soit de formations géologiques anciennes érodées (entre Saïda et Beyrouth), soit de sédiments quaternaires déposés par les cours d'eau (entre Saïda et Tyr) (Fig.4).

³ De 100,5 à 89,8 millions d'années

⁴ De 56 à 33,9 millions d'années

⁵ De 201,3 à 145 millions d'années

⁶ De 125 à 100,5 millions d'années

⁷ Le Quaternaire est la période géologique qui suit celle du Néogène. Elle comprend le Pléistocène (de 2,6 millions d'années à 12 000 BP) et l'Holocène (de 12000 BP à de nos jours). Elle se caractérise par des oscillations rapides entre périodes glaciaires et interglaciaires.

Les apports sédimentaires sur la côte varient en fonction du ruissellement lié aux précipitations et de la dynamique des cours d'eau.

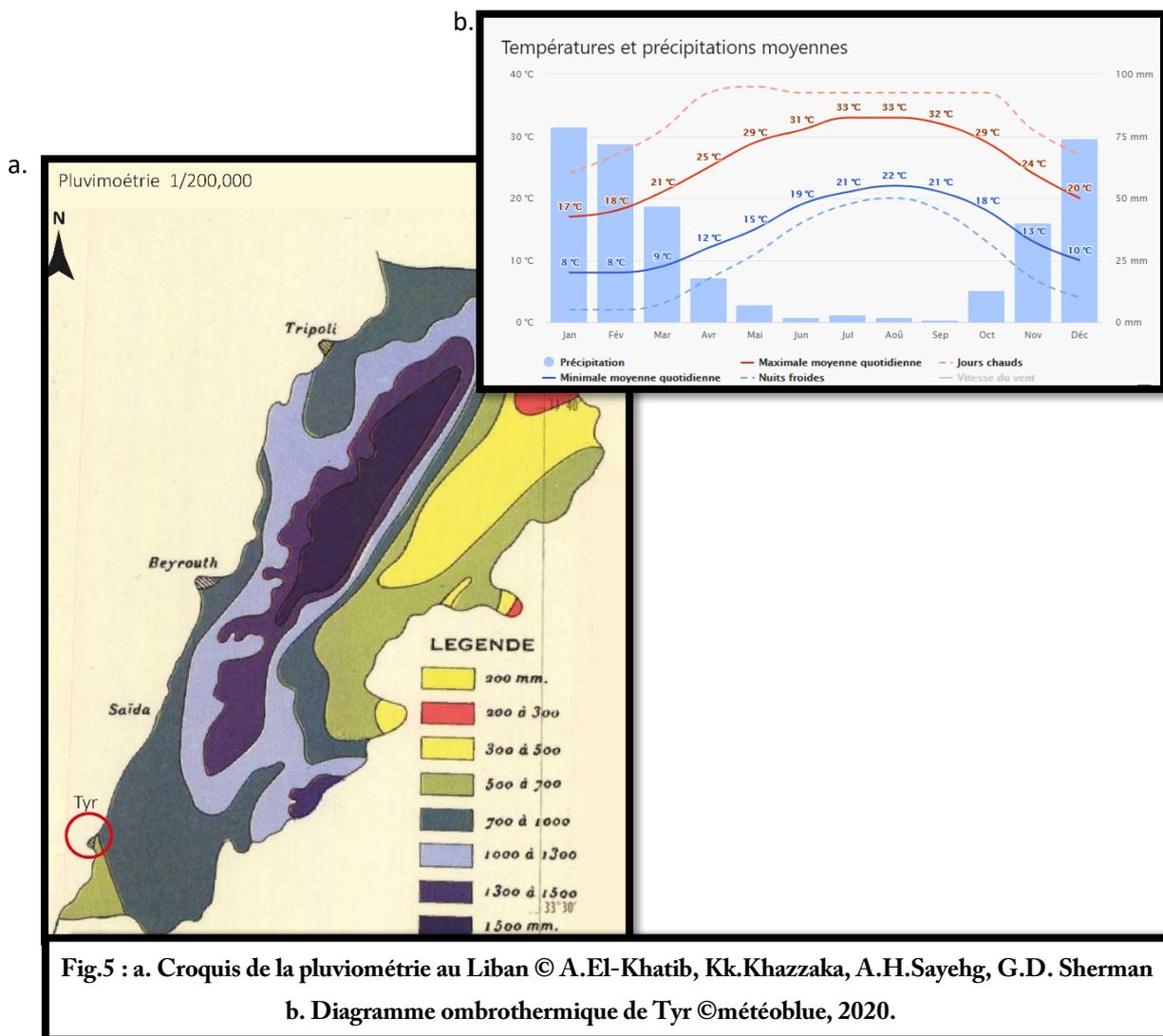
D. Le contexte climatique

Le climat de la côte Libanaise est méditerranéen, et connaît des saisons marquées : été chaud et sec, hiver doux, printemps et automne pluvieux. Le territoire libanais connaît un gradient pluviométrique croissant avec l'altitude (Fig.5.a.) car les masses d'air humides venant de la mer sont interceptées par le Mont Liban. Les précipitations orographiques ainsi générées alimentent en eau les fleuves, qui viennent enrichir en sédiments la plaine côtière.

Tyr, qui se trouve sur la côte, a une pluviométrie qui varie entre 500 et 700 mm par an, avec un maximum de précipitations en hiver et un minimum en été (Fig.5.b.). La quantité, comme l'intensité des précipitations et la puissance des cours d'eau, ont varié au cours de l'Holocène. Lors du dernier maximum glaciaire ou DMG (il y a environ 20 000 ans) la majorité de l'eau mondiale disponible était stockée dans les glaciers (inlandsis ou glaciers de montagne). Elle ne venait donc plus alimenter les cours d'eau, que lors des phases de réchauffements printaniers et estivaux⁸. Le réchauffement progressif holocène, aux alentours de 12 000 BP, a entraîné la fonte des glaciers. Le climat devient alors très humide et des précipitations importantes réalimentent les anciens cours d'eau (Magny, 2004). C'est le début d'un hydrodynamisme très érosif : les cours d'eau rejoignant le niveau marin mis en place lors de la dernière froide (de 120 m inférieur à l'actuel), creusent le relief. De 5700 à 5100 BP⁹, un changement climatique s'opère et l'aridité s'installe autour de la Méditerranée (Mercuri *et al.*, 2012 ; Perez-Obiol *et al.*, 2012).

⁸ La méditerranée est une zone refuge lors du dernier maximum glaciaire (DMG) pour les espèces arbustives, où le climat reste moins brutal que dans les terres.

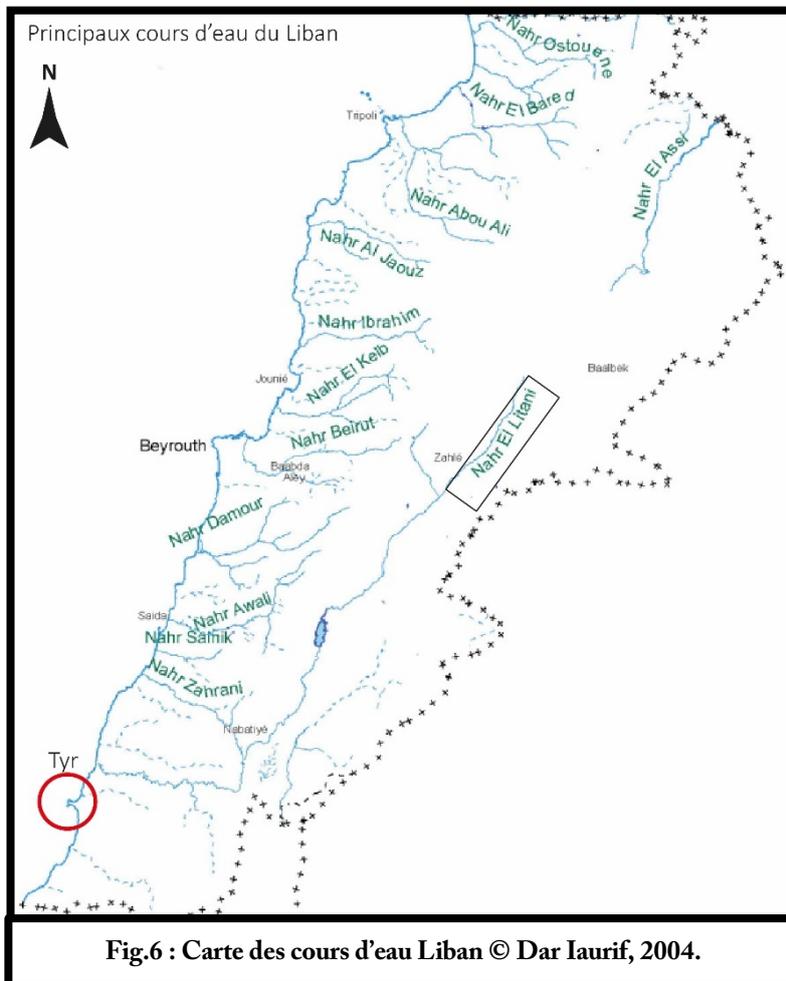
⁹ 3750–3150 cal.B.C.



E. Le contexte hydrologique

Les évolutions climatiques, le relief et les failles du territoire libanais expliquent l'orientation des cours d'eau qui le traversent. Le principal fleuve du pays, le Litani, prend sa source sur le versant est du Mont Liban avant de rejoindre la mer à 9 km au nord de Tyr (Fig.6). Le bassin-versant du Litani est fortement influencé par les grandes structures du relief libanais. Les sédiments que ce fleuve transporte jusqu'à la côte, qui sont ensuite pris en charge par la dérive littorale, parfois jusqu'à Tyr, sont issus des différentes roches qui composent son bassin-versant. Les réseaux karstiques qui se sont formés dans les horizons calcaires du Mont Liban donnent aussi naissance à de nombreux cours d'eau, pérennes ou intermittents (oueds) qui drainent la plaine côtière en amont de Tyr.

Cependant les débits des cours d'eau ont évolué avec les variations climatiques Quaternaires. Lors de la période glaciaire qui a précédé l'Holocène, les débits étaient très faibles, car la rupture du cycle de l'eau au niveau des masses glaciaires a eu pour conséquence un tarissement des précipitations.



Les cours d'eau n'étaient alors pas le principal facteur du façonnement du paysage. Le niveau marin plus bas de 120 m lors du DMG créait un tout autre relief en laissant les zones côtières nues. C'est à partir du réchauffement holocène, aux alentours de 12 000 BP, que les cours d'eau vont jouer un rôle important : le climat en se réchauffant remet l'eau des glaciers en circulation, entraînant l'augmentation globale

des précipitations.

Rendus très actifs, les cours d'eau creusent leur lit, pour rejoindre le niveau marin, quelques 120 mètres plus bas que celui actuel. Le niveau de base, du fait de l'évolution eustatique, a eu tendance à s'élever. Les reliefs quaternaires (comme les cônes de déjections côtiers, mis en place lors des alternances entre périodes glaciaires et interglaciaires qui caractérisent le Quaternaire) ont été envoyés par la remontée du niveau marin. Les cours d'eau ont cessé d'éroder leur cours aval pour le sédimer et sont venus alimenter en sédiments la frange littorale qui se met en place et sur laquelle vont s'inscrire les variations relatives du niveau marin.

F. Les variations relatives du niveau marin

Les variations du niveau marin peuvent être globales (lorsque le niveau marin mondial évolue) ou relatives (lorsque les évolutions du niveau marin sont constatées localement). Bien qu'en partie influencées par les variations globales, les niveaux marins relatifs peuvent différer d'un endroit à l'autre. En effet, certaines dynamiques locales peuvent venir modifier le trait de côte : la tectonique, l'érosion ou la progradation côtière. De nombreuses études ont été réalisées sur l'évolution du niveau marin en Méditerranée à l'aide de différents marqueurs géomorphologiques et archéologiques. Ces marqueurs sont les *beachrocks* (grès de plage), les constructions à vermet (mollusques marins qui vivent en colonies et dont les fossiles indiquent un ancien niveau marin), les encoches d'érosion marines ou encore les vestiges archéologiques (viviers à poissons, installations portuaires...) (Fouache, 2010). Sur la côte libanaise Sanlaville (1970) a noté un niveau marin relatif supérieur d'un mètre à l'actuel et daté de 2100 – 2800 BP (Morhange *et al.*, 2006). Un niveau plus élevé encore est attesté par des marqueurs sur la côte syrienne. À 1,20m au-dessus du niveau marin, il serait lié soit à la tectonique soit au phénomène de dégraissement des plages ayant entraîné une mer à la côte à 1m20 au-dessus du niveau marin actuel (Dalongeville et al., 1993)

Des recherches plus récentes sur la côte libanaise ont également relevé des marqueurs de différents niveaux marins relatifs le long de la côte libanaise (Morhange *et al.*, 2006). Au nord de la presqu'île de Tyr, des niveaux entre 0 et +0,40m ont été datés entre 400 et 1600 BP, et entre +0,50 m et +0,70m entre 2100 et 2800 BP. Plusieurs niveaux marins relatifs ont donc pu être relatifs le long littoral libanais. Au niveau local, la presqu'île de Tyr elle-même, présente les marqueurs de deux niveaux marins différents, comme nous allons le voir plus loin.

II Le contexte géographique local : la presqu'île de Tyr

La presqu'île de Tyr se trouve au sud de la plaine littorale libanaise face à trois tells continentaux, vestiges d'anciennes cités. Aujourd'hui séparée de la côte par un tombolo sableux et recouverte par l'urbanisation, elle garde les traces archéologiques des civilisations qui s'y sont succédé, et celles géomorphologiques des évolutions locales du niveau marin.

A. Les tells continentaux

La plaine littorale qui fait face à la presqu'île est recouverte de dépôts quaternaires meubles ou indurés. Trois *Tells* (en archéologie un *tell* est une colline composée de vestiges) se trouvent proches de la côte actuelle ou du tombolo : Le *tell Maschuk*, le *tell Rachidiye* et le *tell Chawakir*. À l'époque pré-hellénistique ces trois *tells* étaient des dépendances de Tyr insulaire et l'un d'entre eux était probablement la partie continentale de la ville de Tyr ou *Palaeotyr*, détruite par Alexandre pour construire sa jetée (Fig. 7 et 8).

Le tell Maschuk :

Le *tell Maschuk* se présente sous la forme d'une colline urbanisée culminant à 20 m et d'une surface de 1 km². À environ 2,6 km à l'est de Tyr (Bertou, 1843), il s'étend vers le nord-est sous la ville actuelle de *Mashuk*. Le *tell Maschuk* a longtemps reçu de l'eau depuis les réservoirs de *Ras-el-Ain* au sud, alimentés grâce à un fleuve prenant sa source aux alentours de *Mazraat Biout es Syiad* à environ 12 km de Tyr et s'écoule vers le nord. Contrairement au Litani, il ne dépend pas du bassin versant du Mont Liban mais plutôt du réseau hydrographique du Mont Méron à proximité. Ce fleuve qui débouche au sud de Tyr a aussi pu participer, conjointement avec le Litani, aux apports sédimentaires qui

ont contribué à l'extension du tombolo de la presqu'île. À l'époque romaine, un aqueduc liait les réservoirs et Tyr en passant par le *tell Maschuk*.

Le tell Chawakir

Le *Tell Chawakir* se situe à environ 2,8 km de la presqu'île, face à la plage. Contrairement aux *tells* Maschuk et Rachidiye, il n'est pas urbanisé et pourrait faire l'objet de fouilles de terrain.

Le tell Rachidiye

Le tell Rachidiye se trouve à environ 3,5 km au sud de la presqu'île, à proximité des réservoirs de *Ras-el-Ain*. Il est probable qu'avant l'époque romaine et la construction de l'aqueduc, le *Tell Rachidiye* ait joué un rôle essentiel en approvisionnant l'île de Tyr en eau potable par voie maritime (Marriner, 2007).

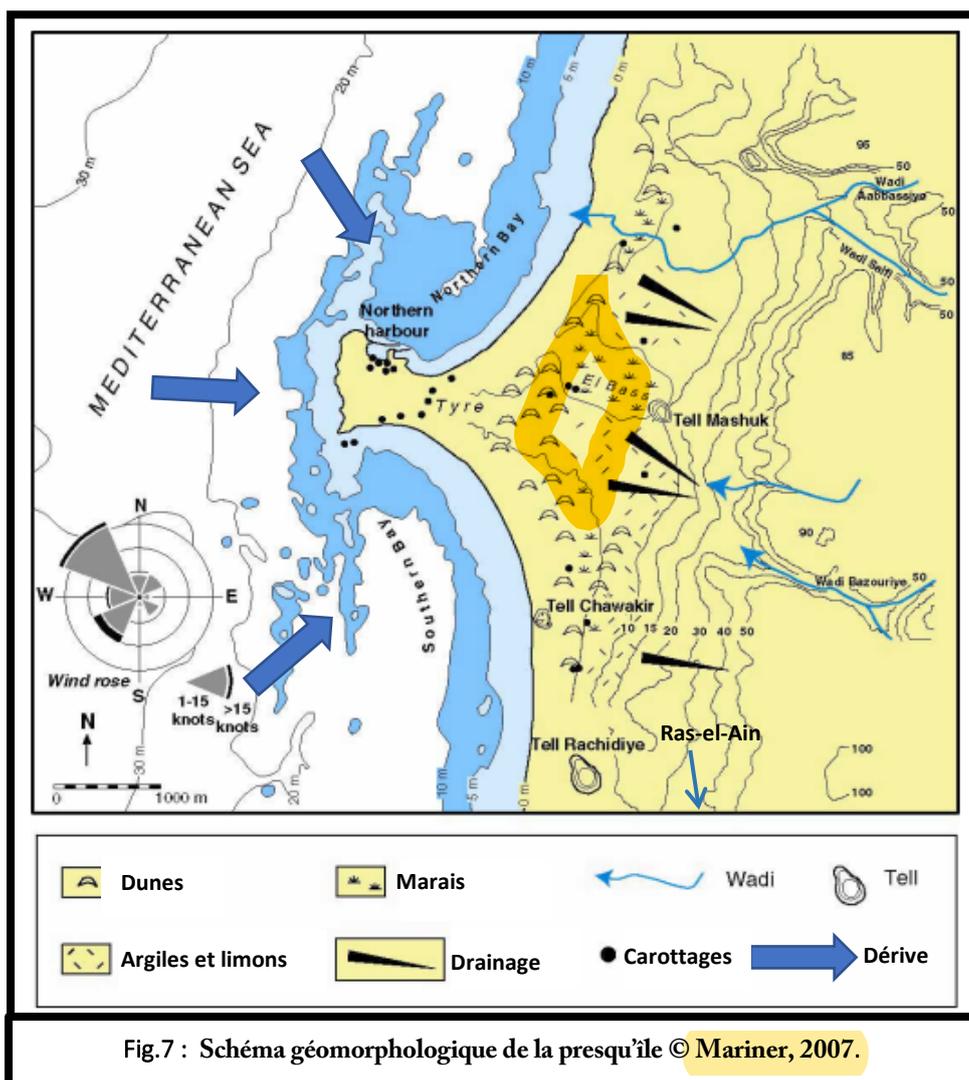




Fig.8 : Localisation des tells. Fond de carte : GoogleEarthPro, 2020.

L'accès à la presqu'île se fait en traversant un tombolo, constitué de sables. Cette forme sédimentaire est d'ordinaire le résultat de dynamiques naturelles. Elle est à Tyr le résultat de la création en 332 av. J-C, d'une chaussée reliant l'ancienne île de Tyr au continent.

B. Le tombolo

Au VIème siècle avant J.C., Nabuchodonozor II (605 – 562 avant J.-C.) essaya de rattacher l'île au continent, mais Tyr demeura insulaire jusqu'à sa prise par Alexandre en 332 avant J.-C. Suite à un siège de neuf mois, Alexandre le Grand fait construire une chaussée depuis le continent jusqu'à l'île. La chaussée d'Alexandre mesurait probablement entre 40 et 50 m de large (Arrien, *Expédition d'Alexandre*, IIème siècle. ; Révérend père Roger, 1664), et a été réalisée grâce à la présence d'un tombolo en

formation entre l'île et le continent (Renan, 1864 ; Marriner et al., 2008) et à l'aide des débris de Palaeotyr.

En cours de formation lors de la création de la jetée, le tombolo a ensuite engraisé autour de celle-ci, grâce aux apports de sédiments continentaux. Ces sédiments sont des sables et des argiles apportés sur le littoral par les cours d'eau puis remaniés par la double dérive nord-est/sud-ouest et sud-est/nord-ouest en fonctionnement à Tyr (Fig.7). Aujourd'hui totalement urbanisé, le tombolo connaît des altitudes plus élevées que celles de la presqu'île, à l'exception d'une pente relativement raide (d'environ 10 m de dénivelé pour 150 m parcourus) qui sépare le tombolo du continent. L'engraissement du tombolo a donc été particulièrement important à l'ouest. Le tombolo lui-même, long d'environ 500 à 700m (Bertou, 1843), est aujourd'hui large d'environ 550m¹⁰ à son endroit le plus étroit.

Il est bordé au sud par une plage, ce qui était également le cas au nord avant la construction d'une route, et d'un polder à l'ouest du port, en 1985.¹¹ (éléments indiqués en bleu sur la Fig.9).

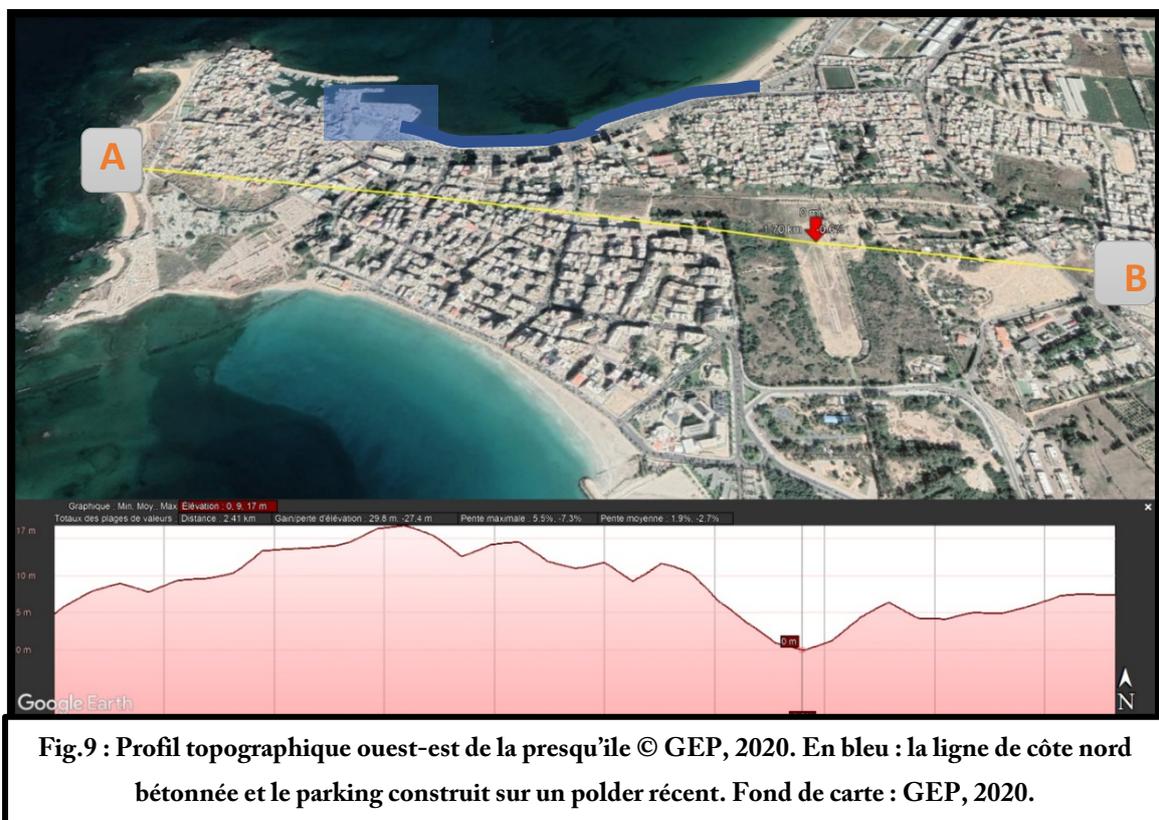


Fig.9 : Profil topographique ouest-est de la presqu'île © GEP, 2020. En bleu : la ligne de côte nord bétonnée et le parking construit sur un polder récent. Fond de carte : GEP, 2020.

¹⁰ Mesure prise avec GoogleEarth le 11 mars 2020

¹¹ Utilisation de GoogleTimeLapse : <https://earthengine.google.com/timelapse/>

C. La presqu'île

La presqu'île de Tyr mesure environ 1 km² aujourd'hui, tombolo inclus. Les altitudes y sont faibles. Les surfaces planes proches du littoral ont souvent été gagnées en remblais et le point culminant de l'île ne dépasse pas 21m. Ce relief est dissymétrique : plus élevé vers le nord où se serait trouvée la ville antique, il descend vers le sud. Vers la mer, les anses ensablées formées sur les côtes constituent des abris privilégiés pour les bateaux.

La presqu'île de Tyr fait partie d'un cordon de récifs et de hauts-fonds de grès dunaire quaternaire orientés NE/SO : Tyr en est une émergence (Carayon, 2012). Parallèlement à la côte ouest de la presqu'île, partiellement ennoyée, se trouve une chaîne d'affleurements gréseux aujourd'hui en voie de disparition (Dubertret 1955 ; Sanlaville 1977). La roche la plus présente à Tyr est le grès dunaire calcaire appelé *Ramleh* (Badawi, 2016). Le granite, notamment des colonnes que l'on peut voir sur place, est exogène.

Ancienne fondation phénicienne, la cité de Tyr était à l'époque hellénistique organisée en deux parties. Une partie se situait sur l'île de Tyr et l'autre, appelée Palaeotyr, sur le continent qui lui faisait face. En 332 avant J.-C., à partir de la conquête d'Alexandre qui édifia durant le siège une jetée pour atteindre l'île, cette dernière évolua en presqu'île. L'île de Tyr a connu différents stades de développement urbain qui ont conduit à modifier sa topographie. Habitée depuis l'Âge du Bronze (environ 2700 avant J.-C.), Tyr insulaire se composait de plusieurs îles (trois selon Bertou, 1843, deux selon Bikai, 1987). Le remblaiement des passes marines entre ces îles a ensuite permis de constituer une seule île, dont les côtes ont par la suite progradé, grâce aux apports sédimentaires venus du continent et pris en charge par la mer.

Plusieurs indicateurs du niveau marins sont présents sur la presqu'île. Des vestiges portuaires phéniciens se trouvent en effet sous 2m à 2,50m d'eau au nord du port tyrien (Noureddine et Helou, 2005), attestant un niveau marin relatif antique inférieur de 2 m à celui actuel. Un second niveau marin relatif, romain, se situe à environ 50 cm sous l'actuel, et est marqué par le conduit d'arrivée d'eau d'un ancien vivier à poisson (Goiran *et al.*, 2019).

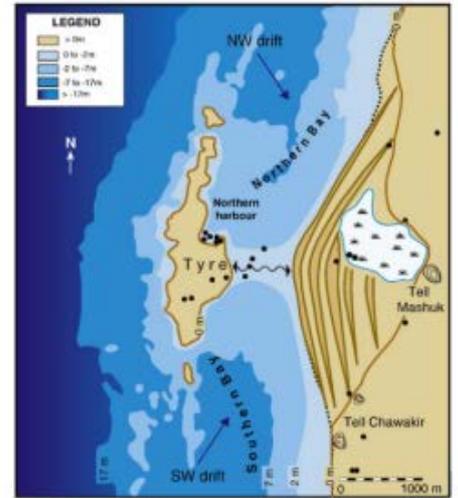
Plusieurs études géoarchéologiques ont également permis de présenter des reconstitutions paléoenvironnementales de l'île, plus précisément de son port nord et de sa côte ouest, où la bathymétrie est appréhendable (Fig.10)



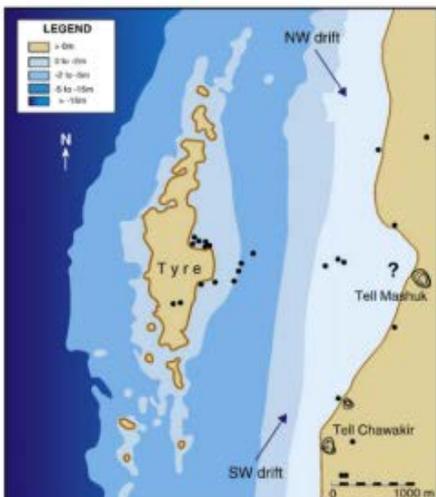
Inset 1: Reconstructed island dimensions around 8000 BP. The bathymetry has been calculated on the basis of a 7 m RSL change.



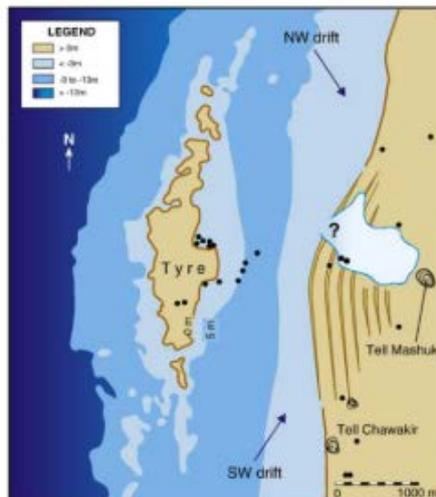
Inset 3: Reconstructed island dimensions around 4000 BP. The bathymetry has been calculated on the basis of a 4.5 m RSL change.



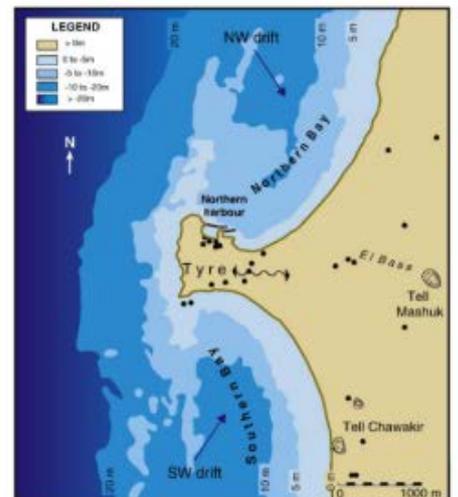
Inset 5: Reconstructed island dimensions around 330 BC. The bathymetry has been calculated on the basis of a 3 m RSL change.



Inset 2: Reconstructed island dimensions around 6000 BP and maximum marine ingress. The bathymetry has been calculated on the basis of a 5 m RSL change.



Inset 4: Reconstructed island dimensions around 3000 BP. The bathymetry has been calculated on the basis of a 4 m RSL change.



Inset 6: Present day coastal morphology and bathymetry

Fig.10 : Évolution morphologique de la presqu'île de Tyr © Marriner et al., 2008

III Le contexte archéologique

A. Les prospections et fouilles sur le terrain

Cartographiée au XVIII^{ème} siècle par Jean-Denis Barbié, géographe et cartographe français, la presqu'île de Tyr fait l'objet de prospections depuis le milieu des années 1800. Plusieurs historiens voyageant alors à Tyr esquissent des plans de la presqu'île. Ils sont principalement à la recherche des anciennes limites des différents îlots qui ont ensuite été reliés, à partir du X^{ème} siècle avant J-C, pour constituer l'île (Kenrick en 1855, De Bossay en 1863 et Renan en 1864).

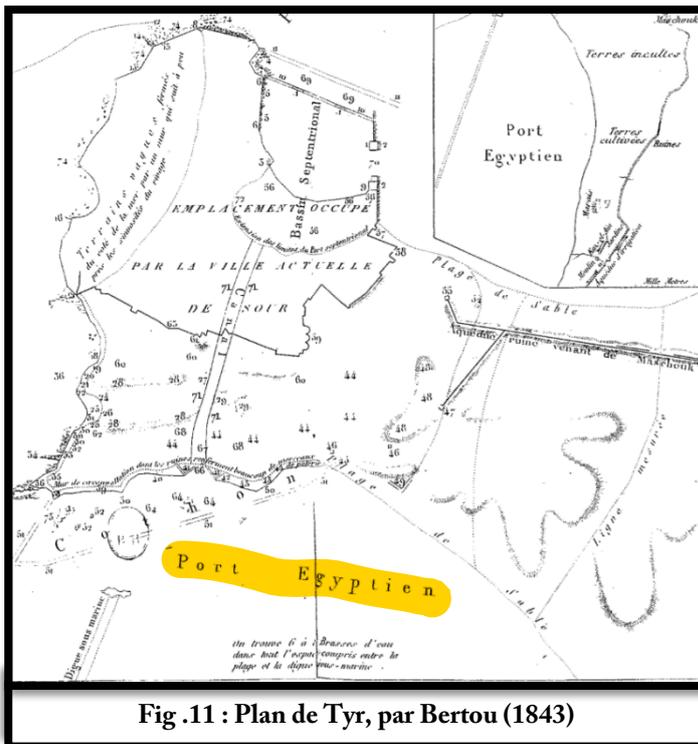


Fig.11 : Plan de Tyr, par Bertou (1843)

En 1838 et jusqu'à la rédaction d'un « Essai sur la topographie de Tyr » en 1843, Jules Bertou parcourt la presqu'île en relevant les différents éléments qui s'y trouvent (vestiges, réservoirs...). Il fait figurer un éventuel « Port Egyptien » dont parlent les textes des voyageurs antiques, au sud de la presqu'île (Fig.11).

Marriner avance ensuite l'hypothèse que cette zone

immergée au sud de la presqu'île est un terre-plein, remblayé au X^{ème} siècle avant J-C. (Marriner,2008).

Cependant, en 1864 Ernest Renan propose une autre délimitation des anciens ports phéniciens. Il établit également un inventaire des inscriptions antiques ainsi que des vestiges archéologiques trouvés sur l'île. Sur son plan il indique le port égyptien au sud-est de l'île pré-hellénistique (Fig.12).



Fig.12 : Plan de Tyr, par Renan (1864)



Fig.13 : Localisation des secteurs 1 (Cathédrale médiévale à trois nefs), 3 (Thermes romano-byzantin), 4 (quartier marchand, *martyrium*), et 7 (quartier d'habitations). 1 : Arc de Triomphe romain 2 : Hippodrome romain. Fond de carte : GEP, 2020.

Entre 1948 et 2018 les fouilles se succèdent à Tyr (Fig.13). Après la Seconde Guerre mondiale et jusqu'en 1975 les fouilles sont effectuées, sous la direction de l'Émir Maurice Chéhab archéologue et historien, par la Direction Générale des Antiquités (DGA). Il publie de nombreux articles et rapports de fouilles. Son dernier ouvrage « Tyr : histoire, topographie, fouilles » en 1969 est une courte synthèse concernant la Presqu'île. Ensuite, la Mission Archéologique Franco-libanaise de Tyr a été dirigée par Pierre Louis Gatier (Gatier *et al.* 2010), qui poursuit les excavations des vestiges mis au jour par M. Chehab sur les différents secteurs, affinant la connaissance du site. Parallèlement, entre 2012 et 2018, des fouilles sont menées par l'American University of Beirut, sur les îlots gréseux au large de la côte nord. À partir de 2018, Jean-Baptiste Yon (CNRS, Ifpo Beyrouth, et HiSoMA, Maison de l'Orient, Lyon) reprend les fouilles sur la presqu'île (Yon et Rollier, 2018).

Parallèlement à ces prospections et fouilles archéologiques, des missions géoarchéologiques sont menées sur le terrain (Goiran *et al.*, soumis). Certains vestiges à Tyr sont difficilement accessibles, soit du fait de l'urbanisation importante (comme sur l'ancien port nord), soit du fait que les vestiges sont partiellement submergés (comme dans le secteur 7, quartier d'habitation, qui se « poursuit vers le sud, sous l'eau » selon Duvette (2012)). Dans ce cas, des carottages et des fouilles subaquatiques sont mises en place.

B. Les carottages

De nombreux carottages sédimentaires ont été réalisés sur la presqu'île. Cette technique permet d'atteindre des niveaux stratigraphiques qui ne sont pas accessibles



Fig.14: Localisation des carottages effectués dans le cadre de la thèse de Nick Marriner dans les années 2000
© Marriner, 2007.

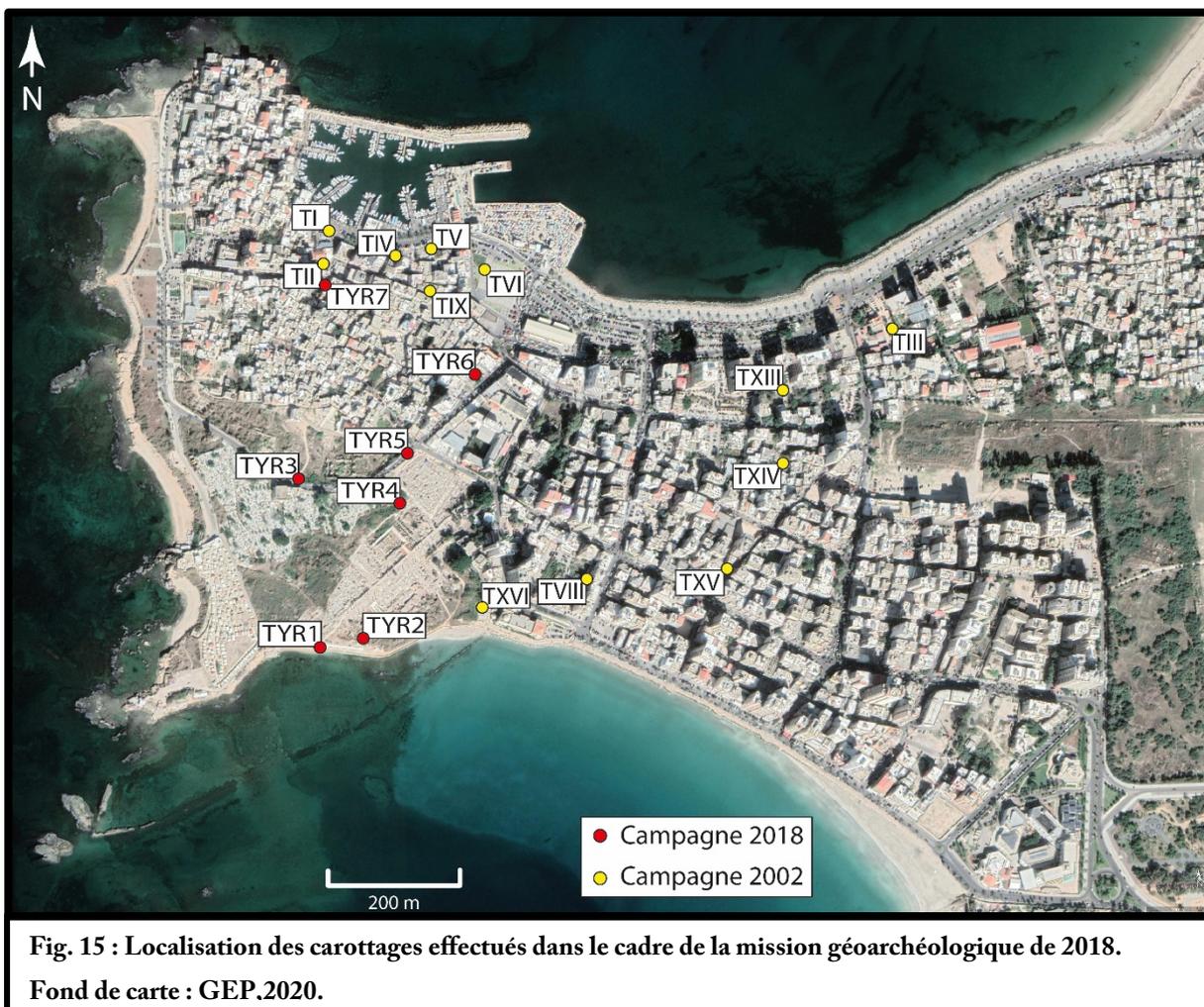
par des techniques de fouilles conventionnelles. Cette méthode est adaptée au réseau urbain dense qui recouvre certaines zones de la presqu'île, notamment celles à fort potentiel archéologique comme le port Nord ou encore certaines parties du tombolo à l'intérieur duquel se trouve la chaussée antique.

En 2002 vingt-cinq carottages à terre (sur la presqu'île et sur le continent) et deux carottages en mer ont été réalisés (Morhange,

2003; Marriner, 2007) (Fig.14). Le port Nord et ses alentours ont fait l'objet de six carottages

(carottages T1, T2, T4, T5, T6, T9) afin d'en déterminer les limites antiques (Marriner, 2005). Six ont été faits sur le tombolo (TXVI, TVIII, TXV, TIX, TXIII, TIII). La zone marécageuse entre Tyr et le Tell Maschuk a aussi été carottée (TXIX, TXVIII, TXX) afin de chercher les limites d'une ancienne transgression marine. En mer deux carottages (XXIII, XXIV) ont été faits au sud de la presqu'île à proximité des vestiges ennoyés, afin de déterminer si ces vestiges sont portuaires (Poidebard, 1939) ou correspondent à une zone de remblaiement ou de polder (Renan, 1864 ; Marriner, 2007). D'autres carottages ont été réalisés, notamment sur les zones des *tells* sus-cités, dont le potentiel archéologique est important.

Les carottages de 2018 (TYR1, TYR2, TYR3, TYR4, TYR5, TYR6, TYR7) ont eu lieu au centre et au sud de la presqu'île (Fig.15). Ils viennent compléter ceux déjà effectués et s'orientent vers la recherche de l'ancienne ligne de côte à l'est de l'île pré-hellénistique. Le but étant notamment de déterminer l'emplacement des zones portuaires qui ont dû exister pour relier par la mer l'île au continent.



C. Les fouilles subaquatiques

Les premières fouilles subaquatiques à Tyr ont eu lieu sur l'initiative d'Arnold Poidebard en 1939, en parallèle avec les premières prospections aériennes : sur les photographies des vestiges se distinguent sous l'eau au sud de la presqu'île. Poidebard (1939), suite aux prospections subaquatiques lors desquelles sont prélevés des morceaux de ces structures, en déduit qu'il s'agit de mûles, c'est-à-dire d'ouvrages portuaires permettant

de diminuer la force des vagues sur la côte et servant également aux bateaux pour accoster (Fig.16). Cette hypothèse, battue en brèche par les travaux de Marriner en 2007, pourrait être reconsidérée à nouveau dans les travaux plus récents.

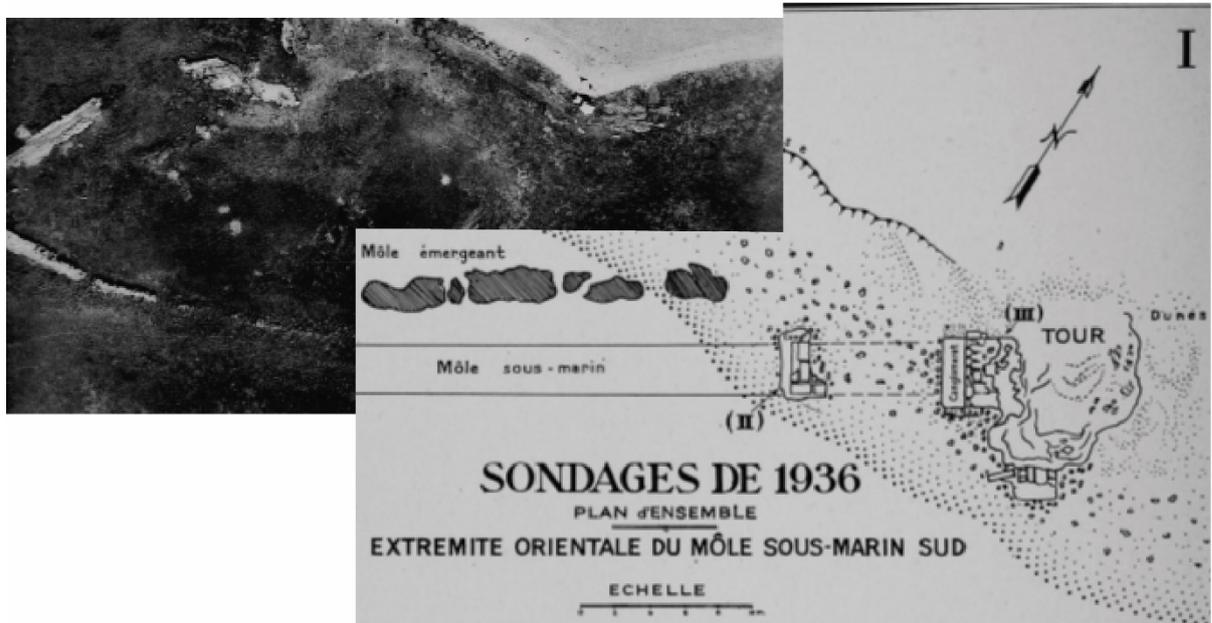


Fig. 16 : g. : Photographie aérienne du sud de la presqu'île de Tyr, Poidebard 1939. d. : Plan des « môles » à partir de la tour médiévale au sud de la presqu'île © Poidebard 1939.

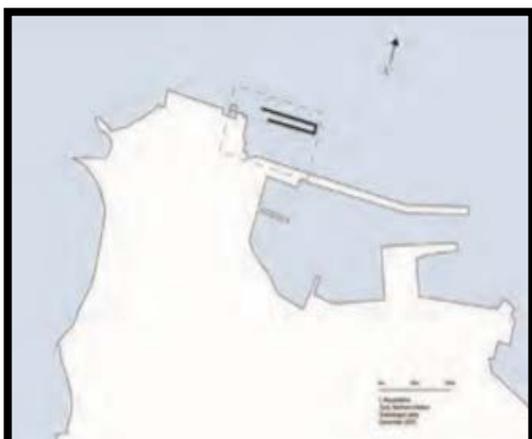


Fig. 17 : Plan du port phénicien au nord de la presqu'île. En noir le contour de la jetée phénicienne. © Noureddine et Hélou, 2005.

En 2005, les fouilles subaquatiques menées par Ibrahim Noureddine et El-helou (2005) se concentrent sur le port dit phénicien au nord de la presqu'île, notamment sur les vestiges immergés d'une ancienne jetée phénicienne juste au nord de la jetée actuelle (Fig.17). Elle a été abandonnée, au contraire de certains môles anciens, comme ceux du port de Rhodes ou de Cnides qui ont été rebâties afin d'être surélevées suite à leur enfoncement lors d'une subsidence du

terrain. Elle se trouve sous environ 2 à 2m50 d'eau (Noureddine, 2010).

En 2018, une prospection géoarchéologique sous-marine en vue de localiser une éventuelle faille tectonique locale (qui aurait pu être à l'origine de la subsidence de 2,5 m de l'île pré-hellénistique), a permis la découverte fortuite de vestiges phéniciens aux alentours de la côte sud de l'île, là où se trouverait selon Poidebard, le port sud de l'île pré-hellénistique (Goiran *et al.*, soumis).

Toutes les analyses qui relèvent de ces approches sont mises à contributions dans les études géoarchéologiques menées actuellement à Tyr. La géoarchéologie est une discipline récente multi-approches, qui utilise de nombreux outils issus de la géographie et de l'archéologie, pour répondre à des questionnements archéologiques. C'est dans cette approche globale que s'inscrivent les analyses effectuées sur le carottage TYR6.

Chapitre 2 : Analyses et résultats

I La géoarchéologie : approche méthodologique générale

La géoarchéologie est une approche scientifique récente qui associe les méthodes d'études de la géographie et de l'archéologie. Son objectif principal est la reconstitution des paléoenvironnements, dans le but de répondre à une problématique archéologique, en analysant les dynamiques environnementales et les données archéologiques et historiques (Fouache, 2010).

A. Les analyses géographiques

Les analyses géographiques commencent par une prospection géomorphologique autour du site étudié : il s'agit d'identifier les formes présentes dans le paysage, mais aussi des différentes formations sédimentaires qui les constituent. Les méthodes utilisées sont diverses : télédétection par hélicoptère ou avion, drone (Koehler, 2013) ou cerf-volant, et les prospections géophysiques électriques ou magnétiques (Benech *et al.*, 2017). Le but est de déterminer le rôle de ces formations sédimentaires dans la taphonomie du site archéologique. La carte géomorphologique de la zone étudiée est ensuite intégrée dans un « système d'information géographique », associé éventuellement à un « modèle numérique de terrain », qui pourra indiquer le recouvrement des différentes espèces végétales ou des ressources en minerais. L'étude des formes du paysage permet de définir les dynamiques sédimentaires qui ont été à l'œuvre autour du site et permet une première reconstitution paléogéographique de la zone étudiée. Cette reconstitution est ensuite affinée à l'aide d'analyses de laboratoire effectuées sur des sédiments prélevés sur ou à proximité du site. Ces analyses relèvent des géosciences : la granulométrie (analyse des différentes fractions présentes dans les

échantillons sédimentaires), la calcimétrie (calcul du taux de carbonates contenu dans les sédiments) (Huet, 2003), la « perte au feu » ou calcination (calcul de la quantité de matière organique dans l'échantillon), la susceptibilité magnétique (relevé de la signature magnétique des sédiments), la spectrométrie (étude du spectre des sédiments pour définir avec précision les éléments minéralogiques qui le composent).

B. Les analyses archéologiques

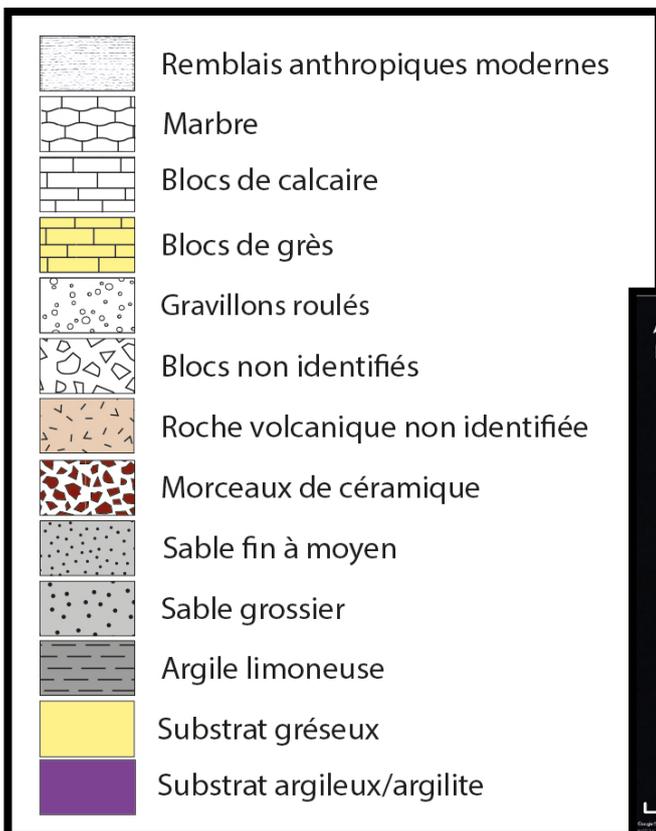
Les analyses géoarchéologiques consistent en l'étude de la carte archéologique et sa mise en regard avec la carte géomorphologique. Cette comparaison permet de déterminer les secteurs où des vestiges pourraient avoir été enfouis, ceux où ils ont probablement été remaniés, voire emportés par l'érosion. Cette étude peut venir en complément d'un travail de compilation des textes historiques concernant le site étudié, ou encore en être la conséquence. Puis un travail de fouilles a lieu sur les différents secteurs archéologiques potentiels répertoriés. Les fouilles sont effectuées par les archéologues, qui établissent des stratigraphies et prélèvent le matériel nécessaire aux analyses de palynologie, malacologie, anthracologie etc. Ces analyses ont vocation à reconstituer le biotope présent autour du site à une époque donnée, et sont un complément fondamental aux informations acquises par les analyses géographiques et géophysiques.

Un certain nombre d'analyses ont pu être réalisées sur les échantillons sédimentaires du carottage TYR6, dans le cadre de l'étude géoarchéologique de la presqu'île de Tyr.

II Les analyses effectuées pendant le stage

Différentes analyses ont été menées sur le carottage TYR6 (+8 m à -10 m) dans le but de reconstituer l'évolution paléogéographique de la façade orientale de l'ancienne île de Tyr, du début de l'Holocène au siège d'Alexandre le Grand : la susceptibilité magnétique, le relevé des codes Munsell, la texture (ou granulométrie), et l'analyse de la microfaune. Elles ont permis d'affiner le log stratigraphique dessiné par Stoil Chapkanski sur le terrain lors du carottage (Fig.18)

a.



b.



Fig.18 : a. Légende générale pour la lecture du carottage TYR6. b. Emplacement du carottage TYR6. Fond de carte : GEP, 2020.

A. Mesure de la susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique a été utilisée pour identifier des différences minéralogiques fines entre des unités visuellement très homogènes. Elle permet d'appréhender des modifications non visibles à l'œil nu dans la composition des sédiments étudiés. La susceptibilité magnétique augmente avec le degré de compaction du sol, un foyer avec des charbons (de nature anthropique ou naturelle) ou encore des artefacts (brique, céramique... Dans ce cas, même si ces éléments se trouvent à l'état de particules (par exemple en cas de compaction ou de remaniement important pour la céramique, ou de lessivage pour la brique crue) la susceptibilité magnétique augmente, fournissant un signal clair. Elle donne un premier aperçu de ce que pourrait contenir la carotte et des dynamiques sédimentaires qui ont joué lors de la mise en place des terrains traversés (Hulin, 2013).

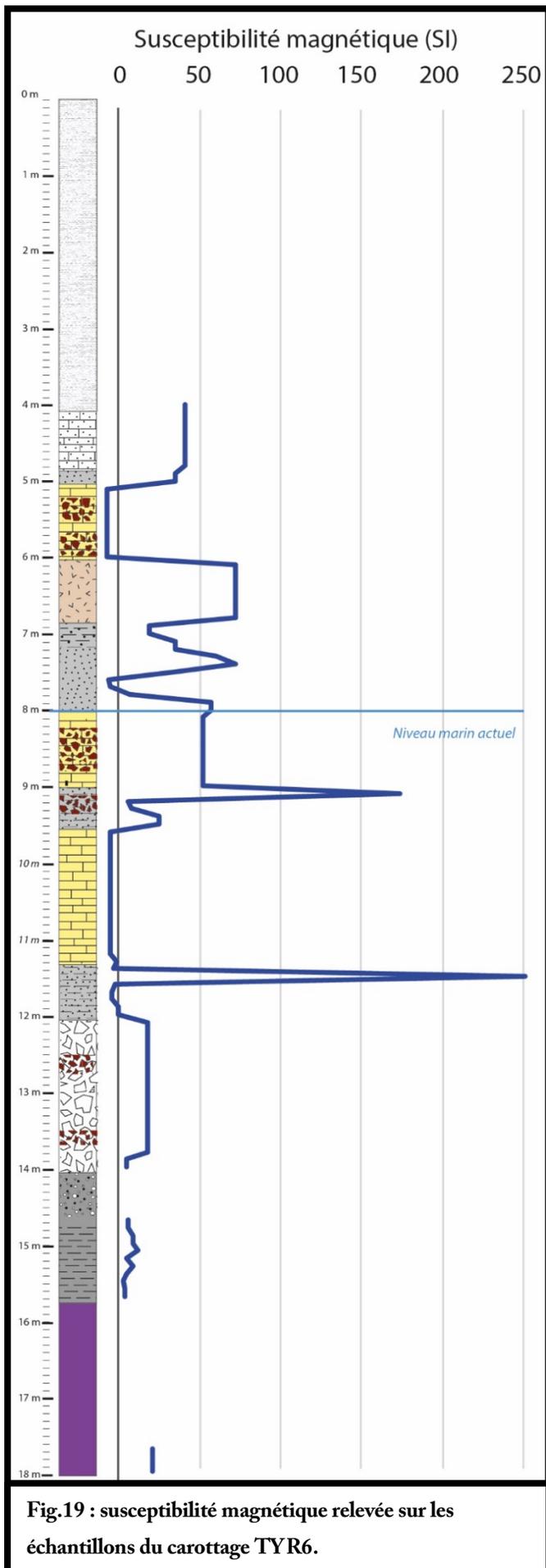


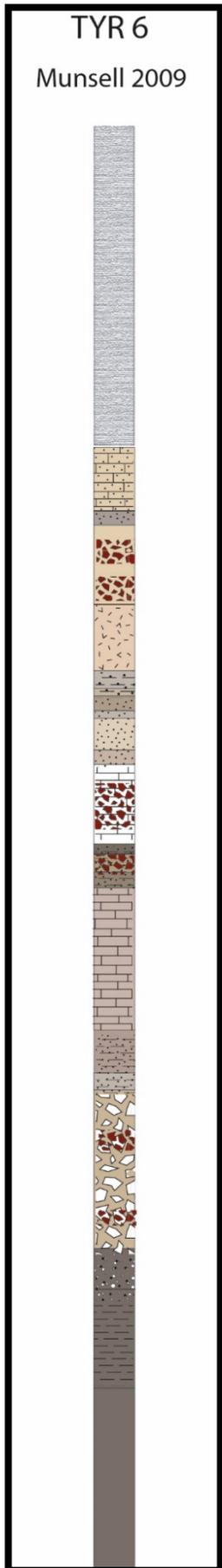
Fig.19 : susceptibilité magnétique relevée sur les échantillons du carottage TYR6.

Matériel, protocole

La susceptibilité magnétique est la première analyse qui a été effectuée car elle est non-destructrice pour l'échantillon et peut être réalisée rapidement. La susceptibilité magnétique a été mesurée à l'aide du susceptibilimètre de marque Barington fourni par le laboratoire du CNRS de l'antenne de Jalès. Chaque échantillon a été soumis à trois mesures (unité : SI) qui ont permis de calculer une moyenne individuelle jugée représentative.

Résultats

La susceptibilité magnétique (Fig.19) a permis d'identifier une stratigraphie générale indiquant un forçage anthropique avec un gradient du bas vers le haut de la carotte. En effet, les pics de susceptibilité magnétique apparaissent ici à chaque fois en raison de la présence de céramique ou de morceaux de terre cuite. Cependant, certaines céramiques sont peu magnétiques comme le montrent les deux niveaux à céramiques les plus bas (entre 12 et 14 m de profondeur) et les plus hauts (entre 5 et 6 m). Il peut s'agir d'une évolution dans la composition du matériel. Cela peut être un changement dans les additifs permettant de diminuer le retrait au séchage (les dégraissants). Ces éléments peuvent être minéraux, tels que le sable (silice, quartz), ou végétaux (pailles, charbon ...). Il peut également s'agir d'une différence dans la cuisson de la céramique. Ces évolutions peuvent avoir deux origines. Soit les morceaux de céramique retrouvés n'ont pas eu la même utilisation : leur fabrication a donc été adaptée, qu'elle ait été préparée pour fabriquer des objets de consommation ou de stockage, ou pour faire des briques (dont les fragments peuvent parfois s'apparenter à de la céramique). Soit il s'agit de céramiques n'appartenant pas aux mêmes époques historiques et cette différence est le résultat des évolutions dans les techniques de fabrication des objets.



B. Utilisation du code Munsell

Le code Munsell ou « *Munsell soil color chart* » est un nuancier de teintes qui a pour vocation d'uniformiser internationalement le système de notation des couleurs. Il a été créé par A.Munsell en collaboration avec le Service de conservation du sol américain, et est notamment utilisé en archéologie (pour les coupes stratigraphiques), en géologie (pour les couleurs de roches), mais aussi ingénierie, agriculture etc...Bien que la détermination de la couleur reste subjective et dépend des conditions d'analyses (lumière, humidité etc..) le Code Munsell permet une première appréhension fine de la couleur des échantillons et vient compléter leur description (Escaldafar, 1988).

Matériel et protocole

Lors de la préparation des échantillons pour l'analyse de la texture, la détermination des codes Munsell de chaque échantillon a été réalisée à la lumière du jour, sans séchage préalable.

Résultats

L'utilisation du code Munsell (Fig.20) a permis de conserver l'information de la couleur sédimentaire. On peut constater ici que les strates les plus basses de la carotte sont les plus sombres, donc les plus humides, probablement composées d'argiles ou de sable très argileux (Cubizolle, 2009). On note ensuite une forte rupture dans la couleur, ce qui indique un changement dans les apports sédimentaires.

Fig.20 : Log des couleurs Munsell des échantillons du carottage TYR6.

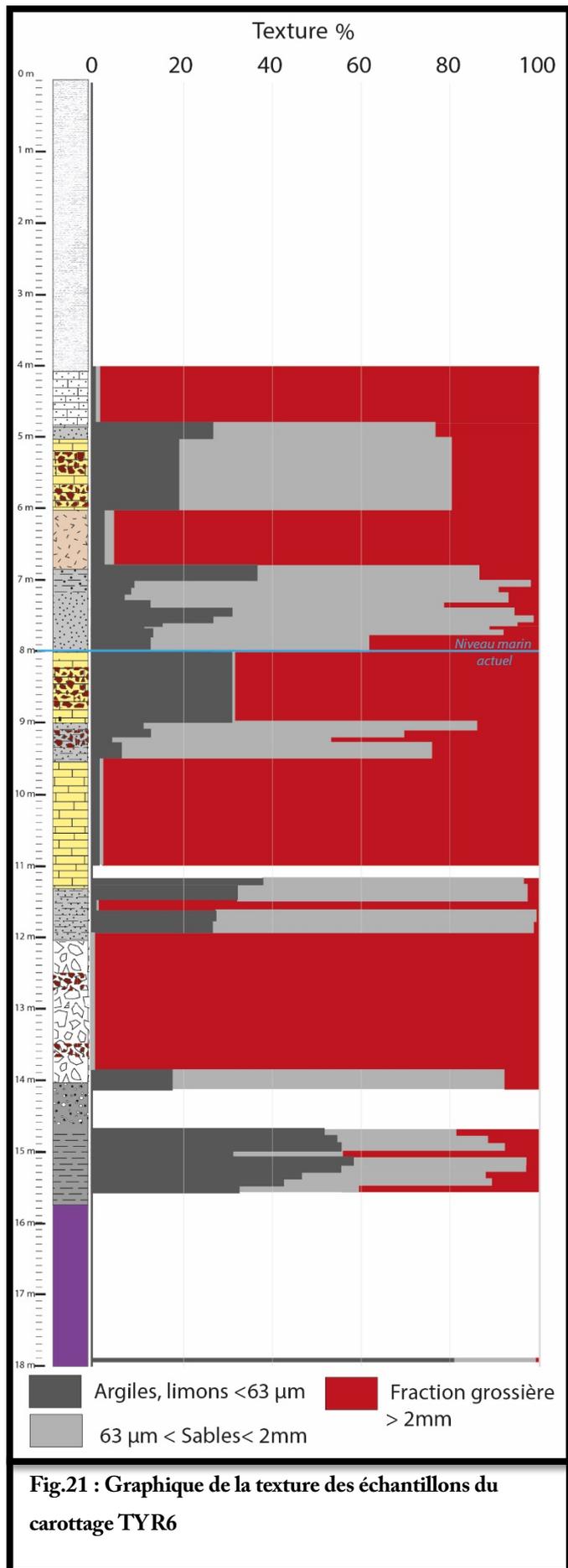


Fig.21 : Graphique de la texture des échantillons du carottage TYR6

C. La texture ou granulométrie

Différentes fractions sédimentaires sont distinguées lors de l'analyse granulométrique : les argiles (jusqu'à 2 µm), les limons fins (entre 2 et 20 µm), les limons grossiers (entre 20 et 63 µm), les sables fins (entre 63 et 200 µm) et grossiers (entre 200 µm et 2 mm), les graviers (entre 2 et 20 mm) et les cailloux (au-delà de 20 mm). Leurs proportions respectives dans l'échantillon en déterminent la texture. Les évolutions de la granulométrie des échantillons tout au long d'une carotte sédimentaire renseignent par exemple sur le degré d'ouverture ou de fermeture d'un milieu à certaines dynamiques : si le carottage est fait sur le littoral, un échantillon très sableux peut indiquer un degré d'ouverture important à la dynamique marine, tandis qu'un échantillon argileux dénote un environnement confiné et moins soumis aux courants marins. La texture d'un échantillon donne des indications sur les agents de prise en charge des sédiments (les sédiments sont granulo-classés spatialement selon un gradient différent s'ils ont été déplacés par un cours d'eau ou par gravité) et sur les changements dans les dynamiques de transport (Goldberg, 1978).

Matériel et protocole

Entre 10 et 20g de chaque échantillon ont été prélevés et mis à sécher dans une étuve. Ils ont ensuite été pesés à nouveau puis passés au tamisage humide (tamis de maille respectives 0,063 mm et 2 mm). Dans la mesure du possible les éléments datables ont été prélevés à ce stade : végétation, charbons, coquilles. Pour chaque échantillon, les différentes fractions ont ensuite été récupérées, séchées puis pesées individuellement afin de réaliser un diagramme de texture/granulométrie.

Résultats

La texture de la moitié analysée haute de la carotte (entre 4 et 11 m de profondeur) montre une alternance forte entre zones à dominante sédimentaire grossière représentés en rouge (essentiellement des blocs de roche) et des strates sableuses en gris, ou argileuse en marron. La moitié la plus profonde de la carotte (entre 11,8 et 15,8 m) montre au contraire une répartition relativement homogène entre sables et argiles. L'échantillon le plus bas (18 m) indique une dominante très argileuse, que l'on peut extrapoler jusqu'en haut de la zone indiquée en violet dans le log à gauche (Fig.21).

D. Étude de la microfaune

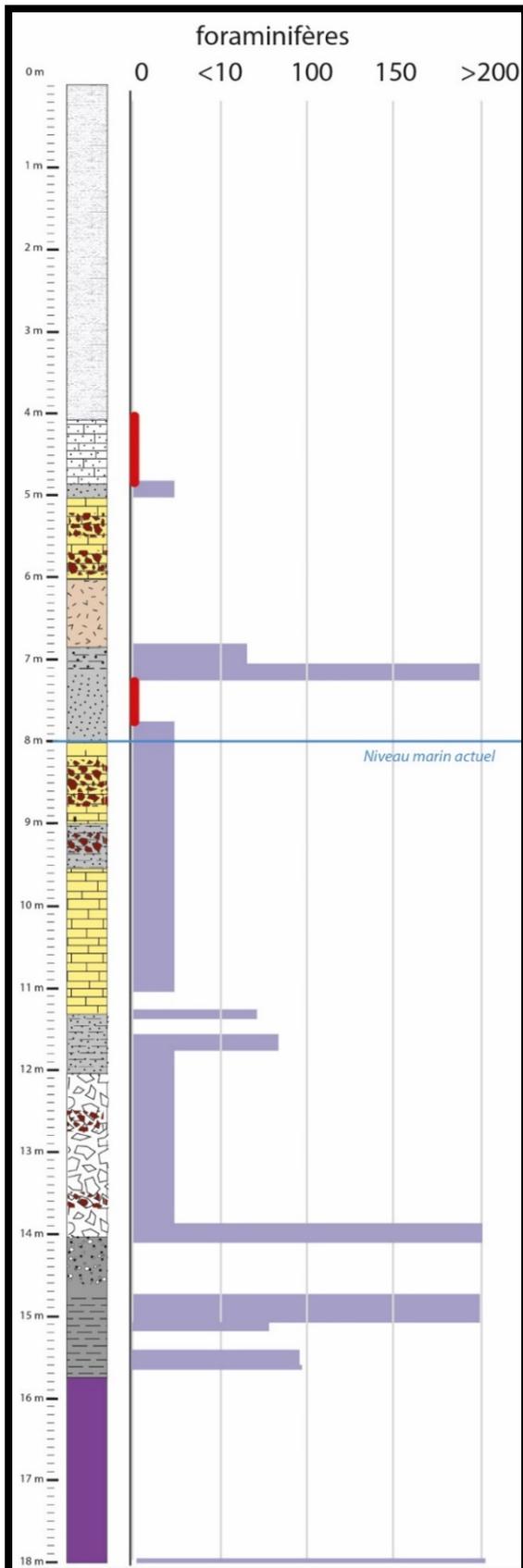


Fig.22 : Nombre de foraminifères par gramme d'échantillon dans le carottage Tyr6

L'étude des micro-organismes avant leur identification indique des tendances dans l'évolution des dynamiques environnementales de la zone d'étude. Leur présence infirme d'une part une éventuelle anoxie du milieu. Ensuite, le nombre d'espèces présentes indique si le milieu était riche (milieu ouvert, avec une diversité importante d'espèces) ou pauvre en ressources (milieu confiné, avec un petit nombre d'espèces adaptées aux ressources présentes). Leur taille indique si l'environnement était favorable ou défavorable à leur croissance (ressources adaptées, en quantité suffisante, taille de la zone d'habitat, partage des ressources avec d'autres d'espèces présentes).

Dans les sédiments, différents micro-organismes peuvent être prélevés, en général dans la fraction sédimentaire de l'échantillon qui se trouve entre 150 μm et 500 μm . En milieu marin, les foraminifères, organismes unicellulaires à coquille (ou test calcaire), siliceux ou d'aragonite, sont de bons indicateurs, mais certaines espèces ont des fenêtres écologiques relativement larges (Armynot du chatelet *et al.*, 2005).

En milieu marin et d'eau douce, les ostracodes, crustacés de taille microscopique, apportent de bonnes indications, plus précises que celles des foraminifères, mais ils sont souvent moins nombreux (Alline, 2006).

Dans les carottages sédimentaires, cette microfaune est souvent retrouvée à l'état de fossile, et le degré d'abrasion de leur test donne des informations sur la

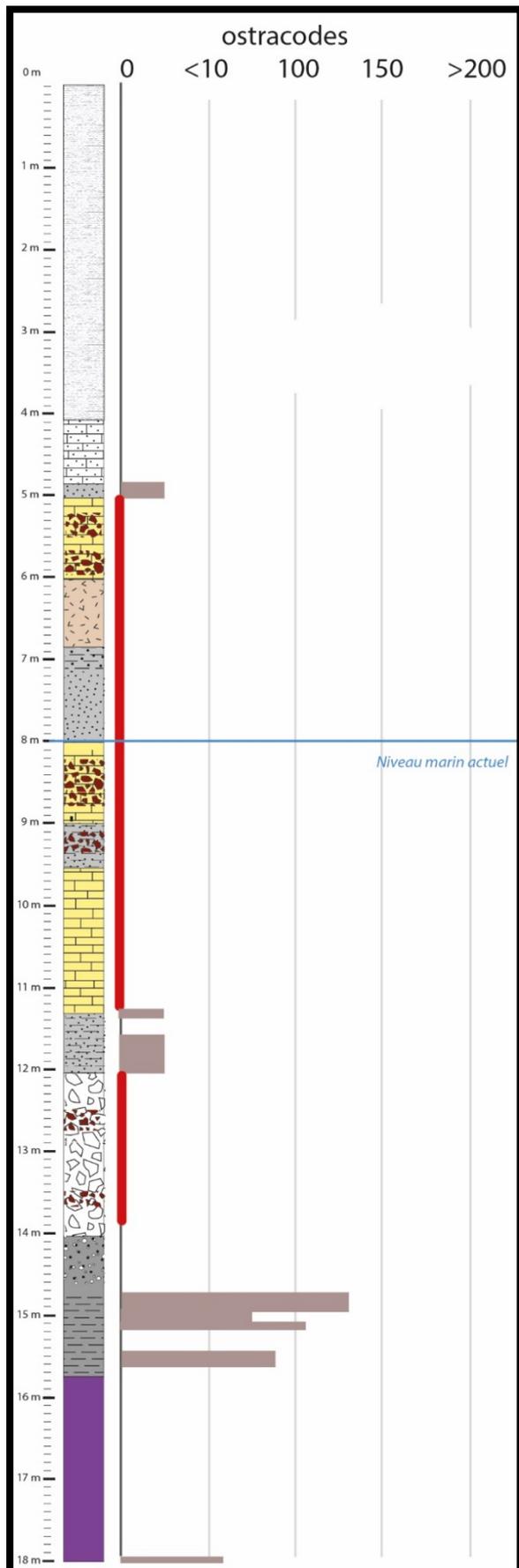


Fig.23 : Nombre d'ostracodes par gramme d'échantillon dans le carottage Tyr6

dynamique du milieu ou sur leur transport (des micro-organismes transportés par le vent présenteront des zones de chocs, de brisures, ceux conservés dans un milieu calme mais de précipitations siliceuses seront entiers mais en voie de cristallisation etc.).

Matériel et protocole

Afin de séparer la fraction sédimentaire qui contient la majorité de la microfaune étudiable des sables plus fins ou plus grossiers, les échantillons sableux, déjà extraits lors du tamisage pour l'analyse de la texture, ont été à nouveau tamisés (tamis de 125 et 500 μm). La fraction ainsi prélevée est ensuite pesée puis observée à la binoculaire afin d'en extraire les foraminifères et les ostracodes (Fig. 22 et 23).

Résultats

La présence de foraminifères tend à indiquer qu'un milieu marin a été identifié dans le bas de la carotte. Cela est confirmé par la présence de spécimens d'ostracodes marins.¹² à ce niveau. Le niveau de blocs non-identifiés (entre 12 et 14 m de profondeur) présente un nombre de micro-organismes très faible : l'environnement semble donc peu favorable à leur développement, car perturbé par ces éléments grossiers. Ils réapparaissent au-dessus (de 11 à 12 m), en quantité plus importante, laissant penser à une transgression marine au-dessus des blocs, ou à des blocs immergés en milieu marin. À 11,5 m l'environnement reste donc marin mais les conditions environnementales ont changé. Le cortège d'espèces microfauniques ne correspond plus à celui du bas de la carotte : les espèces majoritaires sont devenues minoritaires.¹³, au profit d'une autre espèce qui domine le nouvel assemblage. Leur taille diminue également de façon conséquente. Plus haut les ostracodes disparaissent, mais les foraminifères réapparaissent au-dessus du niveau de la mer actuel. Une première fois en grande quantité (vers 7 m), puis plus haut en faible quantité (à 5 m). Alors qu'une faible quantité de foraminifères peut être le résultat de la dynamique de transport éolien des grains de sable depuis une plage, leur présence importante est plus probablement due à une transgression marine.

¹²Identification réalisée à partir de l'identification faite par Cécile Vittori, sur les ostracodes prélevés dans les carottages TYR4 et TYR5.

¹³ L'identification micro-faunistique est en cours.

III Les analyses en cours

Certaines analyses sont encore en cours actuellement, soit qu'elles demandent du temps (comme les datations au carbone 14) soit qu'elles requièrent l'avis d'un spécialiste (comme la détermination des espèces micro-fauniques).

A. La détermination de la microfaune

Une fois extraite la microfaune peut être identifiée par un spécialiste. Cécile Vittori est chargée de l'identification des ostracodes dans les échantillons prélevés à Tyr lors de la campagne 2018. L'identification des foraminifères sera probablement réalisée en lien avec un chercheur dans ce domaine, probablement au Museum National d'Histoire Naturelle à Paris. L'identification des espèces présentes permet de de déterminer avec précision l'environnement dans lequel elles ont pu se développer (Goubert, 2017).

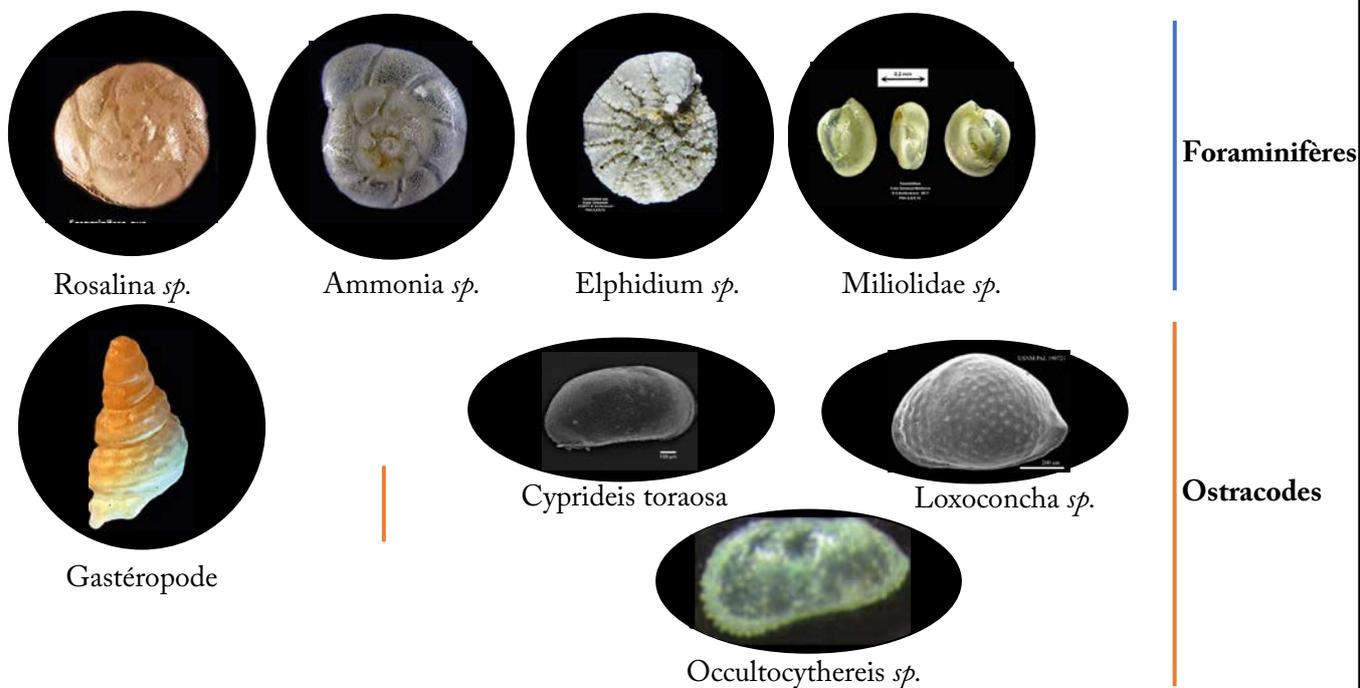
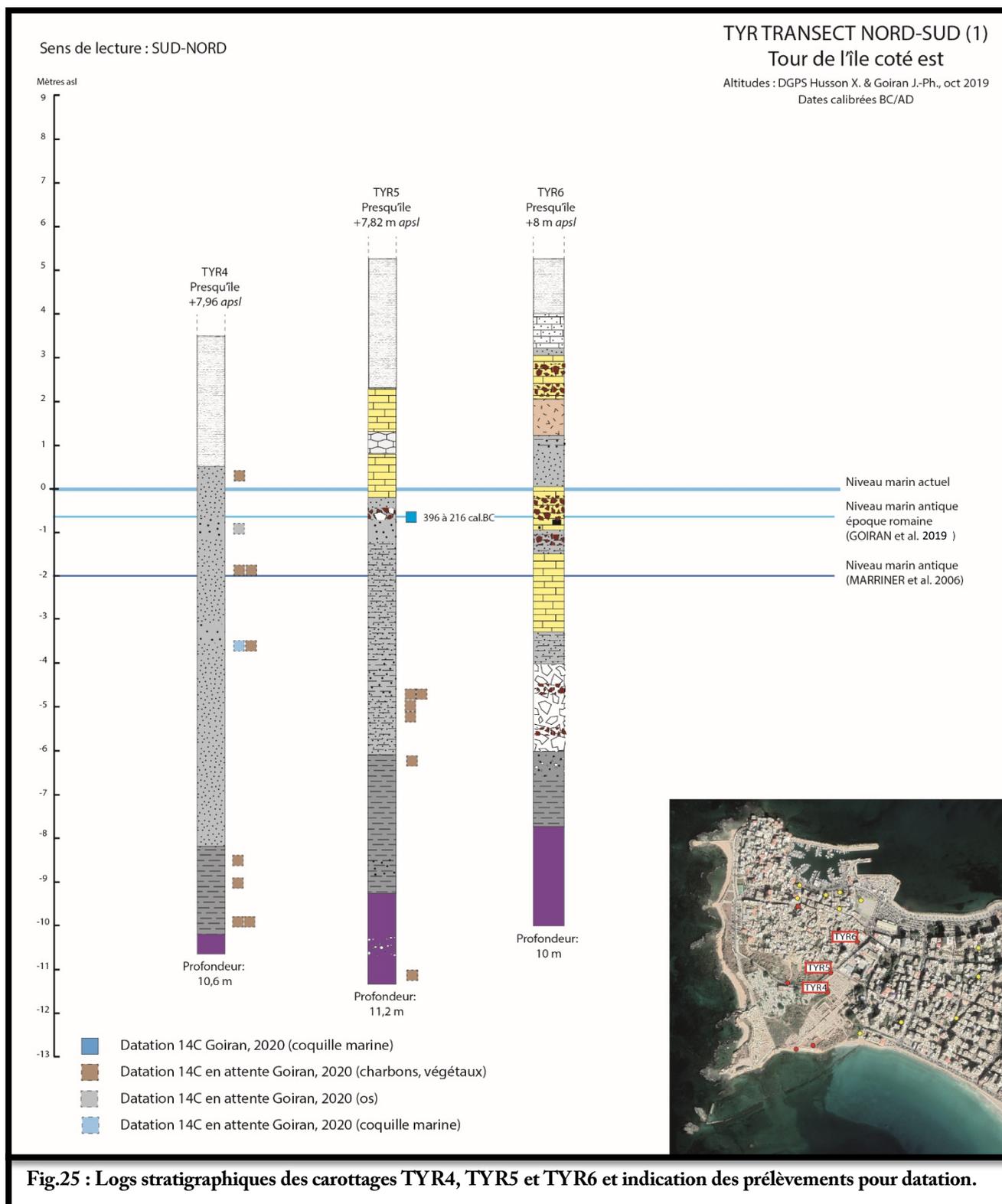


Fig.24 : Exemples d'individus probablement vus dans les sédiments du carottage TYR6 © K.Breitenbach. Cyp.t © A.Ginau

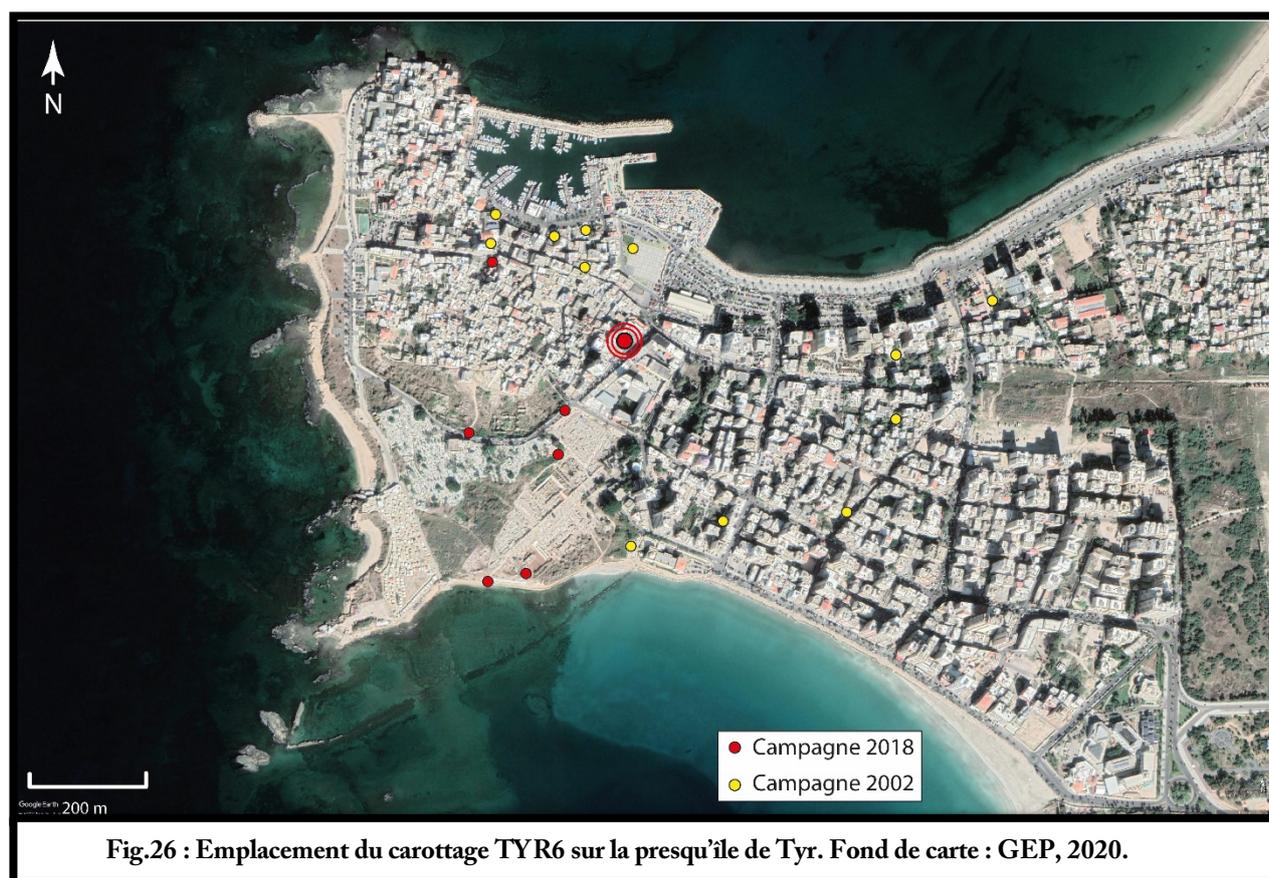
B. Les datations

Plusieurs prélèvements ont été effectués sur les carottages TYR4 et TYR5, à proximité de TYR6, afin d'obtenir une première chronologie de formation de l'île. Ces prélèvements ont été envoyés au « Centre de Datation par le Radiocarbone » à Villeurbanne (La légende pour la lecture des figurés sur les carottages est en Fig. 18 p.36).



Chapitre 3 : Interprétations et hypothèses de travail

I Interprétations et hypothèses de travail sur le carottage TYR 6



A. Hypothèses sur la stratigraphie du carottage TYR6

Unité 1 (Fig.27) – Entre 15,8 et 18 m de profondeur (-7,8 à -10 m.¹⁴)

Les sédiments sont très argileux, avec une susceptibilité magnétique (SM) faible. La microfaune marine est présente en quantité importante. Il s'agit probablement du substratum argileux ou argilite (argile consolidée) pléistocène, sur laquelle repose l'île, et qui apparaît à cette profondeur dans les carottages réalisés par Marriner, à proximité (Fig.15 p.30) (Marriner, 2007). La présence de cet horizon indique que le carottage a traversé toute l'île et présente l'ensemble de la stratigraphie insulaire.

Unité 2 – Entre 14,7 et 15,8 m de profondeur (-6,7 et -7,8 m)

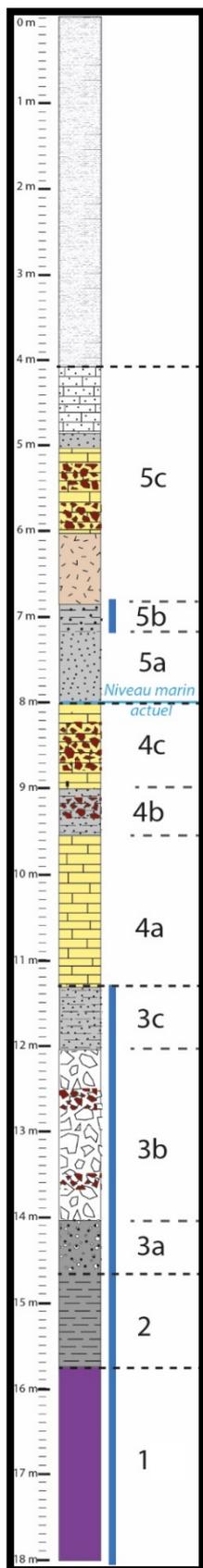
Les sédiments restent très argileux, mais la présence de sable, presque en quantité égale, indique un changement de faciès. La SM reste faible. La microfaune marine est toujours très présente. Ce niveau est typiquement marin (présence de sable et de micro-organismes marins), argileux en raison de la dynamique érosive des sables sur le niveau d'argilite en « 1 » et de l'hydrodynamisme modéré de ce côté de l'île, protégé des courants à la côte par l'île elle-même. Une zone marine de faible profondeur était probablement en place entre l'île et le continent.

Unité 3 – Entre 11,3 et 14,7 m de profondeur (-3,3 à -6,7 m)

3a – Entre 14 et 14,7 m (-6 à -6,7 m)

La quantité de sable augmente au détriment de la fraction argileuse. On note la présence de petits gravillons roulés. La SM reste faible, ce qui indique que l'environnement n'a pas été perturbé. L'horizon « 3a » témoigne d'une période de transition entre la dynamique marine précédente, et le début des perturbations

¹⁴ Sous le niveau marin actuel



anthropiques. La présence persistante des micro-organismes marins laisse penser que le sable grossier et les gravillons proviennent de la désagrégation des blocs en « 3b », descendus par gravité.

3b – Entre 12 et 14 m (-4 à -6 m)

L'échantillon se compose presque uniquement de morceaux de roches gris et blanc/rose. Quelques oscillations de la SM sont à mettre en lien avec des morceaux de céramique (60 SI), alors que les roches présentent une SM négative.

Ce niveau est le premier horizon qui peut être qualifié d'anthropique. Il pourrait correspondre à un remblaiement de la côte au moyen de déblais (roches) et de déchets (céramiques cassées). La microfaune diminue fortement mais ne disparaît pas (les foraminifères sont encore présents), ce qui peut indiquer que ces roches ont été déposées en milieu marin ou bien que le milieu à proximité devient battu, exposé à la houle ou aux courants. Compte tenu de la taille des roches, et de la présence de foraminifères, les vides, qui devaient se trouver entre les roches, ont pu être comblés par des sédiments fins (sables et argiles) possiblement perdus lors du carottage. Cela expliquerait la granulométrie très grossière de cet échantillon, alors que les micro-organismes sont encore présents.

3c- Entre 11,3 et 12 m (-3,3 à -4 m)

Les sédiments présentent la même texture que le niveau « 3a ». L'horizon est plus sableux qu'argileux. La microfaune marine augmente : la dynamique marine est donc à nouveau présente. Le pic de SM à ce niveau est à mettre en relation avec la présence d'un tesson de céramique fortement magnétisé.

Il est possible que « 3c » corresponde à une transgression marine, au-dessus des éléments de remblai en « 3b » : soit à cause d'une élévation du niveau marin soit, à cause d'un enfoncement du remblai dans les strates argileuses sous-jacentes (« 1 », « 2 » et « 3a »). L'horizon « 3c » pourrait donc être un fond marin

sableux infralittoral.

Fig.27 : Stratigraphie du carottage TYR6

Si les niveaux de remblais et de construction respectivement en « 3b » et « 4a » étaient contemporains, cela pourrait signifier que les remblais ont été surélevés. L'horizon « 3c » pourrait alors correspondre soit à la sédimentation fine perdue en « 3b », soit à un niveau de dépôt de tempête.

Cependant en « 3c » le cortège d'espèces de foraminifères a changé, ce qui pourrait indiquer que cet horizon correspond bien à un nouveau niveau marin qui se serait mis en place au-dessus du remblai. Cependant les datations en cours viendront affiner ces hypothèses.

La question de la contemporanéité du niveau « 4 » avec le niveau de remblais en « 3b » pourrait être éclaircie à l'aide du tesson de céramique : beaucoup plus magnétique que ceux présents dans le remblai, il pourrait indiquer le passage à une autre époque/civilisation, ou tout simplement correspondre à un défaut de cuisson. Pour départager ces deux hypothèses et savoir si la céramique est contemporaine dans les deux horizons de remblais, l'intervention d'un spécialiste en céramologie est nécessaire.

Unité 4 – Entre 8 et 11,3 m de profondeur (0 à -3,3 m)

4a- Entre 9,5 et 11,3 m (-1,6 à -3,3 m)

Il s'agit du premier niveau de grès de la carotte TYR6. La SM négative de la roche indique qu'il s'agit probablement de la même que celle utilisée pour les remblais. L'absence de céramique résulte du fait qu'il s'agit probablement d'une construction en blocs de grès, plus élaborée qu'en 3b.

4b – Entre 9 et 9,6 m (-1 et -1,6 m)

Les sables sont plus présents que l'argile et la fraction grossière est presque absente. Ce niveau pourrait correspondre au résultat d'une dynamique d'extension urbaine : si la zone entre la construction en grès et la côte a été remblayée, alors les sables et limons éoliens (quasi-absence de microfaune) viennent s'accumuler au sommet de la construction. La présence de céramique indique également que la côte est proche.

4c – Entre 8 et 9 m (0 à -1 m)

La quantité d'argile augmente mais il s'agit là encore d'un horizon constitué de blocs de grès, ici associés à des débris de céramiques. La SM connaît un pic avant de se stabiliser à une valeur moyenne. Il peut s'agir à nouveau d'un niveau de remblais, cette fois sur la côte déjà poldérisée, pour gagner plus de terres sur la mer que la zone gagnée avec les dépôts du 4a.

Unité 5 – Entre 4 et 8 m de profondeur (0 à 4 m)

5a - Entre 7,2 et 8 m (0,8 à 0m)

Le sable est à nouveau présent en quantité importante, les limons en moindre proportion et il y a peu de fraction grossière. La SM est faible en l'absence de céramique, et la microfaune est absente, ce qui laisse penser à un dépôt éolien qui se serait mis en place à une certaine distance de la côte (pas de dépôt de micro-organismes marins qui auraient pu être transportés par le vent).

5b - Entre 7 et 7,2 (1 à 0,8 m)

On constate une augmentation des argiles et toujours la présence de sable. La susceptibilité magnétique diminue : cet horizon est donc relativement peu anthropisé. La quantité de micro-organismes marins est très élevée. Il est probable que « 5b » corresponde à un dépôt de tempête, qui serait venu recouvrir les sables côtiers, éventuellement en pénétrant assez loin dans les terres.

5c- Entre 4 et 7 m (1 à 4 m)

L'ensemble de l'horizon « 5c » associe de la roche volcanique exogène à du grès et à du calcaire et pourrait correspondre à un niveau de construction en ruine sous les remblais modernes (cette hypothèse nécessiterait d'être confirmée ou infirmée par une datation). En effet, l'association de ces faciès sédimentaires pourrait correspondre à un même bâtiment.

À première vue le carottage TYR6 semble donc révéler la dynamique d'extension des côtes de l'île pré-hellénistique, avec une superposition de remblais dans les horizons les plus anciens de la carotte. Cette hypothèse semble cohérente car elle fait écho à la diminution progressive, puis la disparition, de la dynamique marine du bas vers le haut de la carotte. Il est probable que l'emplacement corresponde à un ancien trait de côte oriental de l'île pré-hellénistique. Il est cependant tentant d'y voir également la chaussée d'Alexandre le Grand, associée à un trait de côte hellénistique, et à deux niveaux de construction, un phénicien, qui lui précède, et un romano-byzantin, qui lui succède.

B. La chaussée d'Alexandre le Grand : discussion des



Fig.28 : Hypothèse du tracé de l'ancienne chaussée d'Alexandre le Grand

a) Indication des logs des carottages de 2018. En jaune : le bâtiment qui a pu dévier le tracé initial de la route. En bleu : la route actuelle. En noir : le tracé ancien ?

b) Photo aérienne de la presqu'île de Tyr : indication du tracé possible de la chaussée d'Alexandre avant la construction du bâtiment. La ligne suivie pourrait bien avoir rejoint l'emplacement du carottage 6.

1. Sa possible apparition dans la stratigraphie

L'emplacement du carottage TYR6 pourrait correspondre au passage de la chaussée d'Alexandre le Grand, édifée en 332 av. J-C pour relier Tyr au continent. Si la chaussée a rejoint l'emplacement de TYR 6, cela signifie que la ligne de rivage à l'est de l'île se trouvait alors au minimum au niveau de TYR6, si ce n'est plus dans les terres. Cela est possible puisque l'on constate dans TYR6 que la côte a été avancée par des remblais (horizon 3b).

Selon Bertou (1843.¹⁵), la chaussée d'Alexandre ne faisait qu'une quarantaine de mètres de large. En conséquence, si l'on estime qu'elle apparait au niveau de TYR6, elle ne se trouve probablement pas dans les autres carottages. Cela semble être le cas de l'horizon de grès (4a) entre 1,6 et 3,3 m sous le niveau marin actuel et 3b, entre 4 et 6 m sous le niveau marin.

2. La question de la subsidence de l'île

Les vestiges portuaires phéniciens se trouvent à 2,5 m sous le niveau marin actuel (Noureddine et Mior, 2018), tandis que le niveau marin romain a été estimé à 0,5 m sous l'actuel (Goiran, soumis). L'île a donc connu un ou plusieurs épisodes de forte subsidence, augmentant les effets de la hausse eustatique du niveau marin entre l'époque phénicienne et l'époque romaine.

Une subsidence antérieure à la construction de la chaussée ?

Cette subsidence a pu survenir avant la construction de la chaussée par Alexandre. Il semble cependant difficile d'expliquer pourquoi les môles n'auraient pas été surélevés pour rester opérationnels, mais l'hypothèse ne peut être écartée. La chaussée se trouverait alors au même niveau que le grès « 4a », au-dessus du niveau phénicien qui serait constitué des blocs plus profonds en « 3b ». Sous ce niveau de grès en « 4a » l'assemblage de la microfaune est modifié (les espèces dominantes ne sont plus les mêmes que dans les niveaux inférieurs). Cela peut être le résultat de la mise en place durable d'un élément qui crée un nouvel environnement à sa base, ce qui peut

¹⁵ Citant Guil. de Tyr, *Hist. des croisades*, liv. xi, p. 154 et Révérend père Roger *La Terre Sainte ou Description topographique très-particulière des saints lieux et de la terre de promesse* 1664.

correspondre à l'apparition de la chaussée. Les sables et limons éoliens qui le recouvrent en « 4b » pourraient, dans ce cas, correspondre au début d'engraissement du tombolo autour de la chaussée. Le niveau de grès supérieur en « 4c » serait le résultat d'un renforcement de la chaussée après son recouvrement par les sables du tombolo. La même dynamique a ensuite eu lieu à l'époque romaine : les sables ayant recouvert la chaussée, une nouvelle route est installée, ou plus probablement un bâtiment (car les roches volcaniques, exogènes, seraient des roches d'apparat).

Une subsidence postérieure à la construction de la chaussée ?

Si la construction de la chaussée a eu lieu après la subsidence, la chaussée s'est donc enfoncée de 2 m et se retrouve ainsi au niveau des môles phéniciens à 2,5 m sous le niveau marin actuel, ou plus bas car la chaussée a été construite en mer, alors le sommet des môles dépassait le niveau marin. Le niveau de la chaussée serait alors éventuellement atteint plutôt en « 3b », entre 4 et 6 m sous le niveau de la mer. Le niveau supérieur de la chaussée a pu ensuite être aplani pour être surélevé avec des blocs de grès en « 4a » avant que les côtes de la presqu'île ne progradent après le point du carottage TYR6 en « 4c ».

C. Deux niveaux de construction, l'un phénicien l'autre romano-byzantin ?

Si le niveau de remblais le plus bas dans la carotte a été mis en place afin d'augmenter la surface constructible de l'île, le niveau de grès qui lui succède pourrait être un premier niveau de construction phénicien. Cette construction n'interviendrait qu'une fois la zone de remblais déjà bien avancée sur la mer et partiellement recouverte de sable. Cependant, la présence de foraminifères en abondance laisse penser plutôt à un dépôt marin. L'hypothèse d'un dépôt de tempête ou d'un apport anthropique (dragage ?) peut alors être envisagée. On peut noter que cette hypothèse de construction phénicienne n'a pas lieu d'être si l'un de ces deux niveaux est en fait la chaussée d'Alexandre. Si la

chaussée est présente en 3b, alors le 4a ne pourrait être un niveau de construction phénicien : il serait forcément postérieur à la chaussée.

Si le niveau de construction phénicien n'est envisageable que sous certaines conditions, le niveau de grès le plus haut pourrait correspondre à un niveau romano-byzantin. Cet horizon gréseux pourrait en effet être en lien avec le complexe thermal (secteur 3), ou encore le quartier d'habitations (secteur 7) mis à jour au sud du carottage TYR6 par Maurice Cheab et sur lesquels les fouilles se sont poursuivies d'abord sous la direction de Pierre-Louis Gatier puis de Jean-Baptiste Yon. D'après la coupe effectuée par P-L Gatier et les différents points topographiques relevés par Emmanuelle Regagnon, le niveau de construction romano-byzantin se trouvait à environ 7 m au-dessus du niveau de la mer. Cependant les fondations thermales descendent jusqu'au niveau marin actuel (Fig.29).

Le niveau de grès présent sous le niveau marin pourrait cependant ne pas être en connexion avec le niveau romano-byzantin, puisqu'un horizon sableux contenant des foraminifères s'est mis en place par-dessus (les datations en cours de réalisation permettront d'affiner ces hypothèses). L'ensemble de la stratigraphie du niveau 5 (roche volcanique, grès, calcaire) permet d'envisager que ce niveau date de l'époque romano-byzantine où ces matériaux étaient utilisés pour les constructions (Duvette, 2012). Il se trouverait surélevé de 1 m en comparaison avec le niveau des thermes en raison de la topographie de l'île, montante vers le nord.

Pour départager ces différentes hypothèses de travail, des datations sont en cours. D'autres analyses pourront être envisagées comme l'analyse des remblais du carottage TYR6 à la SMIR (spectrométrie) afin de comparer la signature infrarouge des sédiments avec celles des sédiments prélevés dans d'autres carottages continentaux. Si les ruines de *Palaeotyr* ont été utilisées pour construire la chaussée d'Alexandre le Grand, leur spectre infrarouge devrait correspondre.

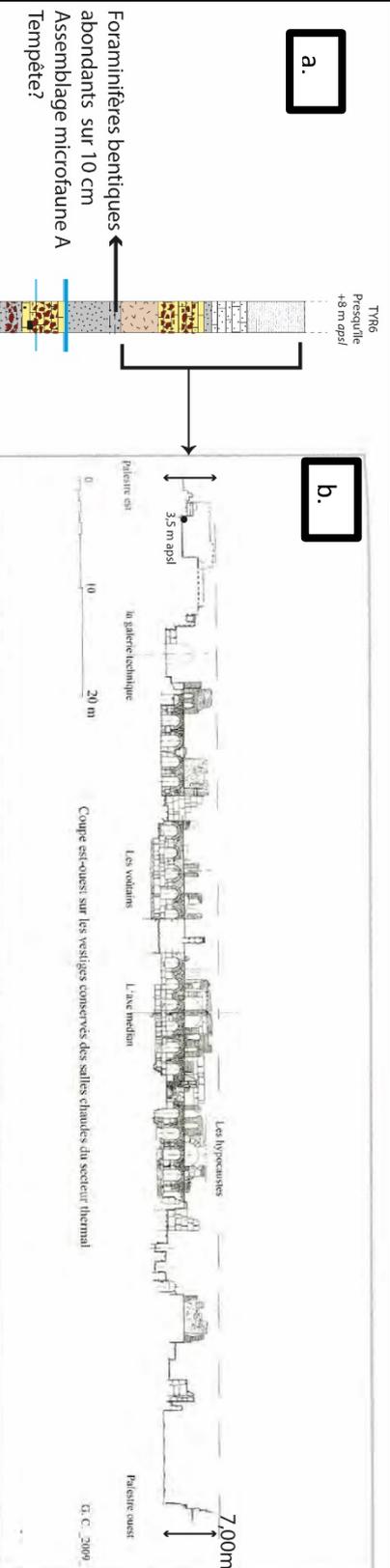


Fig. 14- Coupe Est/Ouest sur les salles chaudes du secteur thermal (G. Ch., Mission de Tyr).

Deuxième niveau de construction, romano-byzantin

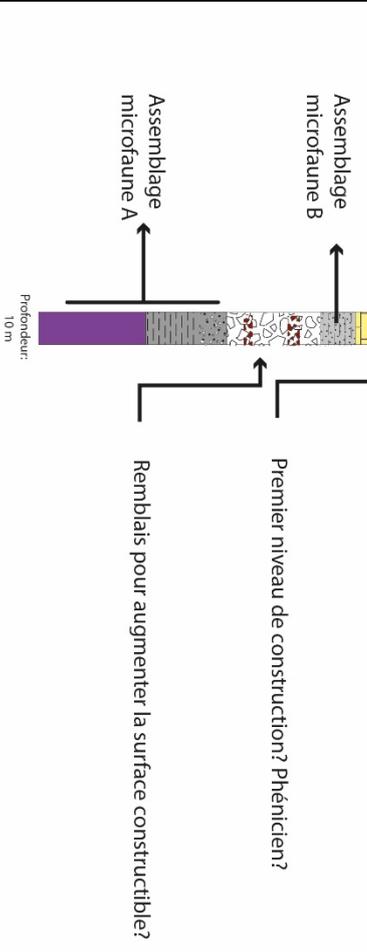


Fig.29 : Mise en relation de TYR 6 et des fouilles du secteur des thermes romano-byzantins au sud du carottage

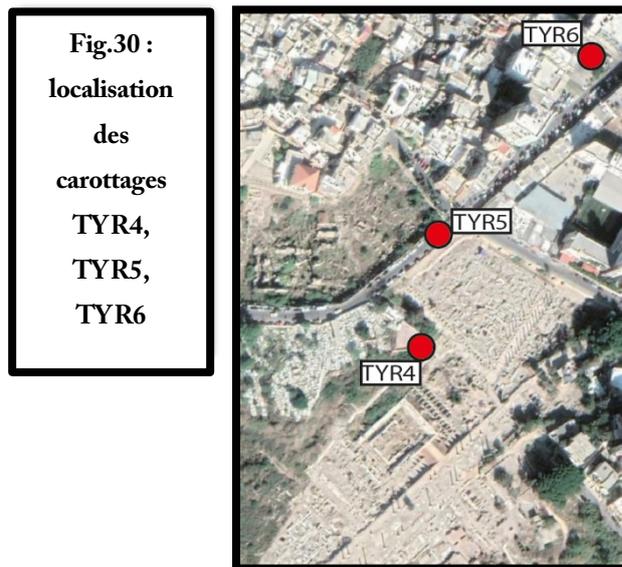
- a.) Log TYR6.
- b.) Coupe du secteur thermique © P-L Gattier
- c.) Indication de la coupe sur une image satellite © GoogleEarth, 2020



II Mise en relation des carottages TYR4, TYR5 et TYR6

A. Présentation, stratigraphie et interprétation des carottages TYR4 et TYR5

Ces deux carottages ont été analysés par Amber Goyon et Marie Tallon (susceptibilité magnétique, texture et extraction des ostracodes) et l'identification des ostracodes a été réalisée par Cécile Vittori. TYR4 et TYR5 ont été carottés au sud-ouest de TYR6 : TYR4 à proximité du chantier de fouilles des thermes monumentaux et TYR5 est proche de la cathédrale médiévale (Fig.30). Ils se trouvent à une altitude comparable à celle de TYR6.



La stratigraphie¹⁶ qui apparait dans ces carottages permet d'appréhender plus finement le dessin et l'évolution holocène de la ligne de la côte orientale de l'île pré-hellénistique.

¹⁶ Stratigraphie relevée par Chapkansky Stoïl sur le terrain, puis affinée par des analyses de laboratoires menées par Goyon Amber et Tellier Marie

1 – Le substrat d’argilite

Il est atteint à partir de 8 m dans TYR6, 9 m dans TYR5 et à environ 10 m dans TYR4. Il s’agit de la paléotopographie de l’île lors de sa mise en place.

2 – Un niveau d’argile qui dénote un environnement protégé

Un niveau d’argile se met en place du fait, d’une part, de la présence du niveau d’argilite, retravaillé par l’érosion et, d’autre part, grâce à la protection de la côte par le relief de l’île. L’hydrodynamisme marin faible dans cette zone permet aux argiles de se déposer sans être transportées.

3 - Apparition des sables et hausse de la susceptibilité magnétique

L’apparition du sable indique une hausse de l’hydrodynamisme, probablement dû à l’augmentation holocène du niveau marin. Le sable est présent plus tôt dans TYR4 que dans TYR5, où l’argile reste prédominante et ne disparaît pas. Cet élément semble en faveur d’une dérive sud-nord, qui transporte les argiles de TYR4 vers TYR5. Peut aussi être soulevée l’hypothèse d’un obstacle qui aurait interrompu la dynamique de la dérive entre TYR4 et TYR5, comme la présence d’une flèche sableuse ouest-est.

À ce niveau, les premiers éléments anthropiques apparaissent dans TYR6 et la susceptibilité magnétique augmente dans TYR5. Cependant, ces dynamiques semblent absentes de TYR4. Cette différence peut indiquer un gradient d’urbanisation Nord-Sud décroissant sur l’île aux époques pré-hellénistiques. La présence de micro-organismes marins dans TYR4 et TYR5 jusqu’à 3 à 4 m sous le niveau marin actuel indique que la ligne de rivage pré-hellénistique se trouvait probablement proche de ces carottages.

4 – Disparition des micro-organismes marins : une ligne de rivage ?

Les ostracodes à ce niveau sont des espèces caractérisées par leur habitat en eau peu profonde. Plus haut dans cette unité, la microfaune disparaît aux alentours de 1 m sous le niveau marin actuel et des éléments anthropiques apparaissent dans TYR5. Il s’agit peut-être de l’avancée de la ligne de côte sous la pression urbaine. La présence d’activités humaines au niveau de TYR5 est attestée par les morceaux de céramiques trouvés. Il a pu s’agir d’un port, car la zone semblait présenter un hydrodynamisme modéré favorable aux accostages.

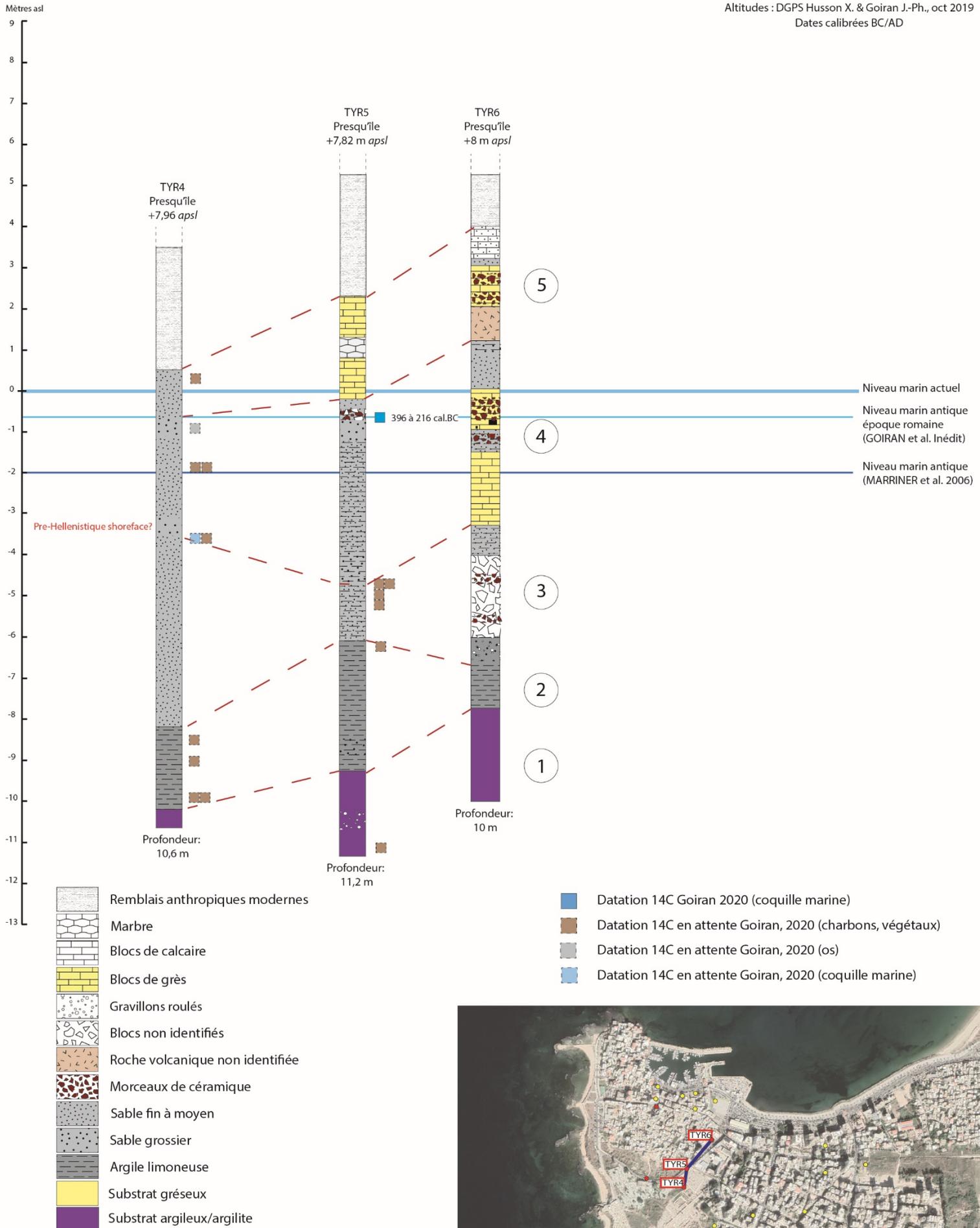


Fig.31 : Transect de la côte est de l'île pré-hellénistique

5 – Un niveau romano-byzantin ?

Le niveau 5 correspond probablement à un horizon romano-byzantin, en lien avec la présence des vestiges de cette époque à cette hauteur à proximité des carottages. Cependant, il ne se retrouve pas dans TYR4, où ce niveau est fait de sables. Il est possible que TYR4 se soit trouvé entre les constructions. Il serait possible que les vestiges soient dans les remblais modernes, mais cela semble peu probable du fait de la pente nord-sud que connaît la presqu'île.

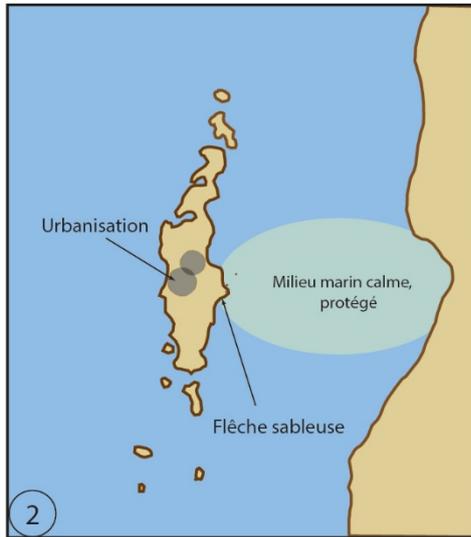
B. Mise en relation des carottages TYR4 et TYR5 avec le carottage TYR6

Il semble que la zone où a été effectué le carottage TYR6 ait connu une urbanisation plus récente qu'au sud de l'île. De fait, la ligne de côte où a été foré TYR6 a été avancée par des remblais avant le secteur sud. Il est étonnant que les habitants aient privilégié l'extension ouest-est de l'île uniquement au nord plutôt qu'une avancée uniforme le long du littoral. Ce choix peut être lié à l'existence d'une zone portuaire ou d'un port en TYR5, dont la morphologie en anse à l'intérieur des terres aurait été conservée, les remblais ultérieurs ne venant pas combler ce secteur, préservé tel quel pour conserver l'activité portuaire. Le sable est ensuite venu s'accumuler contre cet obstacle au nord de TYR5, comblant inexorablement la zone ouverte entre TYR4 et TY5, recouverte ensuite par le tombolo.

Les carottages TYR4 et TYR5 viennent apporter d'importantes informations quant à la paléogéographie de l'île et permettent de mieux appréhender les dynamiques qui ont pu avoir lieu le long de la côte est.



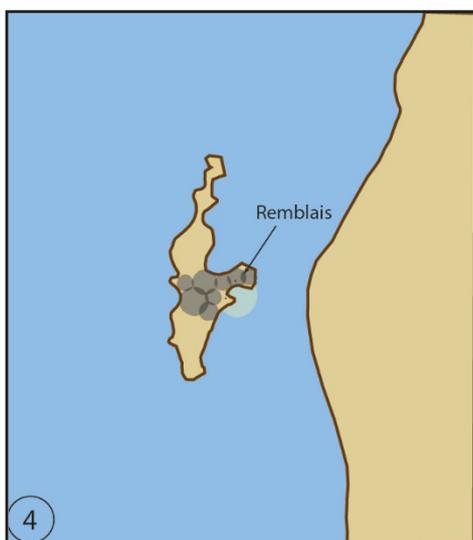
1 Reconstitution de la paléogéographie de l'île de Tyr aux alentours de 7000-6000 BP.



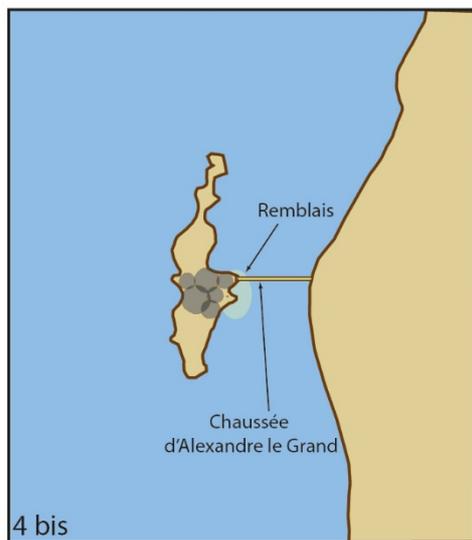
2 Reconstitution de la paléogéographie de l'île de Tyr aux alentours de 4000 BP



3 Reconstitution de la paléogéographie de l'île de Tyr entre 4000 BP et 2300 BP

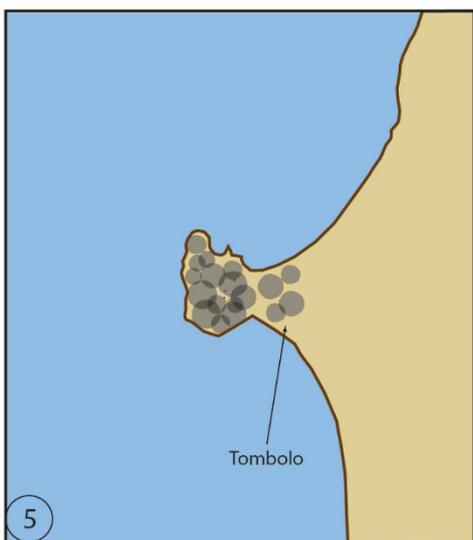


4



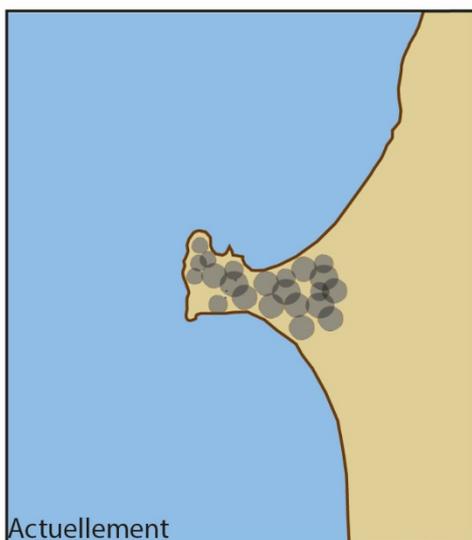
4 bis

Reconstitution de la paléogéographie de l'île de Tyr en 332 BC soit 2300 BP. Deux hypothèses: le niveau 4 en TYR6 correspond à une dynamique de remblaiement, ou le niveau 4 correspond à la chaussée d'Alexandre le Grand



5

Reconstitution de la paléogéographie de l'île de Tyr entre 2300 BP jusqu'à l'époque romano-byzantine



Actuellement

Ligne de côte actuelle de la presqu'île de Tyr

Fig.32. Possible évolution paléogéographique holocène de la presqu'île de Tyr, réalisée à partir de Marriner (2007). Modifications apportées (Fig.10) : ligne de côte orientale en fonction des carottages TYR4, TYR5 et TYR6, et urbanisation supposée.

Conclusion

Les carottages permettent d'obtenir des informations sur les environnements passés, en prélevant les archives sédimentaires d'un endroit donné. Plus locale qu'une fouille archéologique, ils permettent de rejoindre des horizons que les fouilles archéologiques ne peuvent atteindre, soit parce que les horizons les plus anciens sont trop profonds, soit parce que la zone étudiée est urbanisée. Ces deux cas de figure se rencontrent à Tyr.

La presqu'île de Tyr est l'héritage de dynamiques anciennes qui ont modelé le trait de côte du rivage libanais. Jusqu'à la première urbanisation de l'île, à l'Âge du Bronze, ces dynamiques sont essentiellement naturelles : variations relatives du niveau marin, formation d'un espace lagunaire entre l'île et le continent par l'apport sédimentaire des cours d'eau. Ensuite, le remblaiement pour gagner des espaces urbains sur la mer entraîne la modification de la ligne de rivage et l'extension de l'île. Peu à peu, l'espace entre l'île et le continent se comble. En 332 avant J.-C., grâce à la construction de la chaussée d'Alexandre l'île est reliée au continent, ce qui accélère la formation d'un tombolo sableux, donnant à la presqu'île sa morphologie actuelle.

Les analyses des carottages TYR4, TYR5 et TYR6 ont permis de proposer une reconstitution de la ligne de côte à l'est de l'île pré-hellénistique, aujourd'hui recouverte par le tombolo. Alors que le carottage TYR6 montre la dynamique de remblaiement successif des côtes de l'île, il est probable que TYR5 ait été réalisé dans un ancien port phénicien, protégé par une flèche sableuse qui s'est développée au niveau de TYR4.

Beaucoup d'études ont encore vocation à être réalisées à Tyr. Les questions auxquelles la géoarchéologie pourrait répondre se révèlent nombreuses :

- La question de la subsidence de l'île

La subsidence de l'île a probablement eu lieu entre l'époque phénicienne et l'époque romaine (datation induite par l'enfoncement de 2 à 2,5 m sous le niveau marin actuel des môles phéniciens, alors que les vestiges romano-byzantin sont retrouvés à -50 cm sous le niveau marin actuel) mais il est encore difficile de la recaler chronologiquement de façon précise. De nouvelles prospections plus au large de l'île pourraient avoir lieu, afin

de déterminer la nature de la faille qui a joué dans cette subsidence et de trouver des marqueurs datables de cet évènement.

- Le port perdu d'Alexandre le Grand

La recherche du port perdu d'Alexandre. Ce dernier aurait construit, pendant les neuf mois qu'a duré le siège, un port au sud de la ville actuelle de Rachidiye. Il semble, en effet, probable que ce port militaire, mentionné par les textes.¹⁷, ait été installé à proximité de l'île de Tyr. Des éléments visibles au large de Rachidiye pourraient se révéler être des vestiges portuaires, et faire l'objet d'études dans les années à venir.

- Le projet Otarie

Ce projet ANR¹⁸, mis en place par Jean-Baptiste Yon (Directeur de la Mission Française de Tyr) cette année, a vocation à étudier l'eau à Tyr. Tout d'abord les sources d'eau potable : celles en mer, issues de l'important réseau karstique aux alentours de la presqu'île, ou situées sur le continent. Ensuite, sur les différentes chaînes opératoires qui nécessitaient l'utilisation de l'eau douce : industrie de la pourpre, dessalage des cordages pour les bateaux etc. et sur l'optimisation de l'utilisation de cette eau à Tyr.

¹⁷ Guil. de Tyr, *Hist. des croisades*, liv. xi

¹⁸ Agence Nationale de la Recherche

Bibliographie :

A

ALLINE C., BERTONCELLO F., BOUBY L., BRUNETON H., BUI THI M., CADE C., REVIL A. (2006) Archéologie et paléoenvironnement sur le site du pont romain des Esculapes (Fréjus, Var). *ArcheoSciences*, 30(1), 18p.

ARMYNOT DU CHATELET E., DEBENAYA J-P., DEGRÉ D., SAURIAU P-G., (2005) Utilisation des foraminifères benthiques comme indicateurs de paléo-niveaux marins ? Étude du cas de l'anse de l'Aiguillon, *Comptes Rendus Palevol* Volume 4, Issues 1–2, pp. 209-223

ATA E., TAPPONNIER P., SINGH S.C., 1 KING G.C.P., BRIAIS A., DAËRON M, CARTON H., SURSOCK A., JACQUES E., JOMAA R., KLINGER Y., (2007) Active thrusting offshore Mount Lebanon : Source of the tsunamigenic A.D. 551 Beirut-Tripoli earthquake, *Geology*, vol.35 n°8, pp. 755-758

B

BADAWI A. (2016) The ancient sources of buildings stones for the city of Tyre/Sur (Lebanon), *journal Marmora*, éditeur : Fabio Serra, Rome, (déc. 2016) pp.141-144

BENECH C., TABBAGH A., VIGNE J-D. (2015) Étude par prospections magnétique et électromagnétique du site de Klimonas (Chypre). Nouvelles données sur les débuts du Néolithique à Chypre, Paris, France. pp.79-94.

BERTOU J. (1843) *Essai sur la topographie de Tyr*, mémoire lu par l'auteur à l'Académie royale des inscriptions (Ed.1843), Hachette BNF, Paris.

BIKAI P.M. (1987) *Tyre at the end of the Twentieth Century*, Berytus, archaeological studies n° 35, pp.67-96.

C

CANAPLA J., COMBAZ A., HOSSIN A., MANDERSCHIED G. (1953) Carte géologique de Tyr-Nabatiyé et Naqoura-Bennt Jbail (50.000ème). Ministère des Travaux Publics, Beyrouth.

CARAYON N. (2012) Les ports phéniciens du Liban, milieux naturels, organisation spatiale et infrastructures. *Archaeology and History*, in: *Lebanon issue* 36-37 (2012-2013). 137p.

CARTON H., SINGH C., TAPPONIER P., ELIAS A., BRIAIS A., SURSOCK A., JOMAA R., KING J.C. P., DAERON M., JACQUES E., BARRIER L. (2009), Seismic evidence for Neogene and active shortening offshore of Lebanon (Shalimar cruise), *Journal of physical research*, vol.114.

CHÉHAB M. (1969) *Tyr : histoire, topographie, fouilles*, Beyrouth, s.d.

COHEN K.M., HARPER D.A.T., GIBBARD P.L., (2020). ICS International Chronostratigraphic Chart 2020/01. International Commission on Stratigraphy, IUGS. www.stratigraphy.org

CUBIZOLLE H. (2009) *Paléoenvironnements*, Paris, Armand Colin, 272 p.

D

DALONGEVILLE R., LABOREL J., PIRAZZOLI P., SANLAVILLE P., ARNOLD M., BERNIER P., EVIN J., MONTAGGIONI L-F (1993) Les variations récentes de la ligne de rivage sur le littoral syrien. In: *Quaternaire*, vol. 4, n°1. pp. 45-53.

DAR IAURIF (2004), Schéma d'Aménagement du Territoire Libanais I - Les réalités physiques incontournables Rapport Final. 26p.

DUVETTE C. (2012) Le secteur 7, un quartier d'habitat au pied du complexe thermal de Tyr in : *L'histoire de Tyr au témoignage de l'archéologie*, actes du séminaire international de Tyr 2011, *BAAL* Hors-série VIII, Beyrouth, 2012

E

EL AMOURI *et al.* (2005) Mission d'expertise archéologique du port sud de Tyr Résultats préliminaires, *BAAL*, Hors-série II pp.91-110

ELIAS A., TAPPONIER P. (2010) The Tyr-Nabatiyeh plateau: a relatively stable Cenozoic plateau of the locally inverted Lebanese margin. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-13432, EGU General Assembly 2010

ESCADAFAL R., GIRARD M-C., COURAULT D. (1988). La couleur des sols : appréciation, mesure et relations avec les propriétés spectrales. *Agronomie, EDP Sciences* 8 (2), pp.147-154.

F

FOUACHE É. (2007) 10 000 ans d'évolution des paysages en Adriatique et en Méditerranée orientale (Géomorphologie, Paléoenvironnements, Histoire) Lyon : Maison de l'Orient et de la Méditerranée. *Travaux de la Maison de l'Orient et de la Méditerranée*, 45, 223 p.

FOUACHE É. (2010) L'approche géoarchéologique. In: Regards croisés sur l'étude archéologique des paysages anciens. Nouvelles recherches dans le Bassin méditerranéen, en Asie centrale et au Proche et au Moyen-Orient. Lyon : Maison de l'Orient et de la Méditerranée Jean Pouilloux, *Travaux de la Maison de l'Orient et de la Méditerranée*, 56. pp. 17-30.

G

GATIER P.-L., BAUD A., CAHU D., CHARPENTIER G., DEVILLECHAISE A., DUVETTE C., EL-MASRI HACHEM M., FERREIRA P., FLAMMIN A., HAIDAR-VELA N., HUSSON X., KAHWAGI-JANHO H., PIATON CL, PIERI D., SCHMITT A. (2010) Mission archéologique de Tyr. Rapport préliminaire 2008-2009., avec la collaboration de T. Zaven, « Mission archéologique de Tyr. Rapport préliminaire 2008-2009 », *BAAL*, 14, 2010 [2012], p. 135-240.

GATIER P-L., ALIQUOT J., NORDIGUIAN L. (éd.)(2011), *Sources de l'histoire de Tyr. II. Textes et images de l'Antiquité et du Moyen Âge*, Beyrouth. Presses de l'Ifpo/Presses de l'Université Saint-Joseph, 304 p. [

GOIRAN J-P., CHAPKANSKI S., RÉGAGNON E., PAVLOPOULOS K., FOUACHE E. (2019) Preliminary Results of Rock-cut Fish Tanks Evidence along the Tyre Coast of Lebanon. Implication for ancient Sea-level Reconstruction *BAAL* 19 pp.259-266.

GOIRAN JP., BROCARD G., DE GRAAUW A., KAHWAGI-JANHO H., CHAPKANSKI S., (soumis) Evolution of sea level at Tyre during Antiquity. *BAAL*

GOLDBERG P. (1978) Granulométrie des sédiments de la grotte de Taboum, Mont-Carmel, Israël. In: *Géologie Méditerranéenne*. Tome 5, numéro 4,. pp. 371-383.

GOUBERT E. (2017) Les systèmes littoraux passés, actuels et futurs : Approches paléobiologiques (foraminifères benthiques) et morphosédimentologiques. *Paléontologie*. Université Bretagne Sud, 154p.

H

HUET A-M. (2003) *Étude stratigraphique et sédimentologique de la Cueva del Angel, province de Cordoue, Espagne*. Archéologie et Préhistoire.27p.

HULIN G. (2013). 16. Caractérisation des sols et des structures archéologiques par la mesure de paramètres magnétiques. Dans : Stéphanie Thiébault éd., *L'archéologie au laboratoire*, Paris : La Découverte. pp. 219-232.

K

KENRICK J. (1855) History and Antiquities of Phoenicia. B. Fellowes, London.

KOEHLER A. (2013) 17. Les drones en archéologie. Dans : Stéphanie Thiébault éd., *L'archéologie au laboratoire*, Paris : La Découverte. pp. 233-241.

L

LAMBECK K., PURCELL A., (2005). Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: Model predictions for tectonically stable areas. *Quaternary Science Reviews*. Vol.24, pp.1969-1988.

LAMBECK K., ROUBY H., PURCELL A., SUNC Y., SAMBRIDGE M., PÉREZ-OBÍOL R., JALUT G., JULIÀ R., PÈLACHS A., IRIARTE M.J., OTTO T., HERNÁNDEZ-BELOQUI B., (2014) Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula, *The Holocene*, Sage Publications, vol. 21 n°1, pp.75-93

LE LASSEUR D. (1921) Mission archéologique à Tyr (avril-mai 1921) *Syria* T. 3, Fasc. 2 (1922), pp. 116-133.

M

MAGNY M., (2004) Holocene climate variability as reflected by mid European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. In: *Quaternaries Int* vol.113, pp.65–79

MARINOVA E., KIRLEIS W., BITTMANN F., (2012) Human landscapes and climate change during the Holocene in: “Vegetation History Archaeobotanique “n°21, pp.245–248

MARRINER N. (2005) Geoarchaeology of Tyre’s ancient northern harbour, Phoenicia.

MARRINER N. (2008) Ancient Tyr and its harbor, 5000 years of human-environment interactions. *Journal of Archaeological Science* 35, pp.1281-1310

MARRINER N. (2009) *Géoarchéologie des ports antiques du Liban*, Harmattan, pp.259

MARRINER N. et MORHANGE C. (2005b.) 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. (2008) Preserving Lebanon's coastal archaeology: Beirut, Sidon and Tyre, *Ocean and coastal management* 51, p.430-441 (article)

MARRINER N., GOIRAN J-P., MORHANGE C., (2008) Alexander the Great's tombolos at Tyre and Alexandria, eastern Mediterranean, *Elsiever Geomorphology* 100, pp.377-400

MERCURI A.M., FLORENZANO A., ZERBONI A., BOSI G., BRANDOLINI F., CLO E. MARIANI G.S., MAZZANTI M, RINALDI R., TORRI P., CREMASCHI M. (2012), Environmental changes and human impact during the Middle to Recent Bronze Age in N Italy (SUCCESSO-TERRA Project).

MORHANGE C. (2003) Le littoral de Tyr Un patrimoine archéologique et naturel à sauvegarder, *BAAL*, Hors-Série II, Pp. 283-307

MORHANGE C., PIRAZZOLI P., MARRINER N., MONTAGGIONI L., NAMMOUR T., (2006) Late Holocene Relative Sea-Level Changes in Lebanon, Eastern Mediterranean, *Marine Geology* n°230, pp.99–114

N

NOUREDDINE I. (2010) New Light on the Phoenician New Light on the Phoenician Harbor at Tyre, *NEAR EASTERN ARCHAEOLOGY* 73:2–3 pp.176-181.

NOUREDDINE I. et HELOU M. (2005) Underwater archaeological survey in the northern harbour at Tyre, *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*.

NOUREDDINE I. Et MIOR A. (2018) Archaeological Survey of the Phoenician Harbour at Tyre, Lebanon, *Baal*, 18, 96-112.

P

POIDEBARD, A. (1939). *Un grand port disparu, Tyr. Recherches aériennes et sous-marines*, 1934-1936, 2 vol., Paris (BAH, 29).

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.

J.B. Pritchard (éd.), 1955. Letter of King Ibbi-Sin in: *The Ancient Near Eastern Pictures relating to the Old Testament*, (2e éd.), Princeton.

R

RENAN, E. (1864-1874) *Mission de Phénicie*, Imprimerie nationale, Paris.

ROGER E. rèv..père (1664) *La Terre Sainte ou Description topographique très-particulière des saints lieux et de la terre de promission*. 440p

S

SANLAVILLE P. (1970) Les variations holocènes du niveau de la mer au Liban. In: *Revue de géographie de Lyon*, vol. 45, n°3. pp. 279-304;

STIROS S. (2001) The AD 365 Cret earthquake and possible seismic clustering during the fourth to sixth centuries AD in the Eastern Mediterranean: A review of historical and archaeological data, *Journal of Structural Geology* vol.23, n°2-3, pp.545-562

V

VELTZ I. (2008) Le passage jurassique crétacé au Liban. Université de REIMS Champagne-Ardenne. UFR des sciences exactes et naturelles. Ecole Doctorale Sciences Technologie Santé THÈSE. Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Reims Champagne-Ardenne. Discipline : Géologie. Directeur de thèse Professeur BARBIN V.

Y

YON J-B, ROLLIER G. (2018). *Mission archéologique de Tyr (Liban)*, 46p.

Table des figures :

Fig.1 Localisation de la presqu'île de Tyr sur la côte sud Libanaise.....	1
Fig.2 Carte du relief du Liban.....	7
Fig.3 Carte de la sismicité et des failles majeures du Liban.....	9
Fig.4 Croquis géologique du Liban.....	10
Fig.5 Croquis de la pluviométrie au Liban et diagramme ombrothermique de Tyr.....	12
Fig.6 Carte des cours d'eau Liban	13
Fig.7 Schéma géomorphologique de la presqu'île	16
Fig.8 Localisation des tells.....	17
Fig.9 Profil topographique ouest-est de la presqu'île.....	18
Fig.10 Évolution morphologique de la presqu'île de Tyr	20
Fig.11 Plan de Tyr, par BERTOUJ., 1843.....	21
Fig.12 Plan de Tyr, par RENAN E., 1864.....	22
Fig.13 Localisation des secteurs de la Cathédrale médiévale à trois nefs, des Thermes romano-byzantin, du quartier marchand ou <i>martyrium</i> et du quartier d'habitations, de l'Arc de triomphe et de l'Hippodrome romains.....	22
Fig.14 Localisation des carottages effectués dans le cadre de la thèse de Nick Marriner dans les années 2000.....	24
Fig.15 Localisation des carottages effectués dans le cadre de la mission géoarchéologique de 2018.....	25
Fig.16 Photographie aérienne du sud de la presqu'île de Tyr par Poidebard 1939 et plan des « môles » à partir de la tour médiévale au sud de la presqu'île	26
Fig.17 Plan du port phénicien au nord de la presqu'île. En noir le contour de la jetée phénicienne.....	26
Fig.18 Emplacement et légende générale pour la lecture du carottage TYR6.	30

Fig.19 Susceptibilité magnétique relevée sur les échantillons du carottage TYR6.....	31
Fig.20 Log des couleurs Munsell des échantillons du carottage TYR6.	33
Fig.21 Texture des échantillons du carottage TYR6.	34
Fig.22 Nombre de foraminifères par gramme d'échantillon.	36
Fig.23 Nombre d'ostracodes par gramme d'échantillon.	37
Fig.24 Exemples d'individus probablement vus dans les sédiments du carottage TYR6 (microfaune)	39
Fig.25 Logs stratigraphiques des carottages TYR4, TYR5 et TYR6 et indication des prélèvements pour datation.	40
Fig.26 Emplacement du carottage TYR6 sur la presqu'île de Tyr.....	41
Fig. 27 Stratigraphie du carottage TYR6	43
Fig.28 Hypothèse du tracé de l'ancienne chaussée d'Alexandre le Grand.....	46
Fig.29 Mise en relation de TYR 6 et des fouilles du secteur des thermes romano-byzantins au sud du carottage.	50
Fig.30 Emplacements des carottages : TYR4, TYR5, TYR6.....	51
Fig.31 Transect de la côte est de l'île pré-hellénistique.....	53
Fig.32 Figure récapitulative de l'évolution paléoenvironnementale holocène de la presqu'île de Tyr.....	55

Chapitre 1 : Le contexte général

I Le contexte géographique : la côte sud Libanaise.

A. Le contexte topographique.....	7
B. Le contexte tectonique.....	8
C. Le contexte lithologique.....	10
D. Le contexte climatique.....	11
E. Le contexte hydrologique.....	12
F. Les variations relatives du niveau marin.....	14

II Le contexte géographique local : la presqu'île de Tyr.

A. Les tells continentaux.....	15
B. Le tombolo.....	17
C. La presqu'île.....	19

III Le contexte archéologique.

A. Les prospections et fouilles sur le terrain	21
B. Les carottages.....	24
C. Les fouilles subaquatiques.....	25

Chapitre 2 : Méthode et analyses géoarchéologiques

I La géoarchéologie : approche méthodologique globale.

A. Les analyses géographiques.....	28
B. Les analyses archéologiques.....	29

II Les analyses effectuées pendant le stage.

A. La susceptibilité magnétique.....	31
B. L'utilisation du code Munsell.....	33
C. La texture ou granulométrie.....	34
D. L'extraction de la microfaune.....	36

III Les analyses en cours.

A. La détermination de la microfaune.....	39
B. Les datations.....	40

Chapitre 3 : Interprétations et hypothèses de travail

I Interprétations et hypothèses de travail sur le carottage TYR6.

A. Hypothèses et interprétations sur la stratigraphie du carottage TYR6.....	42
B. La chaussée d'Alexandre le Grand : discussion des résultats	46
C. Deux niveaux de construction, l'un phénicien, l'autre romain	48

II Mise en relation des carottages TYR 4 et TYR 5 et TYR6.

A. Présentation, stratigraphie et interprétation des carottages TYR4 et TYR5.....	51
B. Mise en relation des carottages TYR4 et TYR5 avec le carottage TYR.....	54

Résumé/abstract

Occupée depuis l'Âge du Bronze, Tyr était composée à l'origine d'une partie insulaire appelée Tyr, et d'une partie continentale, Palaeotyr. Fondation phénicienne de grande envergure, Tyr se distingue par son savoir-faire naval et sa puissance maritime. Soumise à plusieurs sièges historiques, elle conserve pourtant son indépendance jusqu'en 332 av. J.-C., où elle tombe sous l'assaut d'Alexandre le Grand. Cette dernière bataille voit la construction de la chaussée qui l'unit au continent, dite « chaussée d'Alexandre le Grand », mise en place à l'aide des débris de Palaeotyr. L'emplacement de la chaussée, recouverte par les sables d'un tombolo, reste encore hypothétique. Également recouverts de sable, les ports à l'est de l'île, qui ont dû la relier au continent, ne sont plus visibles. En octobre 2018, sept carottages ont été réalisés par Éric Fouache, Kosmas Pavlopoulos et Jean-Philippe Goiran dans le cadre de la mission franco-libanaise: TYR1, TYR2, TYR3, TYR4, TYR5, TYR6 et TYR7. Le carottage TYR6, analysé dans le cadre de cette étude de master 2 (susceptibilité magnétique, Munsell, texture, microfaune), a permis de soulever des hypothèses de travail sur les évolutions paléogéographiques de l'île pré-hellénistique depuis le début de l'Holocène, et également concernant les emplacements de la chaussée d'Alexandre et les anciennes zones portuaires à l'est de la presqu'île.

Mots-clés : Tyr – Géoarchéologie – Carottage sédimentaire – Analyses géophysiques

Occupied since the Bronze Age, Tyre was originally made up of an island part called Tyr, and a mainland part, Palaeotyr. A large Phoenician foundation, Tyr is distinguished by its naval expertise and maritime power. Subjected to several historic seats, it nevertheless retained its independence until 332 BC, when it fell under the assault of Alexander the Great. This last battle saw the construction of the causeway that united it to the continent, called "Alexander the Great Causeway", set up using the debris of Palaeotyr. The location of the roadway, covered by the sands of a tombolo, remains hypothetical. Also covered by sand, the ports to the east of the island which must have linked it to the mainland are no longer visible. In October 2018, seven core samples were taken by Éric Fouache, Kosmas Pavlopoulos and Jean-Philippe Goiran as part of the Franco-Lebanese mission: TYR1, TYR2, TYR3, TYR4, TYR5, TYR6 and TYR7. The TYR6 coring, analyzed within the framework of this master (magnetic susceptibility, Munsell, texture, microfauna), made it possible to raise working hypotheses on the paleogeographic evolutions of the pre-Hellenistic island since the beginning of the Holocene, and also concerning the locations of the Alexander Road and the old port areas to the east of the peninsula.

Keywords: Tyre - Geoarchaeology - Sediment coring - Geophysical analyzes

