

Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité

123-1 | 2011 :
Mélanges

Géoarchéologie des ports de Claude et de Trajan, Portus, delta du Tibre¹

Geoarchaeology of the Claudian and Trajan ports at Portus, on the Tiber river delta

JEAN-PHILIPPE GOIRAN, FERRÉOL SALOMON, HERVÉ TRONCHÈRE, HATEM
DJERBI, PIERRE CARBONEL, CAROLE OGNARD ET CHRISTINE OBERLIN

p. 157-236

Résumés

Français English

Les recherches en géoarchéologie portuaire à Portus ont permis de faire progresser nos connaissances dans cinq domaines principaux. (1) Le port est bien muni de deux ouvertures : une principale à l'ouest et une secondaire au nord. Cette dernière possède un profil dissymétrique. (2) Le niveau marin antique a été découvert, sur les quais, sous la forme d'une ligne de coquillages fixés datée de 2115 ± 30 BP soit 230 à 450 ap. J.-C. Après cette période, la connexion entre la mer et les bassins était rendue difficile. (3) Cette ligne se situe 80 cm sous la ligne de coquillage actuelle et montre ainsi une hausse relative du niveau marin. (4) Grâce aux campagnes de carottages, les paléo profondeurs des bassins et des chenaux d'accès sont désormais bien connues. (5) Le port de Claude, exposé, s'ensable lentement alors que le port de Trajan, protégé, s'envase rapidement.

Geoarchaeological research at Portus has allowed us to improve our knowledge of this port in five main areas. (1) The harbour is equipped with two openings: the main one to the west and a second to the north. The latter has a shapeless outline. (2) The ancient sea level has been discovered along the quays, through a line of shellfish attached to them that date from 2115 ± 30 BP or AD 230 to 450. After this period connectivity between the sea and

the basins became difficult. (3) This line is located 80 cm under the present line of shellfish and thus shows a relative increase in the sea level. (4) Thanks to coring work, the paleo-depths of the basins and the access channels are now well known. (5) The exposed Claudian port underwent a gradual silting up while the protected Trajan port silted up rapidly.

Texte intégral

Introduction

- 1 Rome se dote d'un vaste port commercial au I^{er} s. ap. J.-C. Cette construction apparaît comme tardive par comparaison aux autres métropoles de Méditerranée. Ce port maritime, construit sous le règne de l'empereur Claude, est situé dans le delta du Tibre, à 25 km à l'ouest de Rome et à 3 km au nord d'Ostie (fig. 1 et 2). Bien qu'il s'agisse du plus grand port du monde romain antique, sa configuration est encore mal connue. Une approche pluridisciplinaire a été entreprise afin de connaître la géographie du paysage pré-portuaire, de comprendre la configuration des moles et de reconstituer une histoire du port à travers l'analyse des archives sédimentaires contenues dans ses bassins. Dans un contexte deltaïque, l'utilisation d'un carottier mécanique a été nécessaire afin d'obtenir une stratigraphie complète sur plusieurs siècles. Au-delà d'un renforcement de nos connaissances sur la configuration du bassin de Claude, ce travail devait permettre de répondre à des questions géoarchéologiques fondamentales. Pourquoi Trajan complète-t-il et modifie-t-il le dispositif initial en faisant construire un bassin hexagonal au II^e s. ap. J.-C. ? Les raisons qui ont pu pousser Trajan à construire ce second bassin, seulement 50 ans plus tard, sont encore l'objet de nombreuses discussions. Certains y voient l'effet d'un comblement rapide du bassin de Claude par les alluvions du Tibre². D'autres, en citant Tacite³, estiment que le port était trop exposé et ne jouait pas son rôle de protection des navires.
- 2 Mais nous souhaitons aussi aller au-delà d'une étude axée sur la nature et le rythme du comblement sédimentaire des bassins. Il apparaissait intéressant de réaliser, en parallèle, un travail novateur portant sur les profondeurs de fondation des moles. À ce travail sur les paléo-profondeurs des bassins et des môles, fut adjointe une étude visant à déterminer le niveau marin antique. Ce dernier devait avoir laissé sa trace sous la forme d'une ligne de coquillages fixée sur les moles. La mise en relation des données du fond marin portuaire (obtenues par l'étude stratigraphique des carottes) et la donnée du niveau marin biologique va permettre de calculer la profondeur précise des bassins. La bathymétrie portuaire servira, par la suite, à mener une réflexion sur les types de navires pouvant ou non accéder aux quais en fonction de leur tirant d'eau.
- 3 L'ensemble de ces jalons allait permettre de mieux définir le fonctionnement de trois ensembles constituant le Portus : le vaste bassin de Claude, le chenal d'accès à l'hexagone de Trajan et la *darsena*.
- 4 Dans ce travail, les auteurs ont souhaité publier l'ensemble des analyses réalisées en laboratoire à Lyon (plate-forme OMEAA : Observation et Mesure des Environnements Actuels et Anciens). Certains lecteurs pourront ainsi trouver quelques paragraphes trop analytiques alors que d'autres y obtiendront l'ensemble des données de base pour une réutilisation.

1. Contexte général de l'étude

1.1. Cadre géologique et géomorphologique du delta du Tibre

5 Le delta du Tibre s'étire le long de la côte tyrrhénienne (fig. 1), à l'ouest de Rome. Schématiquement, sa mise en place résulte du bilan entre les apports sédimentaires du Tibre et la force de l'érosion marine, processus qui ont été l'un après l'autre dominants au cours du temps. Depuis le XIX^e siècle, le delta du Tibre fait déjà l'objet de grandes discussions qui tentent de reconstruire l'histoire de cette plaine de niveau de base⁴. C'est aussi depuis cette époque que le delta, après une phase de progradation rapide du trait de côte, commence à s'éroder⁵. La seconde partie du XX^e siècle voit la réalisation d'études plus complètes pour comprendre ce changement et freiner le recul du trait de côte⁶. Ces études débouchent naturellement sur le problème de la durée de ces changements. On se devait ainsi de comprendre la genèse du delta : Dans quelles mesures le recul du trait de côte est-il un phénomène nouveau ? Quelles ont été les périodes de retrait et d'avancée de la plaine deltaïque ?

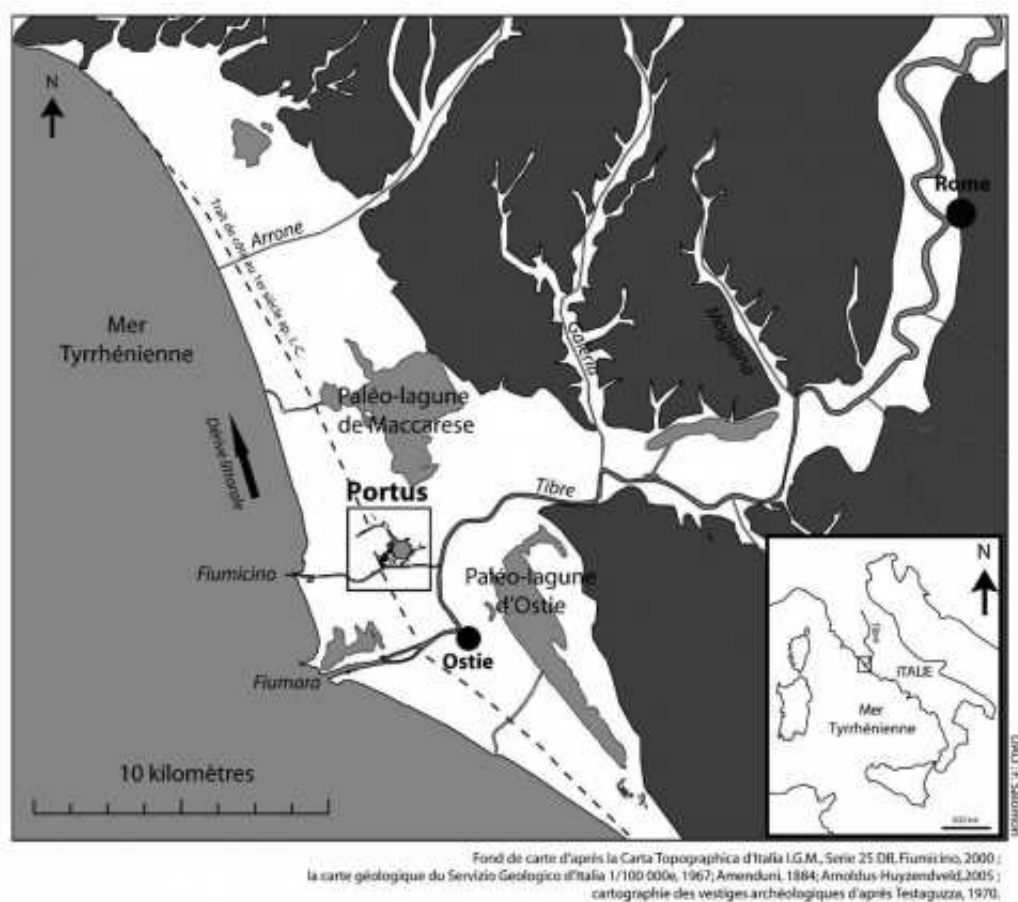


Fig. 1 – Portus au cœur du delta du Tibre – Carte de localisation générale.

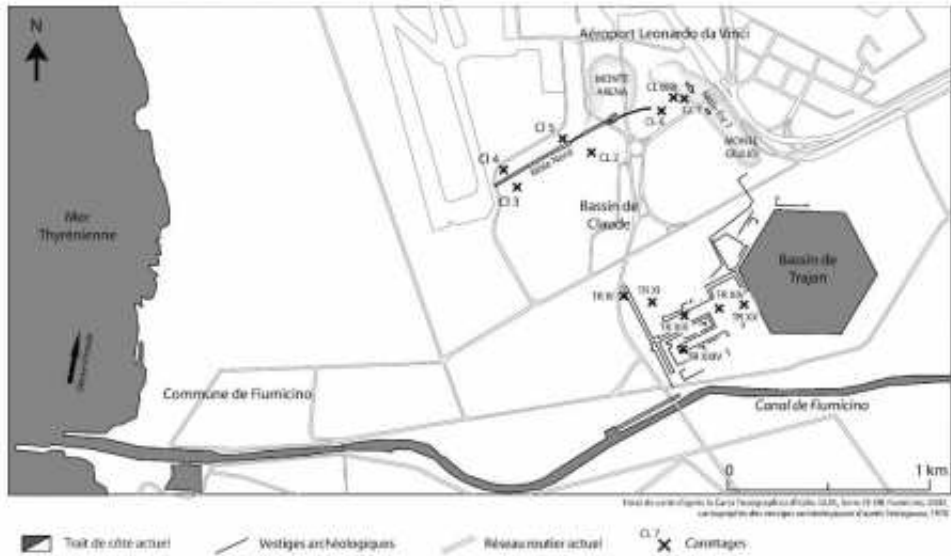


Fig. 2a – Localisation des carottages réalisés dans les ports de Claude et Trajan.

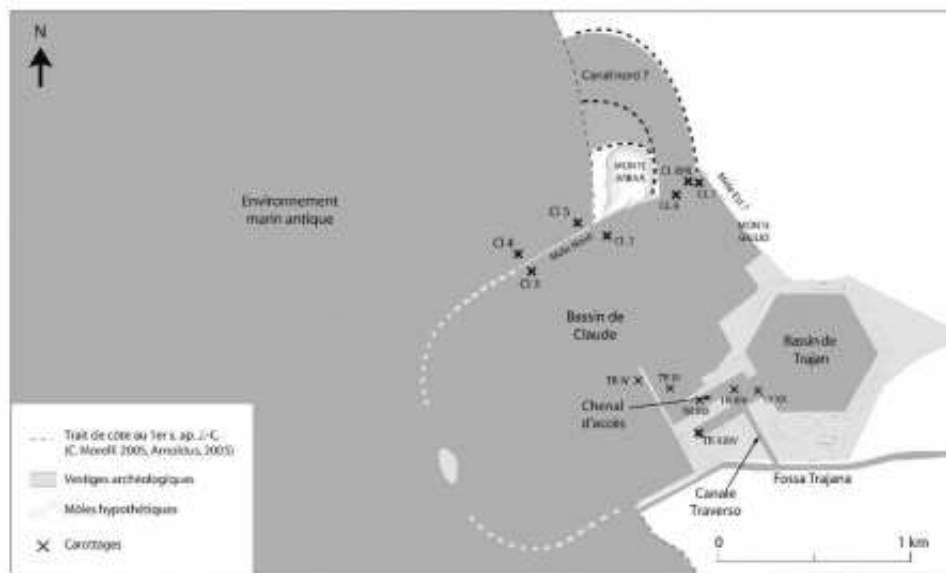


Fig. 2b – Reconstitution de la configuration des ports de Claude et Trajan et localisation des carottages.

- 6 Aujourd’hui la plaine deltaïque est très anthropisée du fait de l’accroissement de l’influence urbaine de Rome, de Fiumicino, Lido di Ostia... En filigrane de ce paysage apparaissent pourtant, encore bien visibles, les traces de l’histoire de l’évolution du delta. Il est classique de distinguer deux zones parallèles à la côte : l’une intérieure, à l’Est, l’autre en contact avec la mer, à l’Ouest.
- 7 Dans la partie la plus orientale, on peut observer d’anciennes terrasses fluviales de 3 à 12 mètres de haut. En contrebas, s’étend la plaine deltaïque interne, située à une altitude généralement proche du niveau marin. La partie externe, située à l’ouest, est en moyenne plus élevée topographiquement. En effet, ce secteur se caractérise plutôt par des cordons dunaires en accrétion qui s’étirent sur toute l’extension nord/sud du delta.
- 8 La forme lobée du delta se termine par l’embouchure du Tibre où se déversent dans la mer l’eau douce et les sédiments du fleuve. Le Fiumara est le chenal d’embouchure naturel du Tibre. Le Fiumicino est un autre chenal d’embouchure, mais il s’agit là probablement d’un canal creusé à l’origine par l’empereur Claude ou Trajan au début de notre ère pour créer un lien entre le Tibre, Portus et la mer. Le Fiumara et le Fiumicino se séparent en amont d’Ostia Antica en un lieu nommé Capo Due Rami et enserment un territoire appelé Isola Sacra. Au nord du

delta s'écoule aussi un fleuve, l'Arrone, très secondaire et d'un bien plus faible débit.

9 Cette description rapide du delta en différents secteurs qui se succèdent d'est en ouest, laisse grandement prévoir une succession temporelle. Il ne s'agit pourtant pas d'une simple progression. La seule lecture superficielle du paysage actuel masque la complexité de la mise en place de ce delta.

10 La construction de l'aéroport international de Rome dans les années 1960 a permis de donner un nouvel élan aux recherches géologiques et géomorphologiques sur le delta. Des carottages effectués sur de grandes profondeurs ont permis de révéler la mémoire sédimentaire de la plaine deltaïque. Des hypothèses plus solides sur sa formation ont été alors élaborées à partir de ces nouvelles données⁷.

11 Les terrasses de la partie interne du delta sont les vestiges d'un delta Pléistocène qui s'étendait jusqu'à 10 km à l'ouest du trait de côte actuel⁸. Le niveau de la mer était beaucoup plus bas qu'aujourd'hui. Le fleuve devait s'écouler depuis la vallée du Tibre en passant sous l'aéroport actuel Leonardo da Vinci. Il était peut-être rejoint à ce même endroit par un affluent provenant du sud⁹. Il s'agit là du paysage potentiel précédant de peu le maximum glaciaire du Würm daté vers 17000 BP.

12 À partir de 17000 BP, le niveau de la mer augmente rapidement. Le climat du globe se réchauffe et libère de grandes quantités d'eau qui était alors prisonnières des glaciers polaires.

13 Entre 17000 et 9000 BP, on assiste à une transgression marine. La mer avance sur le delta Pléistocène malgré d'importants apports sédimentaires du Tibre. La hausse du niveau marin commence à ralentir vers 9000 BP¹⁰.

14 Cette période de transgression marine engendre une importante ingression d'eau marine dans le chenal du Tibre qui était alors très incisé. L'embouchure du Tibre migre avec le trait de côte de plus en plus vers l'est. Au fur et à mesure, une baie de fond de delta se développe. Selon Bellotti¹¹, le cours d'eau tributaire potentiel venant du sud cesse progressivement de s'écouler (13000-11000 BP).

15 Vers 9000 BP, le Tibre commence à prograder¹². En effet, l'élévation du niveau de la mer est compensée par les apports sédimentaires du Tibre. Durant cette période d'inversion des dynamiques, des cordons sableux et des barres littorales se mettent en place permettant le développement de marais qui deviendront par la suite des lagunes.

16 Vers 7000 BP, la vitesse de montée du niveau marin ralentit¹³. Les barres littorales se renforcent par les apports sédimentaires du Tibre et les lagunes se séparent de leur communication avec la mer pour former de longs lacs côtiers au nord et au Sud du Tibre¹⁴.

17 C'est avec cette progradation rapide que se met en place le delta en forme lobée vers 5000-4500 BP¹⁵. Le niveau de lacs côtiers augmente avec les apports d'eau douce des versants, à l'est¹⁶.

18 Le lac de Maccarese semble ensuite s'assécher par étapes en 1000 av. JC et vers le tournant de notre ère. Puis, au fur et à mesure, les lacs côtiers entrent en connexion avec la mer et redeviennent des lagunes : les lagunes de Maccarese et d'Ostie (situées respectivement au nord et au sud du Tibre).

19 Pendant les derniers 2000 ans, ont été enregistrées une phase de progradation à la fin de l'Antiquité, puis une phase minime d'érosion pendant la période médiévale¹⁷. À partir du 16^e siècle, le delta prograde très rapidement jusqu'au 19^e siècle. Cette progradation en temps historique est très lisible par l'étude des tours d'observation construites aux abords des traits de côtes successifs¹⁸.

20 Les lagunes, si importantes dans l'histoire de la dynamique du delta et pour la restitution du paysage Antique, ne sont aujourd'hui plus visibles. Le secteur interne de la plaine deltaïque que nous avons dit peu élevé altimétriquement, est

justement le vestige de ces lagunes côtières qui ont été bonifiées au ^{xix}e et ^{xx}e siècle pour résoudre le problème du paludisme.

1.2. Cadre historique et archéologique

²¹ La construction du bassin de Trajan au début du ⁱⁱe siècle ap. J.-C. est considéré comme un aboutissement, la solution à tous les problèmes qu'à rencontré jusqu'à cette période Rome pour se doter d'un grand port à la hauteur de ses besoins. Au ⁱer siècle av. J.-C., Rome est la plus grande ville de l'Antiquité et avoisine un million d'habitants. Pour nourrir cette population, des navires de fort tonnage effectuent des liaisons entre l'Égypte et Pouzzoles, 200 km au sud de Rome. Depuis le ⁱⁱe s. av. J.-C., Pouzzoles est le grand port d'Italie capable de recevoir les plus gros navires¹⁹. Les conditions topographiques de cette rade sont en effet plus propices que le delta du Tibre à l'installation d'un port assez profond et sûr. Les marchandises sont donc déchargées à Pouzzoles pour être ensuite conduites à Rome soit par route, soit sur de petits bateaux longeant la côte jusqu'à Ostie et empruntant le Tibre.

²² Ostie est aussi dotée d'un port, mais ne peut pas recevoir les navires à fort tirant d'eau. Le sable charrié par le fleuve se dépose sous forme de barres sableuses à l'embouchure, empêchant de nombreux navires d'accoster²⁰. Ainsi, le rôle de grand port de Rome qui aurait dû revenir à Ostie fut-il attribué à Pouzzoles.

²³ La construction d'un port dans le delta du Tibre revêt des enjeux économiques et politiques fondamentaux pour Rome. À la fin du ⁱer s. av. J.-C., le système portuaire Pouzzoles-Ostie-Rome ne suffit plus et a besoin d'être complété. En 42 ap. J.-C., l'empereur Claude commence la construction d'un port au nord d'Ostie. Cette entreprise est perçue par ses contemporains comme une erreur trop coûteuse, mais est néanmoins engagée après qu'une grande famine soit survenue à Rome²¹. Le projet était très ambitieux, mais la construction a tout de même abouti. C'est sous l'empereur Néron, en 64 ap. J.-C., que le port est inauguré. Une pièce est frappée pour cet événement²².

²⁴ Durant son règne, Néron engage aussi le creusement d'un canal navigable entre Pouzzoles et Rome, canal qui ne sera jamais terminé. Il semble qu'il ait été une solution à l'approvisionnement de Rome déjà envisagée par César un siècle plus tôt. Ce projet reste encore énigmatique dans son objectif. Était-ce seulement un aménagement d'appoint pour faire fonctionner la façade maritime de Rome intégrant Pouzzoles, Ostie et le port de Claude ? Ou bien les espoirs portés par ce nouveau port dans le delta du Tibre se seraient-ils amoindris, conduisant Néron à envisager des alternatives ? Le port de Claude semble pour certains avoir posé le problème d'un ensablement rapide²³. De plus, en 62 ap. J.-C., une tempête détruit 200 bateaux au sein du port qui n'était donc pas une rade paisible²⁴.

²⁵ Le projet de Néron une fois abandonné, Trajan fait construire un second bassin de forme hexagonale en connexion avec le bassin de Claude. Le port d'origine de Claude se trouve ainsi repensé dans un programme plus complexe et subit des réorganisations. Les successeurs de Trajan effectueront seulement des modifications mineures notamment sous Hadrien²⁵.

²⁶ La plupart des structures portuaires de Portus sont aujourd'hui invisibles. Les sédiments du Tibre ont recouvert les vestiges de sorte que l'on ne peut plus restituer la configuration exacte du port. Les anciennes gravures ou fresques de ce secteur, réalisées depuis la Renaissance, sont cependant d'une aide précieuse. Elles nous donnent à voir en d'autres temps des vestiges qui étaient en meilleur état qu'aujourd'hui et pas encore recouverts par les sédiments²⁶(fig. 3, 4a et 4b). Les recherches archéologiques²⁷et paléoenvironnementales²⁸nous ont permis de lever certaines zones d'ombre mais sans toutefois clore le débat.

1.3. Apport des sources textuelles à la connaissance des ports de Claude et Traja

27 Cinq textes font référence à la configuration des moles du bassin de Claude. Il s'agit des seuls textes qui renseignent sur cette question durant l'Antiquité romaine. Le corpus concerne des auteurs du 1^{er} siècle ap. J.-C. comme Pline (23/24-79 ap. J.-C.), du 1^{er} au 11^e siècle tel Juvénal (55 – 128 (?) ap. J.-C) et Suétone (70-128 ap. J.-C) et du 11^e-111^e siècle comme Dion Cassius (env. 155-env. 235 ap. J.-C). Il est important de noter que seul Pline est contemporain de la construction du port de Claude.

28 Le texte de Dion Cassius²⁹ doit être pris avec précaution car il est le plus tardif :

Claude, comprenant ces difficultés, entreprit de construire un port, sans se laisser détourner de son projet par les architectes, qui, lorsqu'il leur demanda à combien monterait la dépense, lui répondirent : « Tu ne le fera pas », tant ils espéraient, par la grandeur de la dépense, s'il en était informé à l'avance, le forcer de renoncer à son dessein ; mais bien loin de là, il crut la chose digne de la majesté et de la grandeur de Rome, et il la mena à son terme. Il creusa bien avant le rivage un espace qu'il garnit de quais, et y fit entrer la mer ; puis il jeta de chaque côté dans les flots des môles immenses, dont il entoura une grande portion de mer et y fit une île où il bâtit une tour portant des fanaux. Le port, qui aujourd'hui conserve ce nom dans la langue du pays, fut alors construit par lui.

29 Dion Cassius nous transmet l'image d'un projet démesuré. L'auteur joue sur l'image d'un peuple qui transgresse les limites du possible pour construire au-delà de la ligne de côte et accueillir la mer Méditerranée. L'idéologie marque fortement ce texte.

30 D'un côté plus pratique on remarque que cet extrait ne fait pas mention d'une lagune qui aurait préexisté à la construction et aurait déterminé sa configuration. Le port va « bien avant dans le rivage » et « entoure une grande portion de mer », sans qu'il nous soit possible de localiser le port par rapport au rivage – complètement dans les terres ou au large ? Il ne s'intéresse pas non plus à une description précise des structures. On sait seulement que deux môles sont construits, « de chaque côté ». Cette description ne nous laisse pas imaginer une seconde entrée. Dion Cassius mentionne par contre une tour, le phare, sur une île impossible à localiser.

31 Le texte de Juvénal³⁰ est tout aussi glorifiant pour Rome face à la nature :

Enfin il pénètre derrière le môle jeté à travers les flots prisonniers, et sous le phare tyrrhénien, et entre les bras qui, s'allongeant, puis se repliant, vont au-devant de la haute mer et laissent loin l'Italie. Oui, les ports qu'a créés la nature méritent moins d'admiration. Mais, avec son vaisseau mutilé, le patron gagne le bassin intérieur, mouillage sûr où une chaloupe de Baïes pourrait naviguer. Là en de longs bavardages, les matelots, la tête rasée prennent plaisir, dans la sécurité, à faire le récit de leurs périls.



Fig. 4b – Fresque de Danti – Reconstitution de Portus, 1582.

32 Juvénal décrit le port du point de vue du bateau y pénétrant. Il donne plus de précision que Dion Cassius quand à la localisation et l'organisation des différentes structures, mais la traduction reste difficile. L'« île » où se trouverait le phare, pourrait être un môle, la description n'est pas claire.

33 Ce texte décrit par contre deux moles se repliant sur eux même. L'orientation du port serait plutôt vers l'Ouest : les bras du mole « laissent loin l'Italie ». Une entrée unique à proximité du phare ressort donc des écrits de Juvénal.

34 Suétone³¹a une vision très claire :

Claude créa le port d'Ostie en faisant construire deux jetées en arc de cercle à droite et à gauche, et, dans des eaux déjà profondes, un môle pour barrer l'entrée ; pour asseoir ce môle plus solidement, on commença par couler le navire qui avait amené d'Egypte le grand obélisque ; là-dessus, on construisit une foule de piliers supportant une tour très haute, destinée comme celle du Phare d'Alexandrie, à éclairer de ses feux, pendant la nuit, la route des navires.

35 Suétone décrit le port depuis la terre ferme d'une manière très synthétique. Il atteste avec plus de certitude la présence de deux môles englobants. Le môle en travers de l'entrée est clairement celui du phare, il est réalisé sur le bateau de l'obélisque apporté à Rome sous Caligula. On voit bien ici que les termes d'« île » et de « mole » ne sont pas à opposer. Ce qui fait de ce môle central une île, c'est son absence de connexion avec le rivage. Dans ce texte les deux théories des ouvertures nord et ouest se trouvent satisfaites. En effet, si on sait que Suétone est sur la terre ferme, on ne sait pas s'il est au Sud et regarde au Nord, ou à l'Est se tournant à l'Ouest. L'espace qui nous est transmis est difficilement orientable. La position du môle en travers de l'entrée dans les eaux « profondes » pourrait faire basculer le choix en faveur d'une seule entrée plein ouest, mais l'adverbe « déjà » relativise la profondeur et pourrait faire penser à une passe au Nord plus proche du rivage.

36 Le texte de Pline³²fait une description du port par le biais du navire de Caligula :

On n'a certainement rien vu sur mer de plus admirable que le navire qui amena d'Egypte, par ordre de l'empereur Caligula, l'obélisque dressé dans le cirque du Vatican et les quatre dés de la même pierre destinés à le porter : 130000 boisseaux de lentilles lui servirent de lest. Il occupait dans sa longueur une grande partie du côté gauche du port d'Ostie. Il y fut en effet coulé sous principat de Claude avec trois môles hauts comme des tours

élevés en pouzzolane au passage [Pouzzoles] et ramenés par ce navire.

37 La lecture de Pline est instructive car elle permet de saisir ce qui fait de l'île du phare un môle. C'est en effet la longueur du bateau coulé pour les fondations qui allonge l'île. Pline remet aussi en question la cohérence et l'organisation symétrique du port de Suétone. Une imprécision demeure dans le texte : y a-t-il trois môles et le phare ou trois môles dont le phare sur l'un d'eux ? La question de la définition d'un môle se pose de nouveau mais en d'autres termes. Le terme de môle (bras dans la mer qui stoppe les vagues), peut-il être confondu avec celui de digue protectrice du rivage ?

38 Enfin nous terminerons par un texte de Pline³³ qui décrit événement qui se produit sous ses yeux :

On vit même dans le port d'Ostie l'attaque d'une orque par l'empereur Claude : elle était venue, lorsqu'il faisait construire le port, attirée par le naufrage d'une cargaison de peaux importées de Gaule et, se rassasiant pendant plusieurs jours, elle s'était creusée un lit dans le fond ; les flots l'avaient entourée d'un tel amas de sable qu'elle était incapable de faire demi-tour, et tandis qu'elle pourchassait la graisse que les flots poussaient à la côte, son dos émergeait bien au-dessus des eaux, semblable à une quille renversée. L'empereur fit tendre plusieurs barrages de filets dans les passes du port, et, partit lui-même avec les cohortes prétoriennes, il offrit au peuple romain ce spectacle : des coups de lance étaient portés par les soldats du haut des navires assaillants, et nous vîmes l'un d'eux sombrer, rempli d'eau par le souffle de la bête.

39 Dans ce passage, Pline ne mentionne plus seulement les môles mais aborde la question des passes, plusieurs étant effectivement mentionnées. Y en a-t-il une au nord et une à l'ouest ? Rien ne permet de l'affirmer. Il semble vraisemblable qu'il y en a au moins une à l'ouest, probablement l'entrée principale. En effet, les flots sont poussés vers la côte, ce qui sous-entend cette orientation.

40 Les descriptions antiques qui nous sont données du bassin de Claude ne sont donc pas assez précises pour nous. Fausto Zevi³⁴ participe à la remise en question du rôle que joue *Portus* pour Rome au premier siècle. Le port en tant qu'unique « porte de Rome » est une conception qui ne s'applique pas à la réalité fonctionnelle de l'approvisionnement de Rome. Au premier siècle Pouzzoles concentre encore l'arrivée des bateaux chargés de blé venu d'Égypte. Le système antérieur à la construction du port de Claude subsiste. Pour Zevi³⁵ l'objectif fonctionnel de *Portus* est aussi à relativiser dans la mesure où il ne serait qu'un dispositif d'appoint. C'est ainsi par exemple que Néron commença la construction d'un canal qui devait faciliter les transferts de marchandises entre Pouzzoles et Rome. Au deuxième siècle, le port de Trajan est plus ambitieux, et *Portus* devient vraiment la proue du système. Mais Pouzzoles n'est pas totalement écarté même si son port a perdu en importance. *Portus* devient pourtant dans les esprits l'unique port de Rome.

41 Il est intéressant maintenant de prendre la même démarche et de l'appliquer à nos sources antiques. Les textes nous font d'avantage pencher en faveur d'une ouverture du port à l'Ouest, mais cette réalité est le résultat d'une simplification. Si l'ouverture du port à l'Ouest est maintenant difficile à démentir, rien n'exclut une passe secondaire au Nord. Il est possible que fonctionnellement les deux entrées soient regroupées dans les descriptions et qu'il ne soit fait état que d'une ouverture « vers le large ». Les textes de Pline nous font en tout cas pencher pour cette hypothèse. La primauté fonctionnelle a ainsi pu constituer la base de la plupart des représentations de l'espace dans nos sources. Il est aussi possible que la configuration du port ait évolué entre les moments où les auteurs s'expriment.

2. Méthodologie et terminologie dans l'étude géoarchéologique des ports.

42 En milieu deltaïque, la nappe phréatique se situe à une faible profondeur. Il est impossible d'effectuer des sondages archéologiques sans tomber rapidement sur cette nappe d'eau qui est contraignante pour le travail des archéologues et des paléoenvironmentalistes. Les lectures stratigraphiques correctes sont rendues difficiles et il est compliqué d'atteindre le niveau de fondation des différentes structures. L'utilisation de parois moulées est la solution idéale pour pallier ce problème, mais le prix d'une telle installation est très élevé. Nous avons donc opté pour l'utilisation d'un carottier mécanique rotatif. Cette technique permet à la fois d'extraire de profondes séquences stratigraphiques et d'obtenir ces informations en de multiples points. Une large répartition de ces points de carottages permet d'obtenir une vision plus générale d'un secteur qu'un sondage classique (fig. 2). Pour cette étude, la mission de carottage s'est effectuée à l'échelle des deux ports antiques des empereurs Claude et Trajan. L'approche géoarchéologique permet, dans un cadre pluridisciplinaire, une meilleure compréhension des paléoenvironnements littoraux, des processus morphodynamiques côtiers, ainsi que des logiques d'organisation de l'espace portuaire antique³⁶(fig. 5).

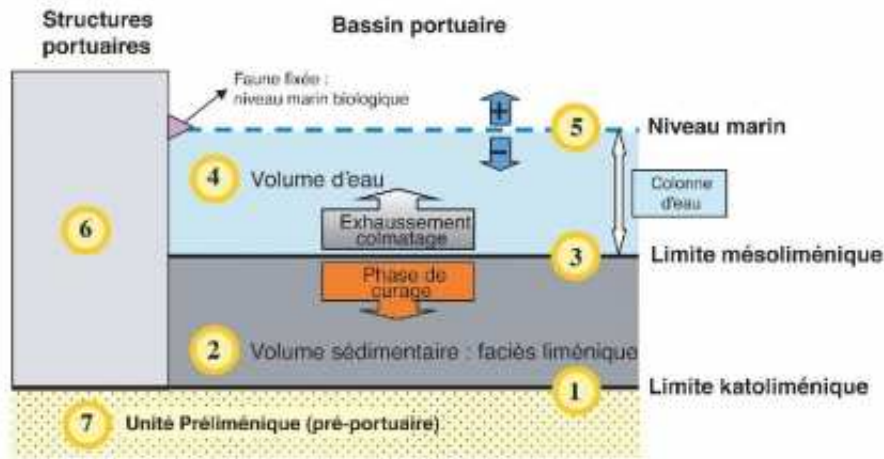
2.1. Fonctionnement d'un système portuaire type : la notion de fond marin et de niveau marin

43 Un port en fonction se définit par deux éléments. Le premier élément est le contenant, c'est-à-dire les structures portuaires, qui encadre le second élément qualifié de contenu (fig. 5a). Ce dernier se subdivise en un volume d'eau et en un volume de sédiment³⁷.

44 Lors de sa construction, le port se met en place au dessus de sédiments qualifiés de préportuaires, souvent de texture grossière. Le contact entre les sédiments préportuaires et les sédiments vaseux piégés dans le bassin portuaire définit la limite katoliménique (fig. 5a). Ce terme grec de « katos » est utilisé avec l'idée de couper ou de rupture et le terme de « limen » qui signifie port. La limite katoliménique se marque au niveau sédimentaire par une rupture nette du grossier au fin. Elle indique le moment où le port est en fonction et s'apparente au niveau de fondation.

45 Au cours du temps, les sédiments fins se déposent dans le bassin portuaire et l'on assiste à l'accrétion du fond marin portuaire. La limite mésoliménique définit ce fond marin en accrétion dans le bassin. Lors de la fondation du port, la limite mésoliménique coïncide avec la limite katoliménique. Puis, avec l'exhaussement du fond marin portuaire, la limite mésoliménique se retrouve comprise entre la limite katoliménique et le niveau marin (fig. 5a). D'où l'utilisation du terme grec « mesos » signifiant milieu.

46 Deux volumes composent alors le bassin portuaire. Le premier est un volume de sédiment (le faciès liménique) dont l'épaisseur correspond la différence entre la limite katoliménique et la limite mésoliménique. Le second est un volume d'eau dont l'épaisseur (colonne d'eau) correspond à la différence entre le niveau marin et la limite mésoliménique³⁸(fig. 5a).



Le contenant

6 Structures portuaires (môles, quais...)

Un double contenu

2 Volume sédimentaire composé de vases portuaires

4 Volume d'eau

Les 3 limites

1 Limite katoliménique : date de fondation du port limite inférieure de la séquence de vases portuaires

3 Limite mésoliménique : fond marin en accrétion limite supérieure de la séquence de vases portuaires

5 Niveau marin biologique

Fig. 5a – Coupe théorique d'un bassin portuaire antique en activité.

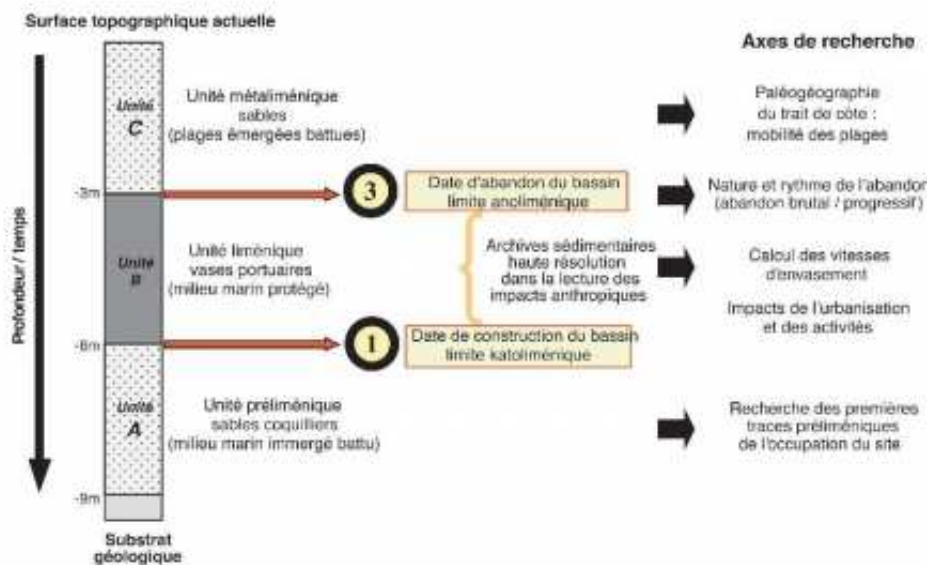


Fig. 5b – Trois faciès classiques observés par carottages dans un bassin portuaire colmaté.

47 La position du niveau marin se marque sur les quais par la présence de faunes fixées (balanes, huitres, vermet...). La mesure du peuplement supérieur de ces faunes détermine le niveau marin biologique qui peut être daté par la méthode du radiocarbone. Un des chapitres qui va suivre développe ce concept du niveau marin biologique antique.

48 Pour obtenir des informations d'ordre paléobathymétriques, un carottage doit être réalisé dans le bassin portuaire afin de permettre l'étude du volume sédimentaire. Il est alors nécessaire de retrouver, dans ces archives sédimentaires, la position de la limite mésoliménique (ou fond marin portuaire) contemporaine du niveau marin biologique (fig. 5b). La différence altimétrique entre le niveau marin et la limite mésoliménique correspond à la hauteur de colonne d'eau dans les bassins (fig. 5a). Cette dernière peut être mise en relation avec les tirants d'eau des bateaux pour en déduire les types de navires pouvant accéder aux quais.

2.2 Texture et granulométrie en voie humide.

49 Les analyses texturales et granulométriques sont les travaux essentiels et incontournables pour l'étude d'un carottage (Fig. 6). Ces analyses permettent de comprendre la façon dont le sédiment est trié et la proportion des différentes fractions qui le composent. Chaque carotte, d'environ 10 mètres chacune, est préalablement divisée en de multiples échantillons de quelques centimètres d'épaisseur. Toute la carotte est ainsi découpée selon un pas d'échantillonnage à la fois régulier et attentif aux différents faciès sédimentaires repérés. Chaque échantillon est ensuite tamisé manuellement par voie humide. L'analyse texturale procède de la séparation des particules supérieures à 2 mm, appelée fraction grossière, des particules entre 63 µm et 2 mm, qui constituent les sables, et enfin des particules inférieures à 63 µm, c'est-à-dire les limons et argiles.

50 Le sédiment destiné à analyse est un prélèvement homogène de quelques décigrammes (60 g) issue de la totalité de l'échantillon. Ce sédiment est ensuite placé en étuve pour être séché. Une fois sec, le sédiment brut est pesé puis tamisé par voie humide en utilisant des tamis avec des mailles de 2 mm et 63 µm. Les refus de tamis sont conservés. Les limons et argiles sont évacués lors du tamisage. La fraction grossière et les sables sont mis à sécher séparément dans une étuve, à 40° C, avant d'être pesés. Ensuite sont déterminées les parts respectives de la fraction grossière (> 2 mm) et sableuse (comprise entre [63 µm et 2 mm]) par rapport au poids total du sédiment brut sec. Le poids restant représente, quant à lui, la part des limons et argiles (< 63 µm). L'analyse texturale est réalisée sur presque l'ensemble des carottes présentées dans cette synthèse.

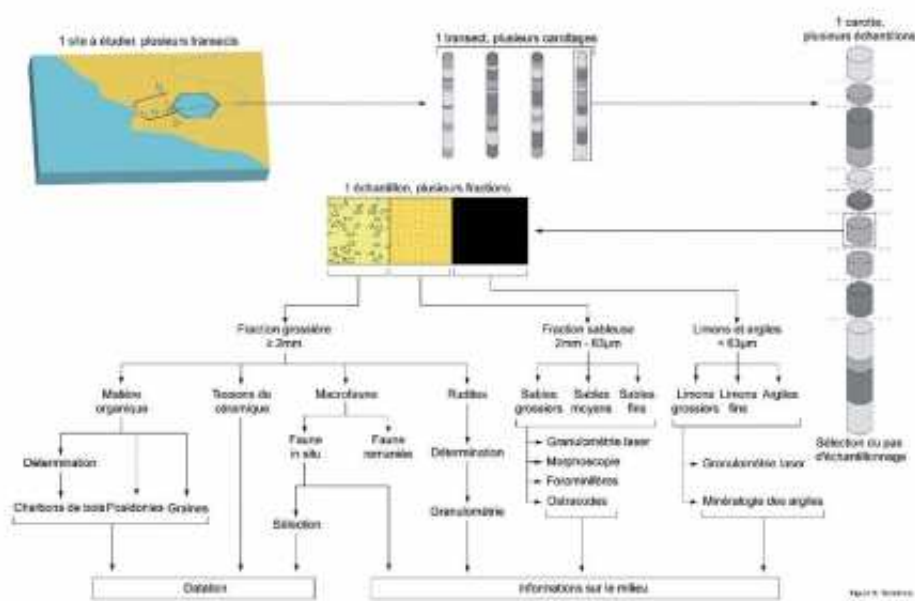


Fig. 6 – Méthodologie développée du terrain au laboratoire.

51 Pour les analyses granulométriques, nous nous sommes concentrés sur l'étude de la fraction sableuse. Selon le protocole suivi, les échantillons sableux sont soumis à la destruction de la matière organique avec de l'eau oxygénée (H₂O₂) dans un bain thermostaté pour que l'échantillon soit uniquement minéral. Trois attaques au H₂O₂ sont faites à 50 vol. et une attaque est faite à 110 vol. (à 75° C). Le nombre d'attaques peut varier pour chaque échantillon selon sa teneur en matière organique (le volume du tube est rempli avec 40 ml d'H₂O). Le sédiment est ensuite lavé à l'eau distillée pour évacuer l'eau oxygénée. L'échantillon est centrifugé puis le surnageant est siphonné.

52 La seconde étape est l'élimination des ions flocculants (Ca²⁺) pour éviter les erreurs sur la taille des particules. Cette étape est nommée « défloculation ». Elle se réalise avec du chlorure de potassium (pour les échantillons calcaires).

L'échantillon de quelques milligrammes de sables dans un tube fermé est complété jusqu'à 50 ml avec du chlorure de potassium (KCl) 0,1mole. L'échantillon est ensuite agité 10 minutes avant d'être centrifugé de 10 à 50 minutes selon les sédiments. Le surnageant est siphonné. Cette manipulation est répétée une seconde fois avec du chlorure de potassium 0,02 mole. Le surnageant n'est pas éliminé aussitôt à la suite de cette deuxième manipulation. Il est préalablement testé à l'oxalate d'ammonium. Si un précipité blanc se forme, la défloculation n'est pas complète. Il faut relancer un traitement au chlorure de potassium jusqu'à ce que le test soit négatif. Au final, il faut laver l'échantillon à l'eau distillée.

53 Le lavage se réalise avec un ajustement à 50 ml en eau déminéralisée. L'échantillon est agité 10 minutes, centrifugé puis le surnageant est siphonné. La manipulation est réalisée jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de chlore (test au nitrate d'argent qui précipite en présence de chlore). En général on réalise deux lavages.

54 Pour préserver l'échantillon dispersé lors du conditionnement, on fait baigner les échantillons dans de l'hexamétaphosphate de sodium 0,55 %.

55 Le microgranulomètre laser Malvern Mastersizer Hydro 2000 permet enfin de mesurer les particules par voie humide et nous fournit une courbe de distribution avec les classes granulométriques en abscisse et leur représentation en pourcentage par rapport à l'ensemble de l'échantillon en ordonnée. À partir de cette base de données il est possible de calculer les indices de tri³⁹.

2.3 L'intérêt de la microfaune et de la macrofaune dans la reconstitution des paléoenvironnement

56 L'étude des indicateurs biologiques est fondée sur la démarche actualiste qui consiste à émettre l'hypothèse que l'écologie des faunes étudiées n'a pas changé au cours de l'Holocène⁴⁰. En appliquant ce principe, il est possible d'utiliser la macrofaune et la microfaune dans la reconstitution des paléoenvironnements.

2.3.1 La macrofaune

57 La méthodologie repose donc sur l'analyse comparée des assemblages macrofaunistiques fossiles antiques et des assemblages actuels⁴¹. Elle s'appuie sur les peuplements biocénétiques des écosystèmes actuels en Méditerranée⁴². Les assemblages macrofaunistiques permettent de mettre en évidence la construction d'un bassin portuaire par un changement des paramètres du milieu à la fois qualitatif et quantitatif. Dans le domaine portuaire, toutes les biocénoses macrofaunistiques décrites par Péres⁴³, Péres et Picard⁴⁴ et Bellan Santini⁴⁵ ne se développent pas. Ainsi nous ne décrivons que les biocénoses qui peuvent se développer dans un contexte portuaire et celles qui se développent en périphérie des structures portuaires antiques. Les biocénoses portuaires et avoisinantes se développent essentiellement dans les étages médiolittoral (essentiellement les biocénoses avoisinantes) et infralittoral. L'étage médiolittoral est une zone où les peuplements nécessitent, pour se développer ou se maintenir, des émergences variables selon les taxons tout en ne supportant pas une immersion continue ou très prolongée⁴⁶. En Méditerranée, il se limite vers le haut par le niveau le plus élevé des immersions et vers le bas par le niveau des émergences. L'infralittoral est l'étage où la vie marine est la plus riche, les peuplements benthiques y sont nombreux et très diversifiés. La raison de cette exubérance est un éclaircissement et

une production primaire maxima⁴⁷. La houle et l'hydrodynamisme font évoluer la limite supérieure, tandis que les pollutions, la turbidité et les fluctuations d'éclairement font remonter la limite inférieure. Cette dernière est celle où s'arrête le développement des Zostéracées (Herbiers à posidonies *Posidonia oceanica*) ou des algues photophiles. Cette limite se situe entre 15 et 20 m aux hautes latitudes, entre 30 et 40 m en Méditerranée⁴⁸. Dans l'étage médiolittoral :

Sur substrat dur, deux biocénoses sont susceptibles de se développer dans un écosystème portuaire :

- La biocénose de la roche médiolittorale supérieure (RMS)
- La biocénose de la roche médiolittorale inférieure (RMI)

Sur substrat meuble, deux biocénoses sont compatibles avec les écosystèmes portuaires :

- La biocénose des sables médiolittoraux (SM) caractéristiques des plages.
- La biocénose des peuplements des sables vaseux et vases des lagunes et estuaires (SVLE).

58 La bathymétrie des biocénoses infralittorales s'organise ainsi (Fig. 7 et 8) :

59 Du haut de l'étage infralittoral jusqu'à environ 2,50 m de profondeur se développe la biocénose des sables fins de hauts niveaux (SFHN). Au-dessous de ces hauts niveaux et jusqu'à 20 m de profondeur, on rencontre la biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC). Elle est associée à un sédiment sableux granulométriquement bien classé. Ces fonds marins sont limités vers le bas par la biocénose des herbiers à posidonies (HP), celle des fonds détritiques côtiers (DC) ou celle des sables grossiers et fins graviers sous l'influence des courants de fond (SGCF). La biocénose SGCF peut débuter vers le milieu de l'étage infralittoral et s'étendre jusqu'au domaine circalittoral. Enfin, le bas de l'infralittoral et le sommet du circalittoral correspondent à la biocénose du détritique côtier. Le sédiment est essentiellement constitué de graviers organogènes résultant de la destruction des tests calcaires des organismes et accumulés par le jeu des courants⁴⁹

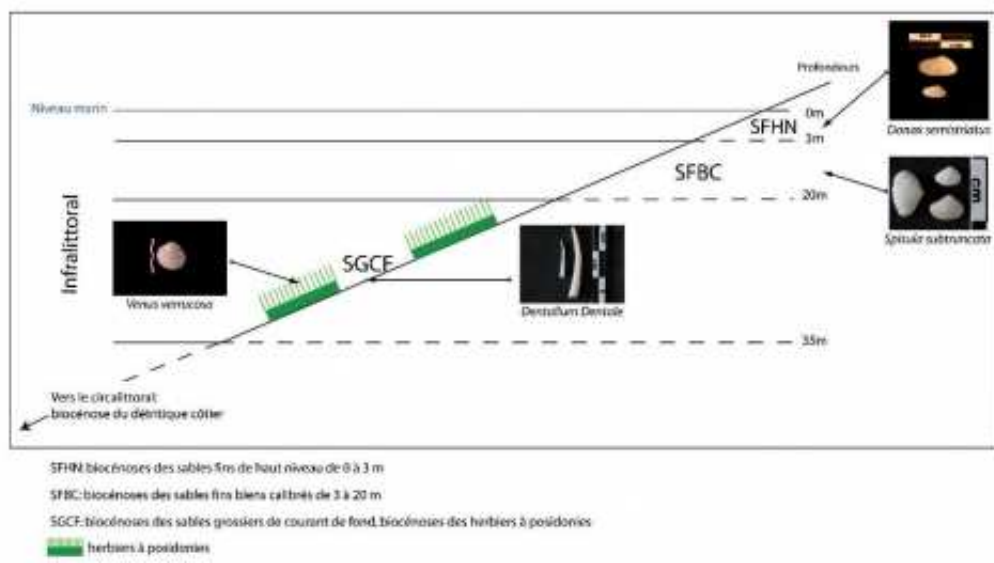


Fig. 7 – Etagement des biocénoses littorales et distribution du benthos méditerranéen.

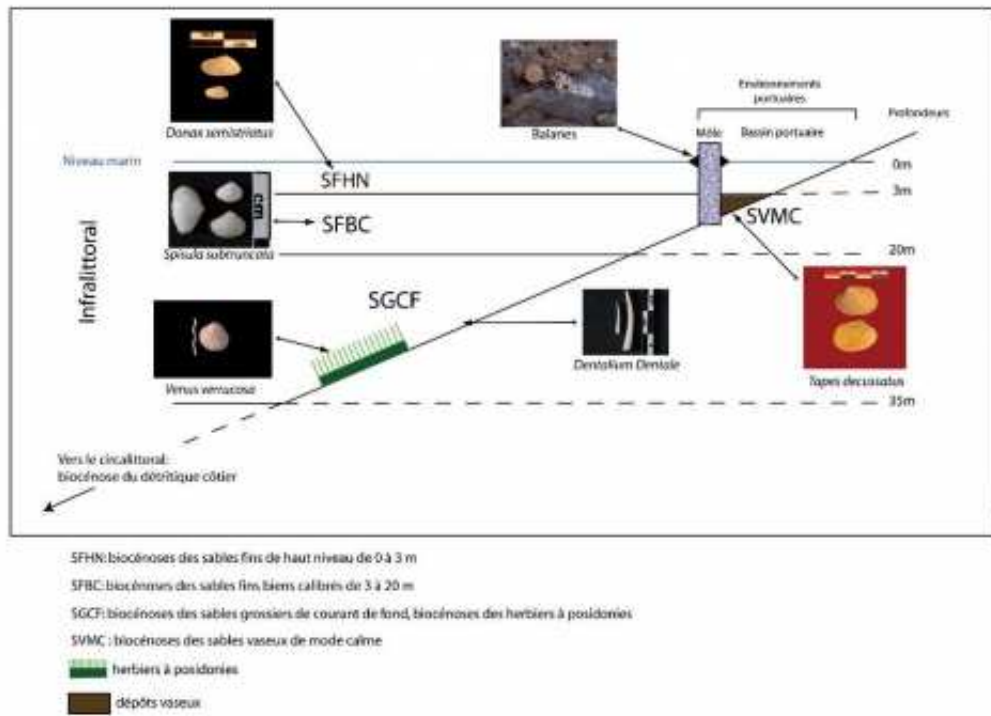


Fig. 8 – Etagement des biocénoses portuaires et distribution du benthos méditerranéen.

2.3.1.1 La biocénose des sables fins de hauts niveaux (SFHN)

60 La biocénose des sables fins de hauts niveaux (SFHN) se développe du haut de l'étage infralittoral jusqu'à environ 2,50 m de profondeur. Le sédiment sableux rassemble deux stocks de coquillages : l'un en place, l'autre composé de coquilles mortes issues de divers biotopes et en transit sur le fond. Dans ce contexte, nous avons séparé la biocénose en place du stock remanié. Les espèces exclusives de cette biocénose sont les suivantes : les pélecypodes *Donax semistriatus*, *D. trunculus*, *Tellina tenuis*, *Lentidium mediterraneum* et le gastéropode *Cyclope donavani*. Le pélecypode *Venus gallina* est commun à la biocénose des SFHN et à celle sables fins bien calibrés (SFBC)⁵⁰.

2.3.1.2 La biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)

61 La biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC) se rencontre au-dessous des hauts niveaux jusqu'à 20 m de profondeur ; elle est limitée vers le bas par la biocénose des herbiers à posidonies. Son sédiment est un sable fin d'un calibre homogène, d'origine terrigène, qui peut être légèrement vaseux. C'est une biocénose dont le peuplement tolère éventuellement une légère dessalure au voisinage d'un estuaire, ce qui entraîne un appauvrissement en espèces caractéristiques. Cet appauvrissement est compensé par l'apparition de certaines espèces accompagnatrices euryhalines. C'est une biocénose remarquable car elle occupe généralement une superficie très étendue le long des côtes, et parce que les algues et les phanérogames marines sont absents de ces peuplements dominés par les mollusques pélecypodes⁵¹. Les espèces exclusives de cette biocénose sont pour les pélecypodes : *Glycimeris violascens*, *Cardium tuberculatum*, *Donax venustus*, *Tellina pulchella*, *T. planata*, *T. nitida*, *T. fabuloides*, *Macra corallina*, *Ensis siliqua* et *Solen marginatus* et, pour les gastéropodes, *Neverita josephina* et *Nassarius mutabilis*. Parmi les espèces caractéristiques préférentielles se trouvent le pélecypode *Spisula subtruncata* et le gastéropode *Nassarius pygmae*. Les espèces accompagnatrices sont celles de la biocénose précédente : les pélecypodes sabulicoles *Loripes lacteus*, *Tellina incarnata* et *Ensis ensis* ainsi que *Venus gallina*. Lorsque des résurgences sous-marines d'eau douce se manifestent, on observe la présence du pélecypode *Scrobicularia cottardi*⁵².

2.3.1.3 La biocénose des sables vaseux superficiels en mode calme

(SVMC)

62 La biocénose des sables vaseux superficiels en mode calme (SVMC) est formée des sables vaseux, souvent mêlés de graviers, qui ne dépassent guère une profondeur de 3 m et ceci seulement dans les zones absolument calmes. On la rencontre le plus souvent à moins de 1,50 m de profondeur dans des criques protégées par une barrière naturelle (mattes de posidonies) ou artificielle (digue). C'est la biocénose typique des bassins portuaires calmes où l'eau est peu polluée. Le peuplement est caractéristique : dans les herbiers à posidonies, la faune vagile est représentée par les gastéropodes, tel *Gibbula* sp., et diverses espèces de *Rissoa* sp. La faune qui se déplace sur le sédiment est représentée par les gastéropodes *Cerithium vulgatum* et *C. rupestre*. L'endofaune du sédiment est très variée : on y relève les pélécy-podes *Loripes lacteus* et *Tapes decussatus*. Les zones de pollution sont indiquées par l'abondance du gastéropode *Amyclina corniculum* et par le pélécy-pode *Tapes decussatus*⁵³.

2.3.1.4 La biocénose des sables grossiers sous l'influence des courants de fond (SGCF)

63 Les peuplements de sables grossiers sous l'influence des courants de fond (SGCF) se développent dans un environnement qui empêche le tri des sédiments et donc favorise la fraction grossière. Les courants permettent et facilitent le développement d'espèces filtrantes qui utilisent le courant pour se nourrir. Généralement les taxons de cette biocénose sont des espèces fouisseuses et des espèces fixées. Les trois espèces caractéristiques de cette biocénose sont les pélécy-podes *Paphia rhomboïdes*, *Dosinia exoleta* et *Gari intermedia*⁵⁴.

2.3.1.5 La biocénose lagunaire euryhaline et eurytherme (LEE)

64 La biocénose lagunaire euryhaline et eurytherme (LEE) se rencontre dans les zones estuariennes et à proximité des étangs littoraux ; c'est la biocénose que l'on observe le plus fréquemment car elle s'accommode des conditions d'euryhalinité et d'eurythermie. Même si les conditions de salinité évoluent, les peuplements de cette biocénose dont le substrat est sablo-vaseux ou vaso-sableux restent sensiblement identiques. Les espèces caractéristiques sont les pélécy-podes *Cardium lamarcki*, *Abra ovata* et *Scrobicularia plana* (dans les zones particulièrement envasées). Parmi les espèces accompagnatrices se trouvent les gastéropodes *Nassarius reticulatus* et *Cyclope neritea* et les pélécy-podes *Loripes lacteus* et *Gastrana fragilis*. Parmi les feuilles de *Ruppia* vivent les gastéropodes *Rissoa grossa*, *R. fragilis*, *Hydrobia* sp. et le pélécy-pode *Brachidontes marioni*⁵⁵.

65 Les biocénoses circalittorales ne peuvent être intégrées aux écosystèmes portuaires du fait de leur profondeur trop importante. Pourtant il est important de signaler que les sédiments fluviaux comme ceux du Tibre s'accumulent en grande quantité dans cette partie du littoral.

2.3.2 L'ostracofaune

66 Les assemblages d'ostracodes (micro-crustacés possédant deux valves carbonatées) dépendent de facteurs primordiaux (salinité et température des eaux) et de facteurs secondaires (substratum, végétation, profondeur et régime hydrodynamique). La densité faunique et la diversité spécifique apportent également des renseignements sur les caractères du milieu⁵⁶.

67 Nos recherches et la géographie des sites que nous étudions nous ont conduits à déterminer un certain nombre d'assemblages susceptibles d'être reconnus dans les ports antiques. Dans un contexte deltaïque nous avons défini avec P. Carbonel six assemblages ayant chacun des espèces caractéristiques⁵⁷ :

- eau douce : *Candona Candida*, *Ilyocypris* sp. ;

- saumâtre : *Cyprideis torosa*, *Loxochonca elleptica* ;
- lagunaire : *Xestoleberis rond*, *X. long*, *Loxochoncha forme reticulée*, *L. forme lisse* ;
- phytal côtier : *Pontocythere elongata*, *Aurila convexa*, *Urocythereis sp.*, *Heterocythereis albomaculata* ;
- marin: *Cytheridea acuminata*, *Neocytherideis sp.*, *Cytheretta sp.*, *Semicytherura sp.*, *Tetracytherura sp.*, *Basslerites sp.*;
- marin: *Carinocythereis carinata*, *Jugosocythereis sp.*, *Hiltermanicythere sp.*

68 L'assemblage saumâtre caractérise un milieu de type euryhalin et eurytherme ; les espèces qui s'y développent sont pour la plupart ubiquistes, c'est-à-dire qu'elles ont une forte valence écologique.

69 Les espèces des milieux lagunaires caractérisent des faunes qui se développent au sein d'environnements protégés mais qui conservent une connexion avec la mer⁵⁸.

70 Les assemblages phytiaux caractérisent des milieux où les ostracodes sont plus ou moins associés à la végétation⁵⁹ ; les faunes qui s'y développent sont des épiphytes vivant sur les algues, les herbiers sous-marins ou les sédiments au pied des mattes de Posidonies. Au sein des milieux phytiaux on retrouve deux catégories d'ostracodes : les suceurs de plantes (ostracodes phytiaux *stricto sensu*) et les microphages (ostracodes phytiaux *lato sensu*)⁶⁰. La distinction entre milieux phytiaux côtiers et marins traduit un gradient d'éloignement du rivage, l'assemblage phytal marin étant le plus éloigné.

71 L'assemblage marin, qui se développe plus au large, est sous l'influence des facteurs qui dominent en haute mer. Les faunes placées dans cet assemblage font partie de l'étage infralittoral dans sa zone la plus profonde (-10 à 40 m) et elles se développent dans des eaux plus froides.

2.4. La datation par le radiocarbone

72 Les tessons de céramique récoltés dans les carottes sont assez rares, souvent difficiles à déterminer et donc à dater. Nous avons donc eu recours à la méthode de datation par le radiocarbone. Deux types d'échantillons ont servi de support pour la datation. Un premier lot regroupe les échantillons d'origine continentale comme les charbons, des fragments de bois, des macro-restes végétaux, des graines. Ces échantillons ont été datés puis calibrés à l'aide de la courbe dite continentale⁶¹ par le logiciel Calib 5 (<http://calib.qub.ac.uk/calib/>). Le second lot rassemble les organismes vivant en domaine marin comme les coquillages ou les posidonies (plantes sous-marines). Une courbe de calibration marine est alors utilisée⁶². Mais ces organismes marins ont été exposés à différentes concentrations de la teneur originelle en ¹⁴C contrairement à leurs homologues dans l'atmosphère.

73 La calibration d'échantillons marins prend en compte une correction de temps dépendante du réservoir mondial des océans. Mais pour gagner en précision, il est nécessaire d'obtenir la différence d'âge entre le modèle d'âge réservoir standard de l'océan mondial et l'âge réservoir du site archéologique côtier étudié⁶³. Cette différence, qui se nomme le DELTA R, a été calculée pour le littoral d'Ostie (R = âge radiocarbone). Pour les coquilles marines, DR = 72 ± 30 ans et pour les posidonies DR = 57 ± 30 ans. C'est la première fois que de tels paramètres sont calculés et publiés sur le littoral du Latium. Ces paramètres de correction sont fondamentaux.

74 Dans le texte et dans les figures, lorsque les auteurs utilisent la terminologie BP

(Before Present : avant 1950), cela indique une date non corrigée exprimée en années radiocarbone. Lorsque auteurs rajoutent « av. J.-C. » ou « ap. J.-C. » cela indique que la date est corrigée (années réelles ou calendaires). La marge statistique utilisée est de 2 sigmas.

3. Caractérisation du niveau marin antique à *Portus*

75 La découverte d'un ancien niveau marin biologique calé chronologiquement et altimétriquement va permettre de mieux comprendre le fonctionnement à *Portus* et de préciser la profondeur des bassins et des fondations des mûles à l'époque antique.

76 Dans les ports de Claude et de Trajan, le niveau marin biologique de la période antique se matérialise par une ligne de coquillages fixée sur les quais. Une première ligne de coquillages a été découverte en 1996 sur le mûle nord de Claude. Une seconde a été découverte en 2004 dans la *darsena*.

77 L'approche méthodologique que nous allons maintenant suivre est double. Dans un premier temps, nous présenterons les caractéristiques des faunes fixées sur substrat dur. Dans un second temps, la façon dont elles définissent le niveau marin biologique, puis nous replacerons ce niveau-repère dans le schéma stratigraphique théorique d'un bassin portuaire (fig. 5a). Enfin, nous verrons en quoi un carottage réalisé dans un bassin portuaire puis corrélé au niveau marin antique peut faire progresser nos connaissances en géoarchéologie portuaire.

3.2.1. Organismes marins fixés : d'un substrat dur naturel à un substrat dur artificiel

78 Pour la compréhension d'une ville antique portuaire, il est fondamental de connaître la position altimétrique du niveau marin de l'époque. Ce « zéro topographique antique » permet de mieux comprendre et d'expliquer le schéma d'organisation urbaine autour du port (réseau d'égouts, nappe phréatique, disposition des citernes et altitude relative des aires de stockage...). Sur des côtes rocheuses, les peuplements biologiques se fixent de façon étagée sur ces rochers qui sont qualifiés de substrats durs naturels. Sur les côtes meubles (par exemple les cotes sableuses, comme celle du delta du Tibre), la position d'un ancien zéro marin est plus difficile à obtenir. Les faunes ne sont pas fixées mais vivent sur les fonds marins (biocénoses benthiques). Cette mobilité des organismes benthiques donne la position d'un niveau marin à une échelle métrique⁶⁴. Lors de la construction de structures portuaires par les sociétés antiques, les organismes biologiques viennent se fixer sur les quais. Cette structure portuaire s'apparente à une « côte rocheuse » ou plus précisément à un substrat dur artificiel⁶⁵. C'est le cas pour *Portus* construit sur une côte meuble, sableuse, deltaïque.

3.2.2. Etagement des faunes fixées (ou faunes sessiles)

79 Sur les côtes rocheuses de Méditerranée, se développent deux principaux types de faune sessiles : les faunes fixées ou organismes constructeurs (huitres, vermetes, balanes...) et les foreurs ou organismes destructeurs (lithophages, éponges

perforantes...). Si les conditions écologiques varient de façon régulière sur un profil vertical, ces biocénoses se disposent en ceintures parallèles et horizontales⁶⁶. Ces ceintures définissent trois étages principaux :

80 *L'étage supralittoral* est humecté par les jets de vagues et les panaches d'embruns. Ne s'y développent que les organismes qui supportent ou exigent une émergence continue⁶⁷. Dans le cadre d'un site portuaire, cet étage correspond à la partie émergée des quais.

81 *L'étage médiolittoral* correspond à la zone de balancement moyen des marées mais surtout des vagues, pour la Méditerranée. L'étage est donc limité vers le haut par le niveau le plus élevé des immersions et vers le bas par le niveau inférieur des émergences⁶⁸. Seuls les peuplements qui supportent les alternances d'émergence et d'immersion s'y développent. L'étage médiolittoral se subdivise en deux : le sous-étage supérieur, seulement mouillé par les vagues, et le sous-étage inférieur qui est soit immergé lorsque les eaux sont hautes, soit mouillé par les vagues lorsqu'elles sont basses⁶⁹. Dans un bassin portuaire, autrement dit une zone de mode calme, l'étage médiolittoral est réduit. Ainsi, il est important de noter que dans l'étude d'un môle, la face exposée au large et soumise aux tempêtes possède un étage médiolittoral davantage développé que celui de la face interne, côté bassin.

82 *L'étage infralittoral* : il correspond au milieu immergé en permanence, qui reçoit la lumière solaire⁷⁰. Sa limite supérieure est le niveau à partir duquel les peuplements sont toujours immergés.

83 En conclusion, dans un bassin portuaire, le milieu est artificiellement protégé et cet environnement calme favorise un étagement resserré (fig. 5).

3.4.3. Le niveau marin moyen biologique : marges et limites

84 Le niveau marin moyen biologique se positionne entre la ceinture biocénotique médiolittorale et infralittorale⁷¹. Le postulat est double : d'une part, les milieux actuels et leur étagement sont utilisés comme référence pour l'interprétation bathymétrique des milieux antiques⁷² et d'autre part les structures portuaires constituent des substrats durs qualifiés d'artificiels comparables aux côtes rocheuses⁷³. Le bassin portuaire est un secteur protégé de l'influence météo-marine du large. Le mode calme qui le définit, permet la genèse et donc la mesure d'un niveau marin moyen biologique avec une précision de quelques centimètres : $\pm 5\text{cm}$ à $\pm 10\text{ cm}$.

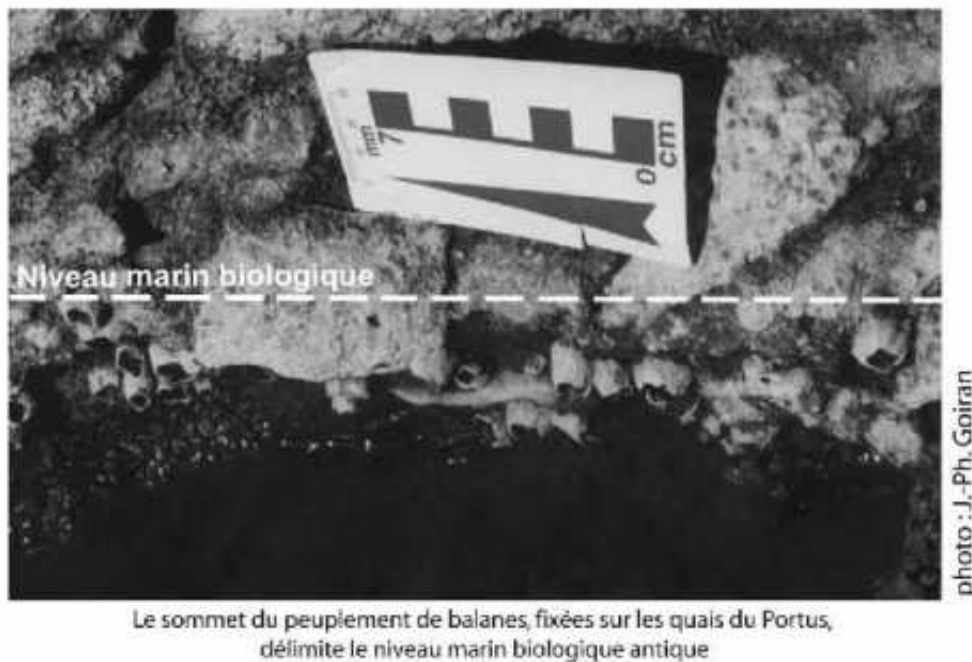


Fig. 9 – Photographie d'un niveau marin biologique.

85 Depuis les années 1970, les scientifiques prennent la mesure du peuplement supérieur de faunes telles que les balanes (Fig. 9) ou les huitres comme marqueur du niveau marin biologique antique⁷⁴.

3.2.4. Résultats et discussion

86 *Datation au radiocarbone du niveau marin biologique dans le bassin de Claude*

87 Deux niveaux de faune fixée ont été repérés sur le môle de Claude et sur les quais de la darsena (Fig. 9, 12 et 42). La datation au radiocarbone obtenue sur les balanes fixées sur le môle de Claude est de 2115 ± 30 BP soit 230 à 450 ap. J.C. (code LY-4198). La datation dans la darsena est en cours. Ce résultat indique la mort de la dernière génération de balanes. Cette mort peut avoir deux causes principales. Soit les organismes ne sont plus en contact avec l'environnement marin, ceci implique que le bassin n'est plus en connexion avec la mer et que le port ne joue plus son rôle. Soit les organismes se font recouvrir par des sédiments en raison du colmatage des bassins. Dans les deux cas, on assiste à un abandon plus ou moins rapide du complexe portuaire, qui passe par une période de mauvais entretien des bassins. Il faut noter qu'à terme, l'ensablement du bassin a causé l'enfouissement, la mort et la conservation de ces faunes fixées jusqu'à leur découverte récente.

88 Variations relatives du niveau marin à Portus ; un jalon pour comprendre les variations à l'échelle du delta du Tibre

89 En 2004, des balanes ont été repérées en position de vie dans la darsena actuelle du port de Fiumicino. Dans le canal portuaire actuel de Fiumicino d'autres balanes mais aussi des vermetes et des huitres ont été repérés. La différence altitudinale entre le niveau marin biologique antique (darsena de Portus) et l'actuel (darsena de Fiumicino) a été calculée : elle atteint $80 \text{ cm} \pm 10 \text{ cm}$ (ce calcul a été réalisé à l'aide d'un niveau par le topographe Ugo Colalleli de l'École française de Rome. Cela implique qu'entre aujourd'hui et le III^e/ve s. ap. J.-C., on observe une hausse relative du niveau marin de 80 cm. Cette valeur s'explique à la fois par le facteur eustatique (hausse du niveau marin) et le facteur isostatique (enfouissement du delta du Tibre). Ce résultat est important pour deux

raisons. Tout d'abord, l'étagement bionomique est faible sur les côtes du Latium et le marnage dans le port actuel de Fiumicino n'excède pas les 20 à 40 cm. En plus de cela, nous insistons sur le fait que l'étagement bionomique est très réduit dans un bassin portuaire du fait du mode calme de ce milieu. Les faunes et notamment les balanes qui s'y développent constituent donc un indicateur très précis, d'ordre centimétrique, du niveau marin relatif. Le second point important concerne la nature du littoral deltaïque. Dans un tel environnement, constitué de cotes meubles sableuses, il est rare de pouvoir bénéficier de la présence d'une côte rocheuse artificielle. Ainsi, ces bio-indicateurs complètent la base de données des variations relatives du niveau marin établie sur la côte tyrrhénienne⁷⁵, mais vont à l'encontre de l'hypothèse d'une surrection lente du delta du Tibre estimée à 0.15+/-0.05 mm. yr⁻⁷⁶.

90 Si l'on assiste à une telle hausse du niveau marin relatif (80 cm) au cours des 16 ou 17 derniers siècles, il faudrait alors envisager que cette tendance puisse se retrouver et s'inscrire à l'échelle de l'Holocène récent. Pour prouver cette hypothèse, il faudrait chercher s'il existe ou non des indicateurs de niveaux marins anciens et préservés à une certaine profondeur dans les carottes. Ces travaux sont en cours mais ne seront pas présentés dans cet article.

91 Implication sur les profondeurs des bassins de Portus

92 En croisant les données biologiques du niveau marin et les données stratigraphiques de fonds marins, obtenues par carottage, on obtient l'information paléo-bathymétrique. Ces résultats seront présentés dans les différents thèmes abordés successivement dans ce travail.

4. La question des ouvertures

93 Dans l'essai de restitution de la configuration du bassin de Claude, la localisation des ouvertures est un point fondamental. Cette question reste encore aujourd'hui une des questions les plus débattues pour *Portus*. Certains auteurs défendent l'idée d'une passe unique à l'ouest (peintres sur fresque du 16^e-17^e siècle – fig. 4a et 4b)⁷⁷ quand d'autres proposent une entrée unique ou principale au nord⁷⁸(fig. 10). Les carottages CL1 à CL8 (fig. 2 et 11) tendent à répondre à cette question.

4.1. La question de l'ouverture Ouest. Analyse sédimentologique des carottes CL3 et CL4 obtenues dans le secteur ouest du môle de Claude

4.1.1. Étude de la carotte CL3 (fig. 13-14)

94 La carotte CL3 se localise sur le cordon dunaire proposé par Testaguzza en 1970.

Unité sédimentaire A : sables lités stériles

95 L'unité sableuse se développe sur un mètre d'épaisseur. On note une alternance de sables fins et de sables limoneux. L'ensemble est stérile.

Unité sédimentaire B : sables marins infralittoraux

96 L'unité B, épaisse de 90 cm, se compose de sables fins homogènes. Une datation au radiocarbone effectuée sur coquille marine à la base de l'unité donne

3070 ± 30 BP soit 915 à 745 av. J.-C. (Ly-4289). Un autre coquillage situé 20 cm au-dessus donne une date de 2785 ± 30 BP soit 400 à 185 av. J.-C. (Ly-4425). Le sommet de l'unité B, riche en fibres de posidonies, est daté de 2420 ± 30 BP soit de 160 av. J.-C. à 75 ap. J.C. (Poz-17603). La vitesse moyenne de sédimentation apparente est de l'ordre de 0.1cm/an. La texture sableuse varie des sables fins à moyens qui représentent 70 % à 90 % du poids total à sec des échantillons. L'indice granulométrique de tri est bon. La macrofaune concentre des espèces associées aux sables grossiers sous l'influence des courants de fond (*Donax variegatum...*) et des sables fins bien calibrés (*Nassarius mutabilis*, *spisula subtruncata...*). Une espèce issue du circalittoral est représentée (*Tellina donacina*). Concernant l'ostracofaune, les associations du phytal côtier (Cushmanidéidés) et marin (*Carinocythereis carinata*) sont majoritaires. On rencontre quelques espèces signalant des variations dans la salinité (saumâtre à lagunaire). Des fibres de posidonies sont présentes.

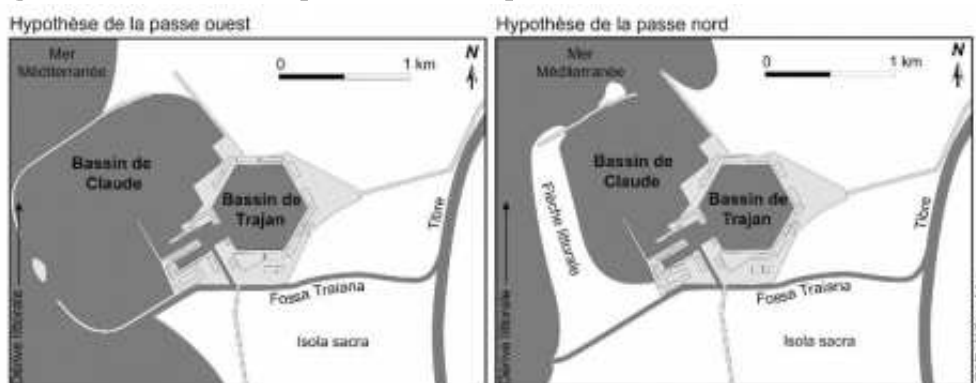


Fig. 10 – Hypothèses divergentes quant aux ouvertures du bassin de Claude.

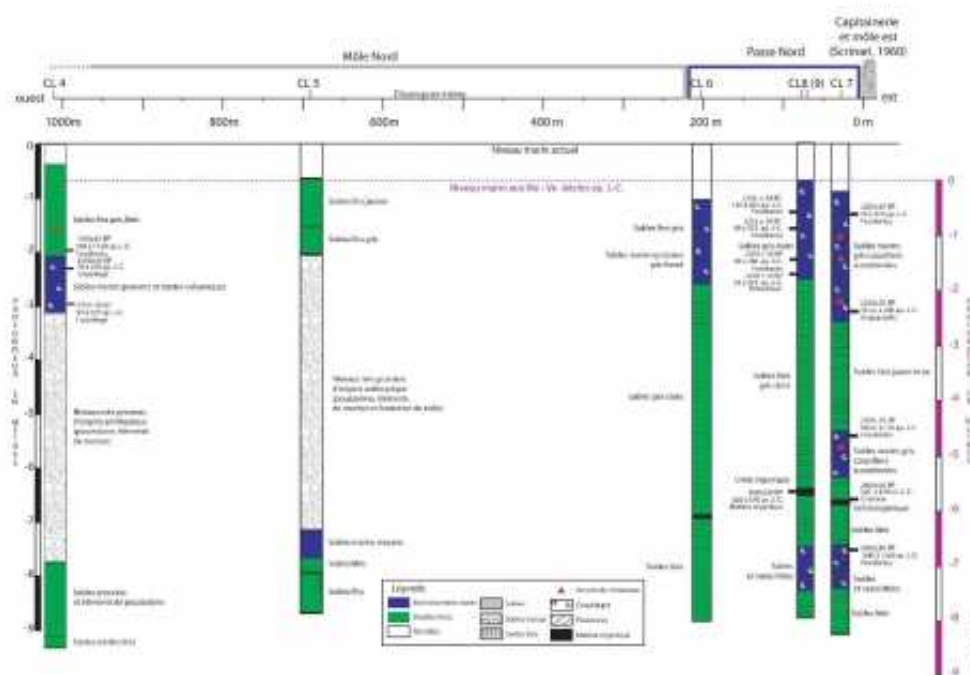


Fig. 11 – Transect ouest/est le long de la façade nord du port de Claude.

Unité sédimentaire C : vases sableuses gris foncé

97

L'unité se compose d'argiles limoneuses accumulées sur 80 cm d'épaisseur. Elle est postérieure à 2420 ± 30 BP et son sommet est daté de 2400 ± 30 BP, soit de 145 av. à 95 ap. J.C. (Poz-17601). Sa fraction limono-argileuse varie de 65 % du poids total à sec des échantillons (à la base) à 80 % (au sommet). La fraction sableuse représente 35 % à 20 % du poids total et la fraction grossière se compose de quelques coquilles. Les indices montrent un enrichissement en éléments fins. Les échantillons sont riches en fibres de posidonies déposées en un litage régulier.

La macrofaune rassemble des espèces issues de trois milieux : les substrats rocheux (balanes, huitres, *Ceritium rupestre...*), les sables vaseux (*Nucula sulcata*, *Dentalium dentale*, *Tapes decussatus...*) et la matière organique (peu d'individus). L'ostracofaune majoritaire vient du phytal côtier (Cushmanidéidés). La densité de l'ostracofaune atteint 12000 individus pour 50 g de sable. L'unité C possède la densité faunistique la plus élevée pour la carotte CL3.

Unité sédimentaire D : sables coquilliers à posidonies

98 D'une épaisseur de 7 m, l'unité D est composée de sables marins coquilliers riches en fibres de posidonies. L'unité D rassemble 5 sous-unités notées de D1 à D5. Les différentes sous-unités illustrent la variabilité de la texture sableuse (du grossier au fin) et la présence ou non d'un litage. La partie sommitale de la sous-unité D1 a été datée au radiocarbone de 2190 ±30 BP (soit 130 à 375 ap. J.-C.) (Poz-17599). La proportion de limons-argiles oscille entre 5 % et 30 % du poids total à sec des échantillons.



Fig. 12 – Photographie du môle Nord du bassin de Claude.

99 La granulométrie laser met en évidence que les sables sont moyennement triés. L'ostracofaune provient en grande majorité du phytal côtier (*Cushmanidéidés*, *Pontocythere elongata*) et du marin (*Carinocythereis carinata*). La densité diminue de la base D1 au sommet D5. La macrofaune caractérise deux grands environnements sous-marins : l'un composé d'un substrat rocheux et d'herbiers de posidonies, l'autre composé d'un fond marin sableux parcouru par des

courants. De la base de l'unité D à son sommet (de D1 à D5), les biocénoses de substrat dur et d'herbier sont très présentes. En revanche, les espèces dites rhéophiles (adaptées aux courants), montrent un inversement de tendance au sein de la sous-unité D3. La biocénose des sables fins bien calibrés est très présente de D1 à D4. La biocénose des sables fins de hauts niveaux est présente de D3 à D5. Autrement dit, à partir de D3, la biocénose des SFHN (*Macoma tenuis*...) succède à la biocénose des SFBC (*Spisula subtruncata*...).

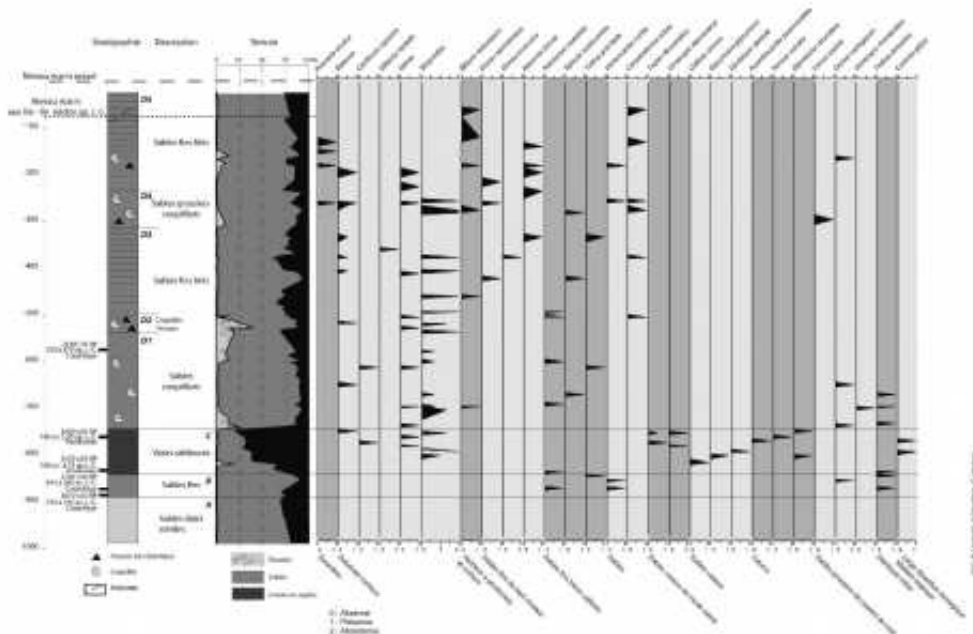


Fig. 13 – Carotte CL3 – Malacofaune.

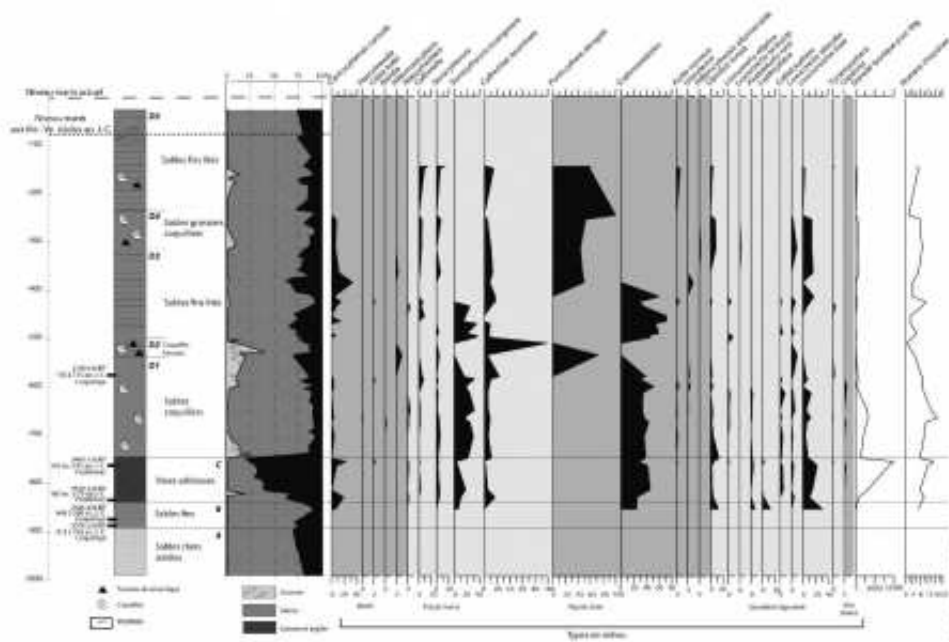


Fig. 14 – Carotte CL3 – Ostracofaune.

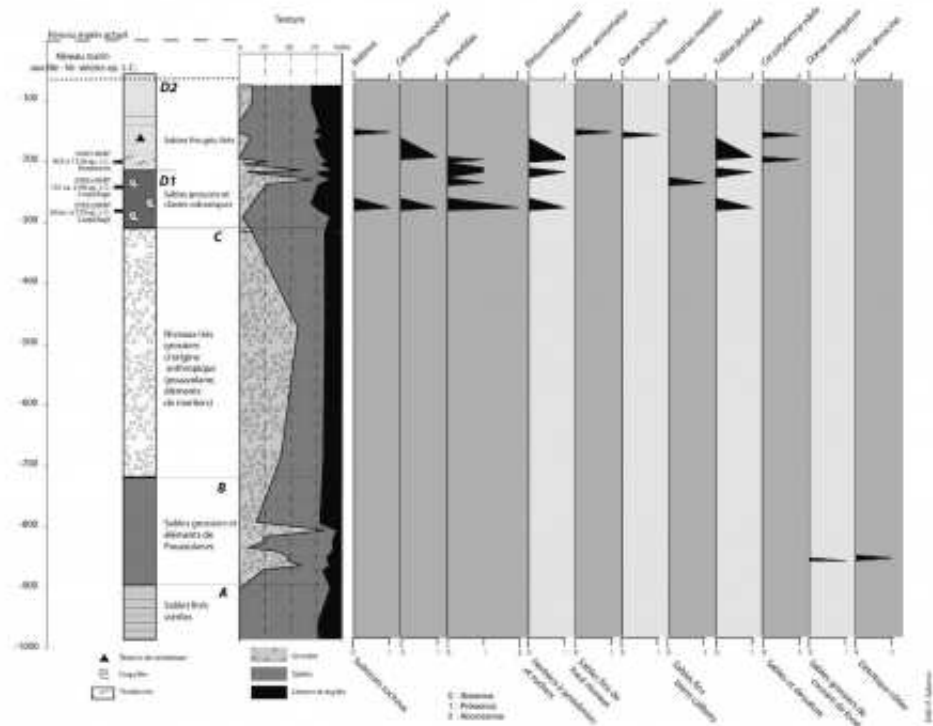


Fig. 15 – Carotte CL4 – Malacofaune.

4.1.2. Étude de la carotte CL4 (fig. 15)

100 La carotte CL4 se localise à 20m au nord de CL3 sur la face nord du mole de Claude.

Unité sédimentaire À :sables lités stériles

101 La base de la carotte CL4 se compose d'un faciès de sables lités sur 90 cm. On observe une alternance de sables fins et de sable limoneux. L'unité A est stérile.

Unité sédimentaire B :sables marins infralittoraux

102 L'unité se caractérise par une importante fraction de sables grossiers et par des éléments de pouzzolane. Sur une épaisseur de 1,30 m, la texture sableuse oscille entre 70 % et 90 % du poids total à sec des échantillons. La granulométrie met en évidence des modes bien prononcés et un bon tri des particules. L'ostracofaune est en grande majorité issue du phytal côtier et marin. La macrofaune regroupe des espèces rhéophiles, adaptées aux courants sous-marins (*Donax variegatum*). Des fibres de posidonies sont observées. La partie supérieure de l'Unité B concentre des éléments de mortier et de pouzzolane.

Unité sédimentaire C : éléments de pouzzolane et fragments de blocs

103 L'unité C se compose d'une fraction grossière prédominante. On repère des éléments de pouzzolane, des fragments de roches notamment des blocs d'origine volcanique, des gravillons et sables grossiers. L'unité est hétérogène mais très compacte et se développe sur près de 5 m d'épaisseur.

Unité D : Sables coquilliers à posidonies

104 L'unité sommitale D contient entre 80 % à 90 % de sables. Les histogrammes de la granulométrie laser montrent un mode bien développé et les indices de tri sont bons. L'ostracofaune se compose de deux assemblages : celui du phytal côtier et celui du phytal marin. La malacofaune est dominée par la biocénose des sables fins bien calibrés (*Tellina pulchella*...) et par celle des sables grossiers soumis aux courants de fond. La biocénose des substrats durs de type rochers ou herbiers de posidonie est également présente. La base D1 est datée de 2355 ± 30 BP soit entre 60 av. J.-C. et 170 ap. J.-C. (Ly-4291 sur coquilles marines). La partie médiane de

D1 donne 2430 ± 30 BP soit 155 av. J.-C. à 80 ap. J.-C. (Ly-4290 sur coquilles marines). Autrement dit, la sous-unité D1 peut être datée entre la fin du 1^{er} s. ap. J.-C. et le milieu du 1^{er} s. ap. J.-C. La sous-unité D2 située au sommet de la carotte CL4 est datée de 1450 ± 30 BP soit entre 900 et 1120 ap. J.-C. (Poz-16102 sur posidonies).

4.1.3. *Interprétation des données stratigraphiques des carottes CL3 et CL4 (fig. 12 et 16)*

1) Le moment pré-portuaire correspond à un milieu marin ouvert.

105 La partie basale des carottes CL3 et CL4 correspond au milieu préportuaire. Ce milieu également qualifié de pré-liménique se compose de deux unités sédimentaires. L'unité A se définit par un litage de sables fins et de sables limoneux stériles de teinte jaune. Elle caractérise un milieu fluvial. En l'absence de support organique ou carbonaté, aucune datation au radiocarbone n'a pu être effectuée. En revanche, l'unité B sus-jacente possède des coquilles marines et des fibres de posidonies. Elle a été datée de 3070 ± 30 BP ce qui correspond au début du 1^{er} s. jusqu'au milieu du 1^{er} s. av. J.-C. (Ly-4289). Cette unité sableuse montre un bon indice de tri. La macrofaune est riche en espèces rhéophiles. Ces indicateurs granulométriques et biologiques mettent en évidence la présence de courants sous-marins. Les faunes (SGCF, DC) apportent aussi une information sur l'importance de l'épaisseur de la colonne d'eau dans ce secteur qui peut être estimée entre 5 et 10 m. La séquence sédimentaire B s'interprète comme des fonds marins en accrétion. Une datation intermédiaire indique 2785 ± 30 BP soit 645 à 360 av. J.-C. (Ly-4425). La vitesse d'accrétion des fonds marins est très faible. La portion sommitale de l'unité est datée de 2420 ± 30 BP, soit entre le milieu du 1^{er} s. av. J.-C. et 75 ap. J.-C. (Poz-17603). Autrement dit, seule cette portion supérieure de l'unité A (de CL 3) pourrait être considérée comme un milieu marin contemporain de la construction du grand bassin portuaire sous Claude. Le contact entre l'unité B et l'unité C de la carotte CL4 est très net et correspond à la limite katoliménique dite de fondation du bassin de Claude.

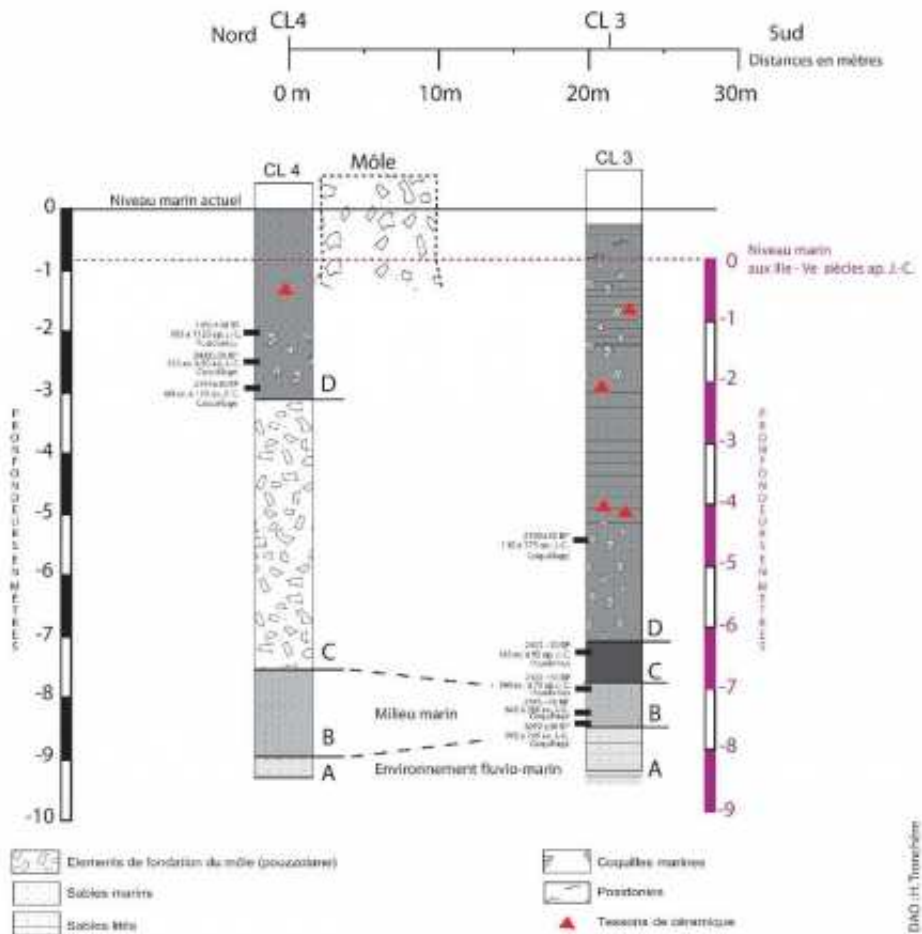


Fig. 16 – Section CL3-CL4 en travers du môle nord du port de Claude.

2) Nature du remplissage sédimentaire du bassin de Claude

106

La carotte CL3 nous renseigne sur les différentes phases de remplissage du grand bassin portuaire de Claude. Deux phases peuvent être distinguées :

- a. La première phase correspond à une accumulation d'argiles limoneuse riches en fibres de posidonies sur 1 mètre d'épaisseur (unité C). Sa base est datée de 2420 ± 30 BP, soit entre le milieu du ii^e s. av. J.-C. et 75 ap. J.-C. Il est important de noter que le changement de faciès est brutal entre l'unité B et l'unité C. On passe d'un milieu marin sableux ouvert et parcouru par des courants à un milieu laguno-marin composé de vases et de fibres végétales. Dans l'unité C, on observe à la fois une brutale disparition des biocénoses liées aux courants et le développement de deux nouvelles biocénoses. La première, liée aux substrats rocheux totalise 4 taxons différents. L'importance des biocénoses de substrat dur au cœur d'un littoral deltaïque est à mettre en relation avec la présence d'un môle qui joue le rôle de substrat dur artificiel. La seconde biocénose correspond aux milieux vaseux riches en suspension organique. La construction des môles dès le milieu du ii^e s. ap. J.-C. (entre 42 et 64 ap. J.-C.) permet une protection relative du milieu et le dépôt de sédiments fins au fond du bassin. Le sommet de cette accumulation de vases est daté de 2400 ± 30 BP (soit 145 av. à 95 ap. J.-C.). La vitesse moyenne apparente de sédimentation est élevée, de l'ordre de 4 cm/an en moyenne.
- b. La seconde phase se développe sur 7 mètres d'épaisseur avec une accumulation de sables fins à grossiers, riches en coquilles marines et en posidonies. Elle enregistre les différentes séquences d'ensablement du bassin de Claude (individualisées de D1 à D5). La partie médiane de l'unité D est datée de $2190 \pm$ BP soit 130 à 375 ap J.-C. Les biocénoses

d'environnement sableux se substituent aux biocénoses d'environnement vaseux. Les faunes inféodées au substrat dur se maintiennent. Ce changement brutal de faciès entre les unités C et D suggère que les môles ne sont peut-être plus assez efficaces pour protéger le bassin. Il est possible que les éléments météo-marins aient pu détériorer certaines portions des môles. Par la suite, le manque d'entretien des longs môles de Claude ne permettra plus le retour des dépôts fins dans le bassin.

- c. Du port de Claude au port de Trajan Entre 100 et 112 ap. J.-C., Trajan fait construire un second bassin d'une surface de 33 ha et de forme hexagonale. Les raisons qui ont poussé l'empereur à modifier le complexe portuaire de Claude sont discutées. Certains y voient l'effet d'un colmatage (par ensablement ou envasement) rapide tandis que d'autres privilégient le fait que le bassin ait été trop exposé aux tempêtes.

107 Par l'analyse des archives sédimentaires contenues dans le bassin de Claude, il devient possible de privilégier cette seconde hypothèse. Trois indicateurs viennent renforcer celle-ci. (1) les sédiments grossiers (unité D) viennent remplacer de façon définitive les sédiments fins (unité C). (2) Le calcul de la vitesse moyenne de sédimentation diminue de façon importante en passant d'une moyenne de 4 cm/an pour l'unité D à environ 1cm/an pour l'unité C. (3) Les calculs bathymétriques rendent compte qu'à la fin du IV^e et le début du V^e s. ap. J.-C., la profondeur du bassin de Claude dans ce secteur (carotte CL3) est encore d'environ 5 m (sans qu'aucune trace de curage n'est pu être mise en évidence dans ce secteur). Cette profondeur est largement suffisante pour les navires de l'époque romaine tardive. (4) Les biocénoses réophiles sont nombreuses et soulignent le fait que les courants limitent l'accumulation sédimentaire.

108 Autrement dit, l'unité C traduit la première et brève phase de comblement par envasement du bassin de Claude tandis que l'unité D traduit la seconde et principale phase de comblement par ensablement généralisé. L'environnement passe d'un mode calme à un mode battu. Tout se passe comme si le port de Claude avait, dans un premier temps, vraiment joué son rôle de milieu artificiellement protégé pour accueillir les navires. Puis, dans un second temps, ce port ne joue plus son rôle et s'apparente davantage à une rade ou à un avant-port exposé à la houle et aux courants.

3) Caractérisation de la fondation du môle nord de Claude et conséquence sur la configuration du port

109 La carotte CL4 a été positionnée à l'aplomb du môle, à 2 m vers le nord (fig. 2 et 16). L'analyse stratigraphique montre que les fondations reposent sur un fond marin par environ 7 m sous le zéro marin antique du III^e et V^e s. ap. J.-C. Dans ce secteur, le môle ne repose pas directement sur un cordon dunaire émergé comme le proposait l'hypothèse de Testaguzza (1970). Les ingénieurs de l'époque ont construit un môle en domaine offshore qui vient recouvrir et fossiliser un fond marin infralittoral du I^{er} s. ap. J.-C. La profondeur de telles fondations en pouzzolane et en blocs devrait amener à reconsidérer la façon dont les ingénieurs ont conçu ce môle nord du port de Claude.

110 La partie sommitale (unité D) de cette carotte nous renseigne sur le milieu de sédimentation à l'extérieur du port, sur la face nord de ce môle. Le sommet des fondations se rencontre vers -2.5 m sous le niveau marin antique et correspond à la base de l'unité D. Cette dernière, qui se caractérise par des dépôts de sables grossiers marins, de fragments de pouzzolane et de clastes volcaniques, est datée entre la fin du I^{er} s. ap. J.-C. et le milieu du III^e s. ap. J.-C. (Ly-4291 et Ly-4290). Cette sous unité basale D1 peut s'interpréter comme l'accumulation de dépôts contemporains de la construction du môle et des premiers temps de fonctionnement. Il faut aussi prendre en compte l'effet que joue ce môle sur la

courantologie et le transfert des sédiments. La portion sommitale D2 datée de 1450 ± 30 BP soit entre le ^xe et ^{xiii}e s. ap. J.-C. 905 et 1120 ap. J.-C. (Poz-16102 sur posidonies). Elle correspond à une plage de sable avec l'accumulation de coquilles issues des Sables Fins de Hauts Niveaux et des laisses de posidonies. Autrement dit, la partie sommitale de CL4 correspond à l'ancien rivage du delta du Tibre au bas Moyen Âge.

111 La mise en rapport des carottes CL3 et CL4 apporte donc un éclairage nouveau sur la configuration du bassin de Claude. Plusieurs éléments apparaissent : (1) Les fondations descendent à 7 mètres sous le niveau marin antique. (2) Elles fossilisent un fond marin pré-portuaire du 1^{er} siècle av. J.-C. (3) La séquence du comblement du bassin de Claude débute vers 7 mètres sous le niveau marin antique, ce qui correspond à une épaisseur de colonne d'eau équivalente et considérable pour un bassin antique.

112 La conjonction de ces éléments milite en faveur d'une ouverture principale du port de Claude à l'ouest et en faveur de l'absence d'un cordon sableux d'orientation sud/nord (fig. 10a).

4.2. La question de l'ouverture Nord

4.2.1. Analyses sédimentologiques de la carotte CL 7 réalisée dans le secteur nord-est du port de Claude (fig. 18, 19, 20)

113 La profondeur maximale de la carotte CL7 atteint 8,5 m sous le niveau marin actuel (fig. 18). Elle se divise en 8 unités stratigraphiques dont certaines sont comparables aux carottes CL6, CL8 et CL9 situées le long d'un transect localisé entre la terminaison orientale du môle de Claude et une structure antique qualifiée de Capitainerie (Scrinari, 1960) (fig. 17, 21, 22, 23, 24, 25, 26).

Unité sédimentaire A : sables lités stériles

114 Cette unité basale comprise entre 9 m à 8,5 m de profondeur sous le niveau marin actuel, se compose majoritairement de sables lités jaunes (50 % à 70 % du poids total à sec de la texture totale). La fraction limono-argileuse représente tout de même 30 % à 50 % de la texture totale de l'échantillon. Les sables présentent un histogramme granulométrique unimodal avec un grain moyen de 130 µm et un bon indice de tri (-0,51). Les quelques coquilles observées dans cette unité sont des *Hydrobia ventrosa* indicatrices d'un milieu saumâtre.

Unité sédimentaire B : litage sablo-limoneux riche en ostracofaune

115 À cette unité basale se superpose une alternance très marquée de lamines argilo-limoneuses grises (95 % du poids total de l'échantillon) et de lits sableux brun gris (90 % du poids total à sec du sédiment). Le grain moyen est peu élevé (0,18/ 0,19 mm) et l'indice de tri est bon. Ce litage présente aussi une opposition nette entre la stérilité des sables et l'abondance en fibres de posidonies des lits argilo-limoneux. Les datations radiocarbone de cette unité ont ainsi été effectuées dans ces lamines. Une première datation effectuée sur de la matière organique nous donne 2585 ± 30 BP soit 815 à 595 av. J.-C. (Ly-4432). La seconde datation réalisée sur posidonies un peu au-dessus propose une date un peu plus ancienne à 3360 ± 30 BP soit 1345 à 1060 av. J.-C. (Ly-4431). La macro et microfaune collectées proviennent essentiellement dans ces mêmes lits argilo-limoneux. La macrofaune se compose d'une coquille de *Balane* se développant sur substrat rocheux, une coquille de *Tellina nidita* indicatrice d'un milieu sablo-vaseux et de quelques coquilles de *Hydrobia ventrosa* vivant en milieu saumâtre.

L'ostracofaune montre deux associations majoritaires : les espèces vivant en milieu saumâtre (50 % des individus présents ; *Cyprideis*) ; les individus marins (30 à 40 % ; *Pontocythere elongata*). Il est intéressant de noter la présence d'une ostracofaune d'eau douce (entre 5 et 15 %) (*Candonidae*, *Ilyocypris*, *Herpetocypris*). Le peuplement lagunaire est en revanche quasiment absent.

Unités sédimentaires C et E : sables beiges lités stériles

116

Les deux unités C présentent un même faciès. L'unité C se compose de sables beiges lités dans lesquels s'observent beaucoup de lamines orangées/rouges, riches en oxydes de fer. À la lecture du diagramme textural, on note un net enrichissement en sable au sommet de l'unité C (60 % à 80 % du poids total à sec des échantillons). Quelques gravillons émoussés d'environ 2,5 mm de diamètre sont repérables çà et là dans une fraction grossière qui représente une part très anecdotique de la texture des échantillons analysés. L'unité E se compose de sables lités du même type que l'unité C. La tendance qui semblait se dessiner dans l'unité C se confirme : la fraction sableuse continue de s'enrichir (70 % à 80 % du poids total à sec des échantillons) au détriment de la fraction argilo-limoneuse. La fraction grossière reste quasiment absente. Le grain moyen est faible à moyen (160 µm pour l'unité C et 230 µm pour l'unité E). L'indice de tri est moyen (-0,77 à -0,72). Tout comme l'unité basale, ces deux unités sont seulement peuplées par des *Hydrobia ventrosa* indicatrices d'un milieu saumâtre. Aucune datation n'est disponible pour ces unités (se rapporter à l'unité D).



Fig. 17 – Photographie de la passe nord du bassin de Claude.

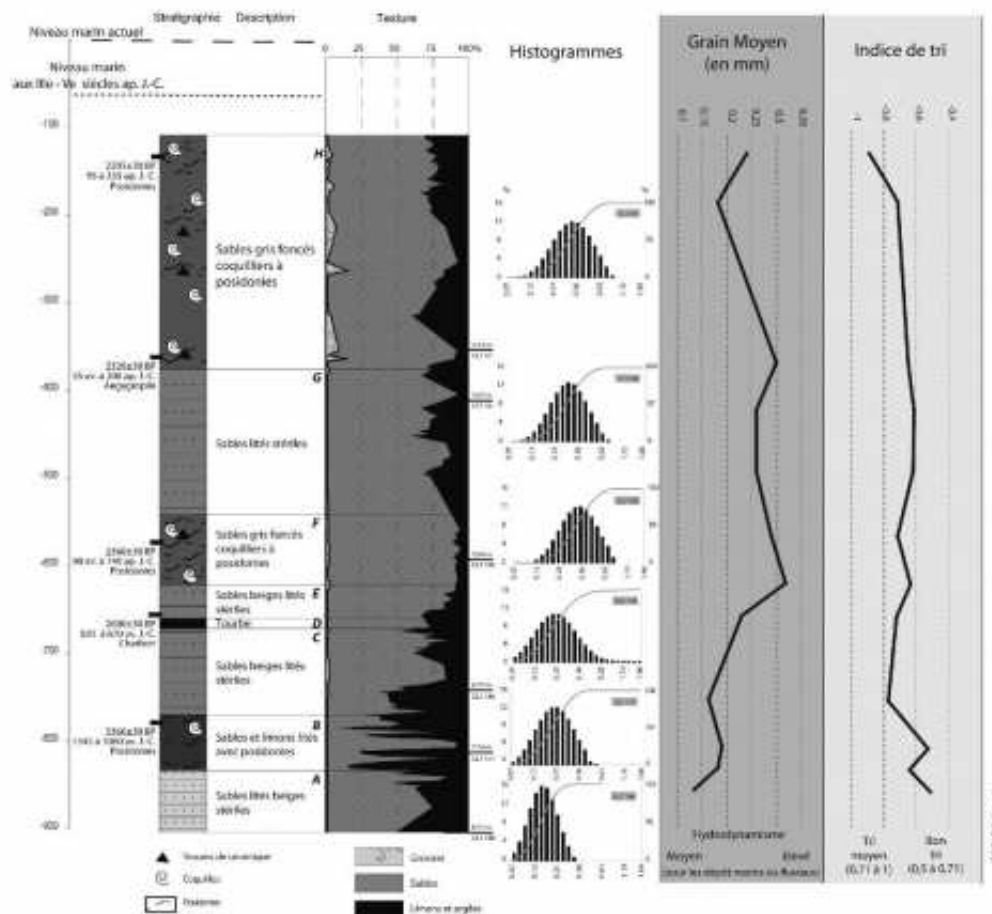


Fig. 18 – Carotte CL7 – Granulométrie.

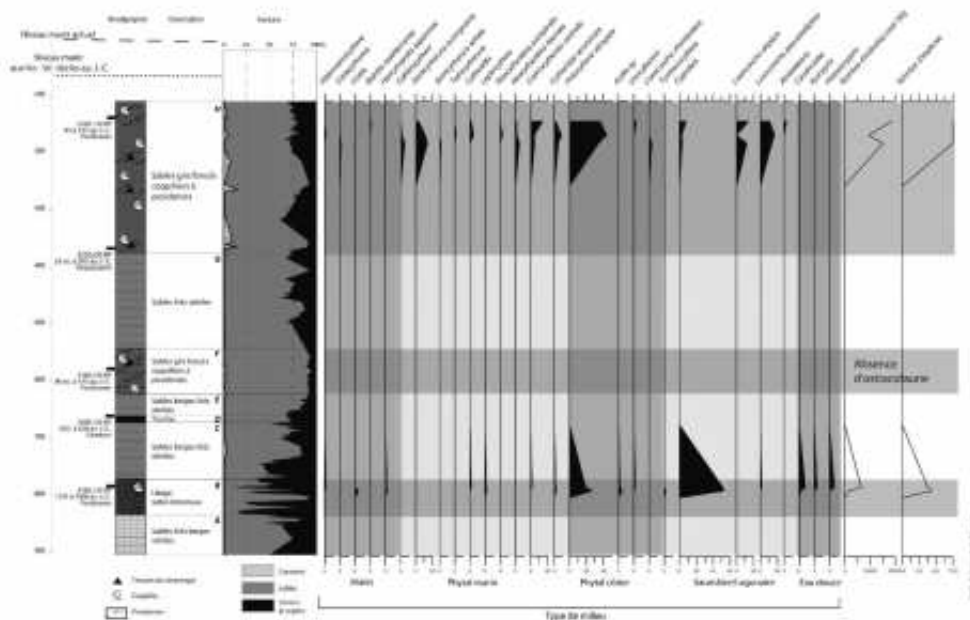


Fig. 19 – Carotte CL7 – Malacofaune.

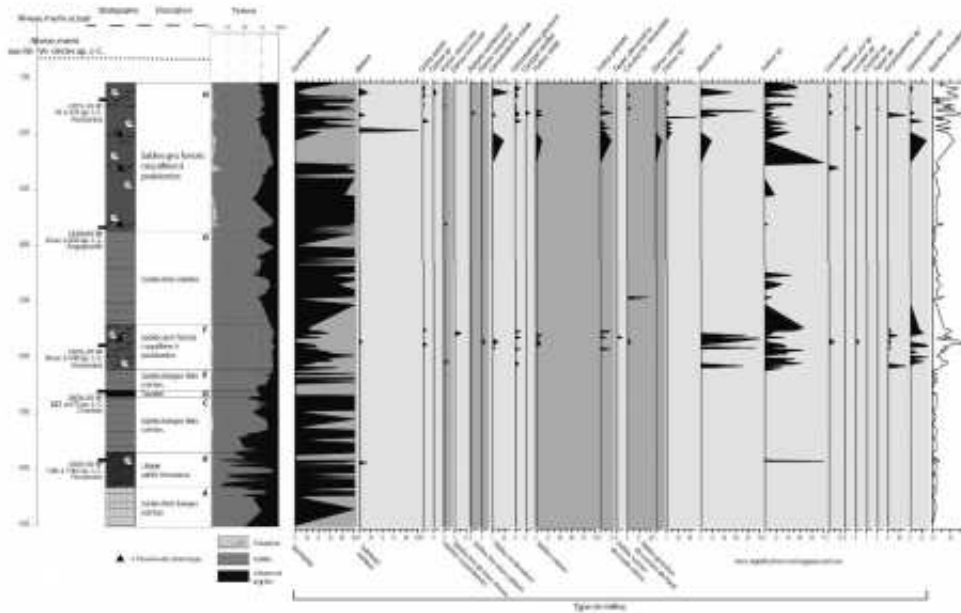


Fig. 20 – Carotte CL7 – Ostracofaune.

Unité sédimentaire D : niveau organique

117 L'unité D est une phase organique de 6 cm d'épaisseur riche en macrorestes végétaux qui s'inscrit entre les unités sableuses C et E. L'unité est datée de 2600 ± 30 BP soit 820 à 670 av. J.-C. (Ly-4436). Cette date correspond exactement à celle réalisée au même niveau en unité B sur la carotte CL8(9) (fig. 21) (Poz-16191).

Unité sédimentaire F : Sables gris coquilliers à posidonies

118 Le faciès change brutalement dans cette unité. Des sables gris foncés apparaissent. L'unité se compose à 90 % de sables et la fraction grossière se fait légèrement plus présente (2 %). À la base de l'unité, le grain moyen est de 0,32 mm puis de 0,29 mm au sommet, ce qui dénote une augmentation de l'hydrodynamisme au fur et à mesure de la sédimentation. L'indice de tri varie entre moyen et bon (-0,63 à -0,71).

119 Ces sables se caractérisent aussi par leurs richesses en fibres de posidonies. Leur datation a permis de situer cette unité autour du tournant de notre ère : 2360 ± 30 BP soit 90 av. à 140 ap. J.C. (Ly-4435). Il est important de signaler la présence de

quelques morceaux de bois. Les coquilles sont en grande majorité cassées ce qui rend difficile leur détermination. Leur état renforce l'idée d'un hydrodynamisme fort déjà signalé par le grain moyen et corroboré par la quasi absence de l'ostracofaune dans cette unité. Les stocks macrofaunistiques néanmoins déterminés caractérisent des milieux très différents (fig. 8) : les milieux saumâtres (*Hydrobia ventrosa*) ; les substrats rocheux (*Ostrea sp.*, *Balanes*) ; les herbiers de posidonie (*Venus verrucosa*) ; les sables fins bien calibrés (*Spisula subtruncata*, *Donax venustus*) ; les milieux sableux (*Cerastoderma edule*, *Cyclope neritea*), ou sablo-vaseux (*Tellina planata*, *Tellina nitida*) ; et quelques espèces de sables vaseux de mode calme (*Tapes decussatus*).

120 Des fragments de céramique apparaissent à partir de cette unité. On trouve notamment un fragment d'amphore africaine (à -5. 20 m) non datable par les céramologues. Ces amphores ont été produites et importées à Rome entre le I^{er} et le VII^e siècle ap. J.-C., mais surtout aux III^e et IV^e siècles.

Unité sédimentaire G : sables lités stérile

121 Entre -5,35 m et -1,05 m se développe l'unité G majoritairement sableuse (60 % du poids total à sec du sédiment). Les couleurs varient du jaune au brun. La fraction grossière présente des éléments émoussés de forme aplatie avec des tailles variant de 4 mm à 2 cm. Le grain moyen est élevé pour cette unité (0,26 mm) et le tri est plutôt bon (-0,62). On compte comme chaque unité des fragments coquilliers de *Hydrobia ventrosa*. La microfaune et les posidonies sont absentes. Aucune datation n'est disponible pour cette unité.

Unité sédimentaire H : sables gris coquilliers à posidonies

122 Finalement, l'unité sommitale H (entre -3,3 m et -0,55 m) présente un faciès proche de l'unité F. Elle est constituée de sables gris foncés avec certaines passées orangées à brunes. La proportion de sables varie entre 55 % et 90 % du poids total à sec du sédiment. En moyenne, l'unité voit diminuer sa fraction sableuse de la base (80 % à 90 % de la texture totale) au sommet (l'unité se stabilise autour de 70 % de sables). Le grain moyen calculé pour les sables indique un hydrodynamisme fort à la base de ce dépôt (0,30 mm) et diminue vers le sommet (0,18 à 0,24 mm). De même, le tri des sables passe de bon à la base (-0,65) à moyen au sommet (-0,90). Quelques variations brutales de texture sont observées. La proportion d'éléments grossiers évolue reste en moyenne peu importante (autour de 1 %). Vers -2,60 m et -3,60 m de profondeur, de gros fragments de pouzzolane de plusieurs centimètres de diamètre sont présents. À -2,10 m, un tessou de d'un fragment de panse d'amphore africaine poissée est repéré. Le type de l'amphore n'est pas déterminable précisément, mais il est probable que ce fragment soit issu d'une amphore tardive (com. pers. M. Bonnifay).

123 Déjà riche en fibre de posidonies, cette unité compte à sa base (vers -3,5 m) un amas d'aegagropiles (pelotes de posidonie). Le sommet de l'unité voit apparaître quelques fragments de bois. La partie inférieure de l'unité concentre un important stock de débris coquilliers ce qui renforce l'idée d'un fort hydrodynamisme. Quatre principaux stocks macrofaunistiques sont déterminés. Les biocénoses rhéophiles (espèces adaptées au courant) se développent : on note *Donax venustus* vivant dans les sables fins bien calibrés (SFBC) et des *Donax variegatus* inféodés aux sables grossiers de courants de fond (SGCF, animaux filtrants qui ont besoin des courants de fond pour se nourrir). Viennent ensuite les *Tellina nitida* caractéristiques des sables vaseux. Puis, les *Cerastoderma edule*, marqueurs biologiques d'un milieu sableux et quelques *Cerastoderma edule glaucum* vivant dans les milieux sableux en dessalure, côtoient des *Hydrobia ventrosa* de milieux saumâtres. Enfin, quelques balanes, *Ostrea sp.* et *Ostrea edulis* vivant sur les substrats rocheux, ont été récoltées.

124 L'ostracofaune est absente dans la partie inférieure de l'unité H. Les premiers

tests d'ostracodes sont repérés vers -1,40 m. Il faut toutefois indiquer la présence de foraminifères vers la base de cette unité (vers -2,60 m). Dans la partie supérieure de l'unité H, l'ostracofaune se divise en 3 groupes. Les individus vivants en milieu marin totalisent 70 % et 80 % de l'effectif total. Le phytal côtier (*Pontocythere elongata*) atteint 40 à 50 % de l'effectif, le phytal marin 30 % (*Semicytherura Incongruens*, *Semicytherura striata*, *Neocytherideis fasciata*...). Le reste des individus est pour 15 % composé d'espèces se développant en lagune (*Loxococoncha pseudoelliptica*), et pour 5 à 15 % d'espèces indiquant un milieu saumâtre (*Cyprideis* et *Loxococoncha elliptica*).

125 Deux datations au radiocarbone ont été effectuées sur l'unité H : à sa base 2320 ± 30 BP soit 35 av. à 200 ap. J.-C. (Ly-4429) et à son sommet 2205 ± 30 BP soit 95 à 335 ap. J.-C. (Ly-4434). Ces datations sont comparables à celles livrées par l'unité sommitale F de la carotte CL 9(8) proche de CL 7 (fig. 4). La base de l'unité est datée de 2260 ± 30 BP, soit 40 à 260 ap. J.-C. La partie médiane indique 2215 ± 30 BP, soit 90 à 325 ap. J.-C. Au sommet, la datation est 2185 ± 30 BP, soit 120 et 365 ap. J.-C.

4.2.2. Le secteur Nord : interprétation des données stratigraphiques des carottes CL6 à CL9 (fig. 17, 21, 22, 23, 24, 25)

1) Niveaux pré-portuaires : alternance d'influences mixtes fluvio-dunaire et tourbeus

126 La présence d'*Hydrobia ventrosa* sur l'ensemble de la colonne sédimentaire de la carotte CL7 indique que les milieux de dépôts successifs se sont toujours situés à un secteur clé à l'interface entre le milieu continental et marin tout au long du 1^{er} millénaire av. J.-C. jusqu'au comblement du port.

127 L'unité basale de sables beiges lités stérile correspond à un dépôt fluvial. Il est probable qu'il ait été déposé à proximité de l'embouchure du fleuve. L'unité B correspond vraisemblablement à des dépôts littoraux mixtes du type de ceux retrouvés plus au nord⁷⁹. Le niveau tourbeux est encore en phase d'analyse (pollens).

2) Une passe nord du bassin de Claude aux multiples influence

128 Les carottages réalisés à proximité du secteur est du môle, montrent une unité marine/ saumâtre dont la base est à -3,80 m sous le niveau marin actuel, soit -3 m sous le niveau marin antique. La base de ces sédiments a été datée entre le milieu du 1^{er} s. ap. et le début du 1^{er} s. ap. J.C. Les bio-indicateurs présents dans cette unité sont multiples mais révèlent tout de même qu'il existait bien une communication avec le domaine marin.

129 La faible profondeur de cette passe nous incite à penser qu'il s'agissait d'une entrée secondaire. Ce passage devait être destiné à des navires de faible tirant d'eau du type de ceux retrouvés dans cette même passe proche du môle Nord (fig. 26)⁸⁰.

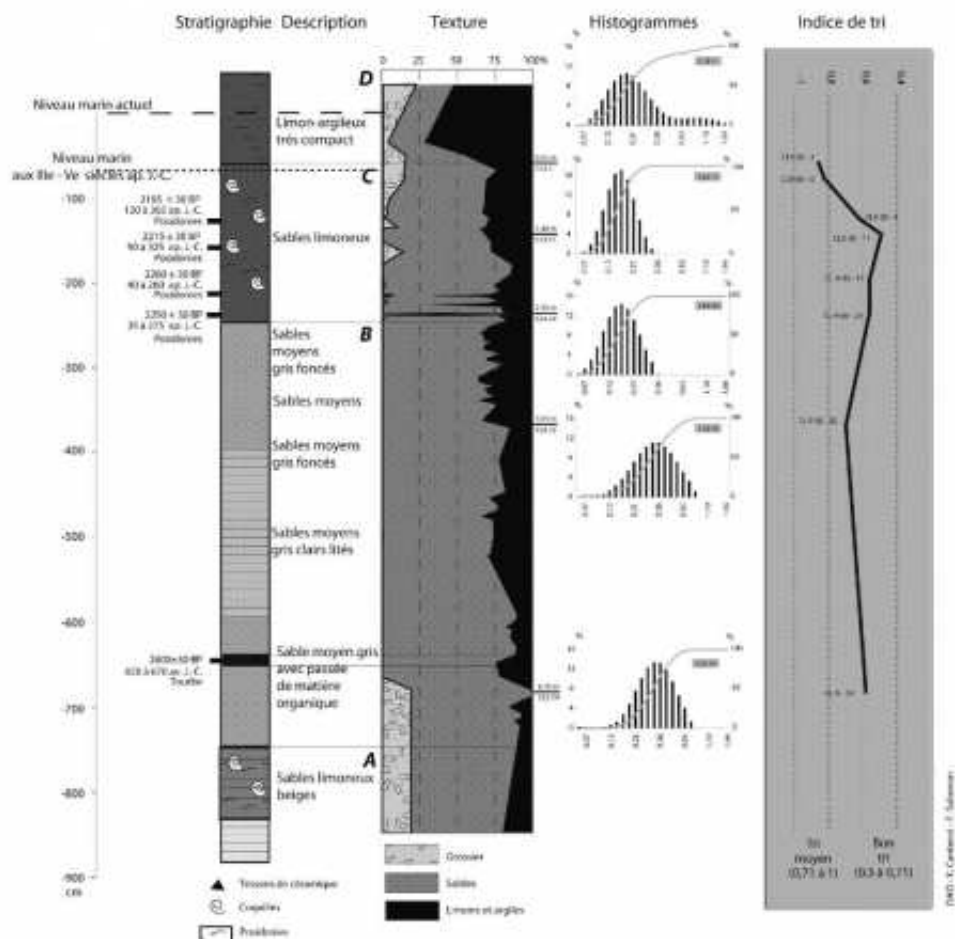


Fig. 21 – Carotte CL8 – Granulométrie.

130 Quand à savoir si cette passe était ouverte sur le domaine marin ou sur un milieu lagunaire, la question reste ouverte. De nombreux indicateurs penchent en faveur d'un hydrodynamisme fort (nombreuses coquilles cassées, textures, indices granulométriques), ce qui s'accorde mal avec un canal en connexion avec le milieu lagunaire. La présence d'*Hydrobia ventrosa* peut traduire deux phénomènes. Soit elle indique un milieu saumâtre, soit, en tant qu'espèce colonisatrice, elle traduit la présence d'un environnement instable à influences mixtes telle que peut l'être une passe.

131 La figure 25 met en évidence la dissymétrie ouest/est de la passe nord. Si à l'ouest, l'épaisseur de la colonne d'eau avoisinait 1,60 m, la section a pu offrir une épaisseur de colonne d'eau bien plus forte, de l'ordre de 5,50 m. Tout se passe comme si les ingénieurs de l'époque avaient creusé un canal artificiel près de la capitainerie. Les 5m permettaient à la plupart des navires de l'époque romaine tardive d'emprunter ce passage. Mais ce « canal », creusé au 1^{er}/1^{re} s. ap. J.-C. s'est vite s'ensablé puisque la vitesse de sédimentation a atteint 5 à 6 cm par an en moyenne. Si bien qu'au plus tard à la fin du 1^{er} siècle, ce secteur ne possède plus qu'une épaisseur de colonne d'eau de 3 m. Dans l'état de la chronologie radiocarbone actuelle, ce canal semble avoir fonctionné, au plus tard, jusqu'au milieu du 1^{er} s. ap. J.-C.

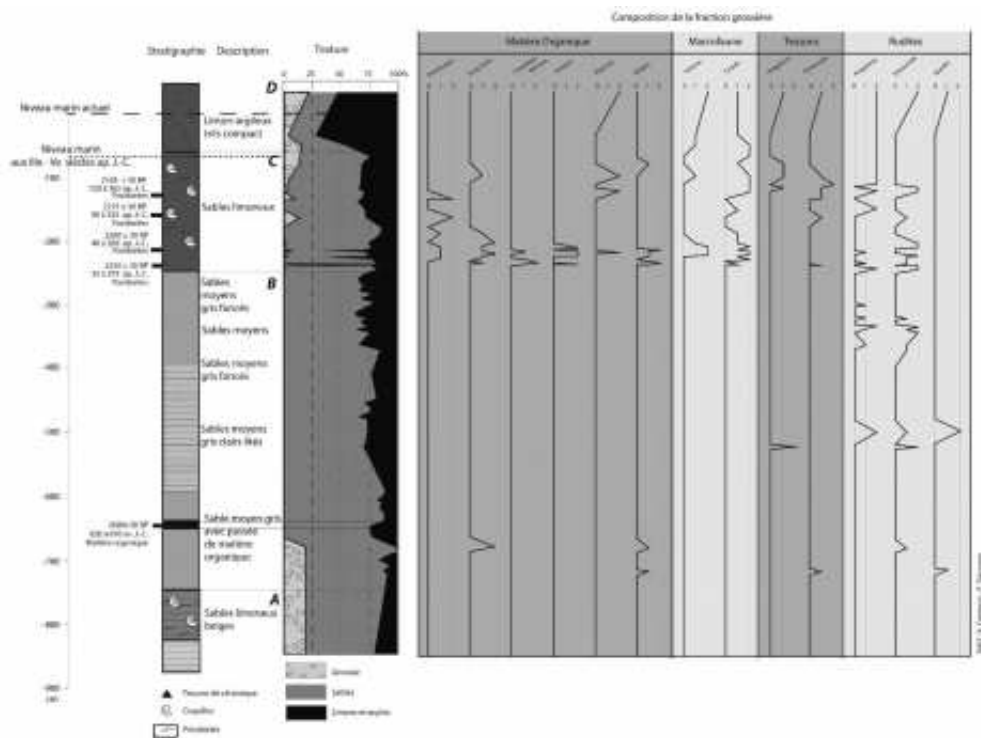


Fig. 22 – Carotte CL8 – Composition de la fraction grossière.

132 La figure 11 synthétise les informations sous forme d'une coupe stratigraphique ouest/est réalisée dans le secteur nord du port de Claude. Sur près d'un kilomètre, cinq carottages ont été réalisés. À l'est, on y voit le profil dissymétrique de la passe nord. À l'ouest, on observe l'importance de la profondeur de fondation du mole de Claude construit en domaine offshore.

3) Des faunes fixées sur la face nord du môle de Claude

133 La présence ou l'absence de faunes fixées sur les quais apportent une information capitale sur la géographie du complexe portuaire. Les faunes fixées indiquent quelle face ou portion des structures était directement en contact avec le milieu marin. Ainsi, l'absence de faune fixée se retrouve sur la partie du môle Nord en contact avec le Monte Arena (fig. 26). Mais, il est important de noter que l'absence de faune sur un segment du môle ne signifie pas forcément une absence de contact avec la mer. Deux autres raisons peuvent expliquer l'absence de faune. La première est liée au fait que les coquilles ont pu se détacher au cours du temps⁸¹. La seconde raison est que la recherche des faunes fixées s'est effectuée, pour certains endroits, dans des zones pas ou peu excavées par les archéologues. On peut alors supposer qu'elles sont toujours enfouies sous les sédiments qui sont venus colmater les bassins. La figure 26 met en évidence que des faunes fixées (huitres, vermetes, balanes) ont été aussi repérées sur la face nord du môle de Claude⁸². La présence de ces bioconstructions milite en faveur d'un vaste contact de ce secteur nord du port de Claude avec la mer. Cet élément renforce l'idée d'une ouverture marine au nord.

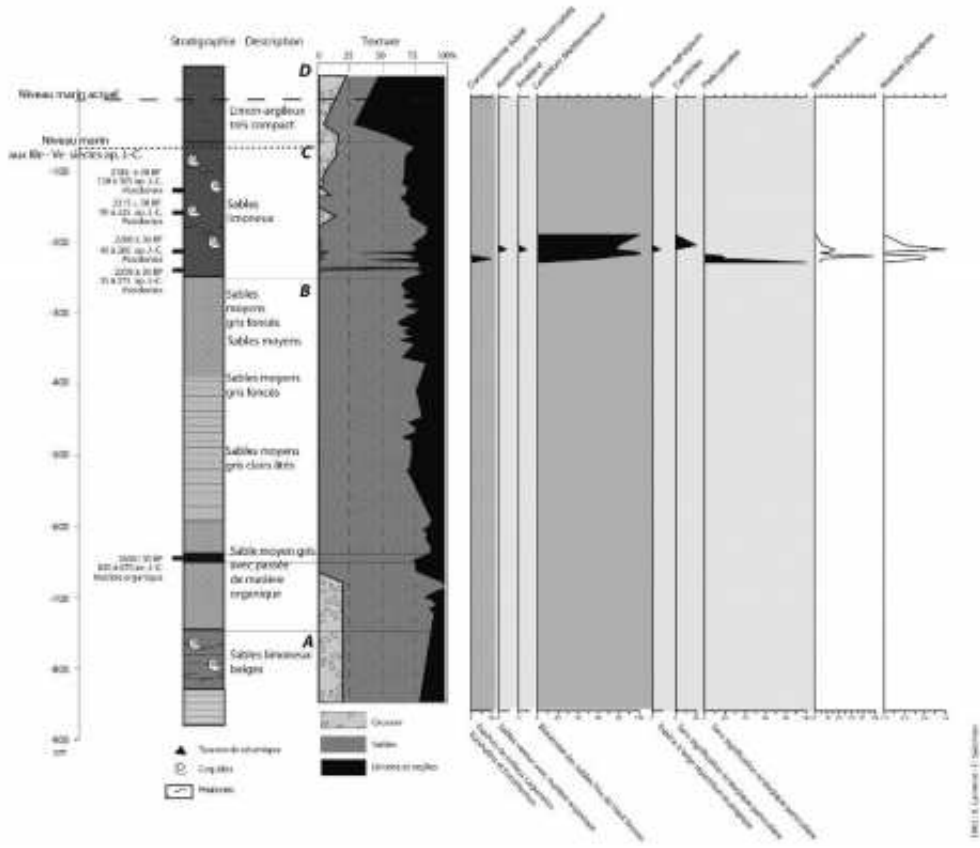


Fig. 23 – Carotte CL8 – Malacofaune.

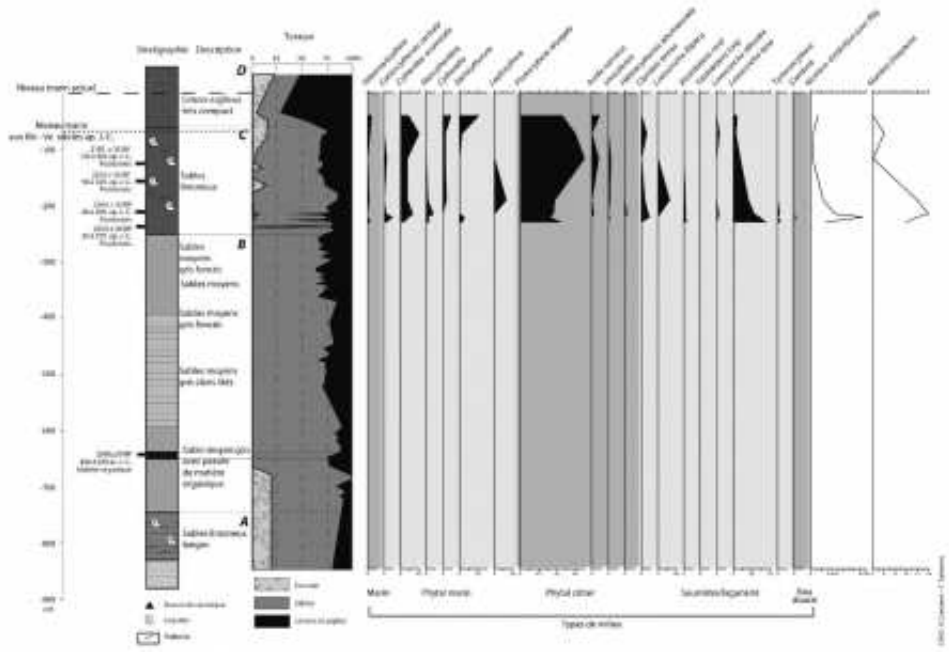


Fig. 24 – Carotte CL8 – Ostracofaune.

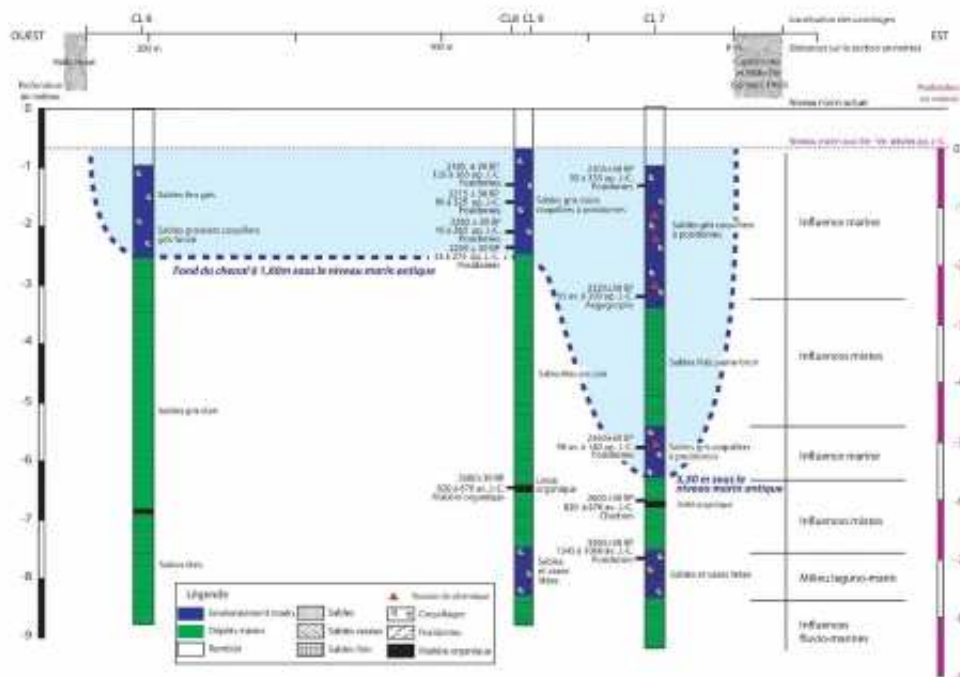


Fig. 25 – Section en travers de la passe nord du port de Claude.

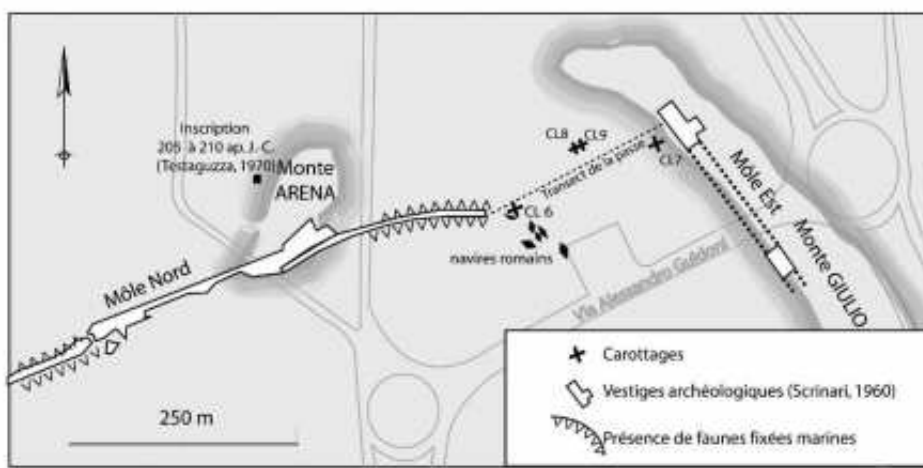


Fig. 26 – Secteur nord-est du port de Claude : localisation des carottages et des bioconstructions.

5. Nature du comblement des bassins

5.1. Le comblement du grand bassin de Claude CL2 et TR IV

134 Deux carottes ont été analysées afin de comprendre la nature et le rythme du comblement du vaste bassin de Claude. La carotte CL2 nous donne les caractéristiques sédimentaires dans le secteur central nord tandis que la carotte TR IV nous donne des informations dans le secteur sud du bassin (fig. 2).

5.1.1. Analyse de la carotte CL2 (fig. 27, 28)

135 La carotte CL2 se trouve au centre-nord du vaste bassin portuaire de Claude. Elle descend à une profondeur de 9.30 m sous le niveau marin actuel et se situe à

+0,40 m au-dessus du zéro biologique actuel.

136 Elle nous permet de reconstituer l'histoire mal connue du comblement sédimentaire de ce vaste bassin qui possédait une superficie d'environ 200 ha. À la base de la carotte, l'étude sédimentologique nous renseignera sur la nature de l'environnement pré-portuaire. À son sommet, elle apportera des précisions sur la durée de fonctionnement du bassin.

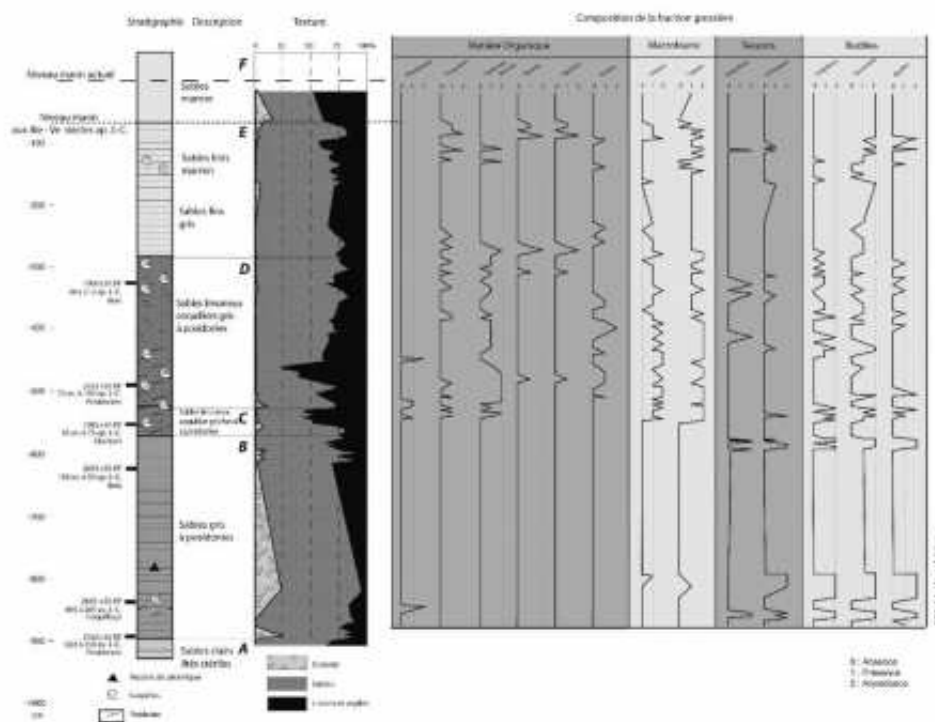


Fig. 27 – Carotte CL2 – Composition de la fraction grossière.

137 La carotte se divise en 6 unités stratigraphiques.

Unité sédimentaire A : sables lités stérile

138 Elle se compose d'un litage sablo-limoneux de couleur beige (de -9,30 m à -9,05 m sous le zéro marin actuel). La texture sableuse représente entre 60 et 70 % du poids total à sec des échantillons. La macrofaune, la microfaune et les macrorestes végétaux sont inexistantes.

Unité sédimentaire B : sables lités beiges et gris à posidonies

139 Elle se compose d'une alternance de sous-unités de sables gris à posidonies et de sables beiges entre -9,05 m à -5,80 m sous le niveau marin actuel. À la base, les sables représentent entre 70 % et 90 % du poids total à sec des échantillons et renferment des fibres de posidonies. Leur couleur varie entre le gris sur les vingt premiers centimètres puis le beige sur 10 cm enfin de nouveau gris sur les 30 cm suivants. La datation au radiocarbone réalisée sur les posidonies indique 2760 ± 30 BP (soit 620 à 350 av. J.-C.) (Poz-17614 vers -9,00 m sous le zéro marin actuel). La base de l'unité B montre une forte présence d'éclats de tessons anguleux et émoussés indéterminables et non datables. Vers -8,40 m sous le zéro marin actuel, un coquillage (CL2-135) récolté dans les sables gris a été daté de 2690 ± 30 BP (Ly-4286) soit 465-205 av. J.-C. Entre -8 et -6 m, on note la présence d'un litage et des alternances de couleur entre sables beiges et sables gris. Des posidonies et débris coquilliers ont été repérés ainsi que des petits tessons de céramiques mais de taille trop réduite pour être déterminés. L'ostracofaune est absente mais on note la présence de foraminifères intacts ou parfois émoussés. La partie sommitale de l'unité B est datée à partir d'un fragment de bois (CL2-126) de 2035 ± 30 BP soit 160 av. à 50 ap. J.-C. (Poz-17613).

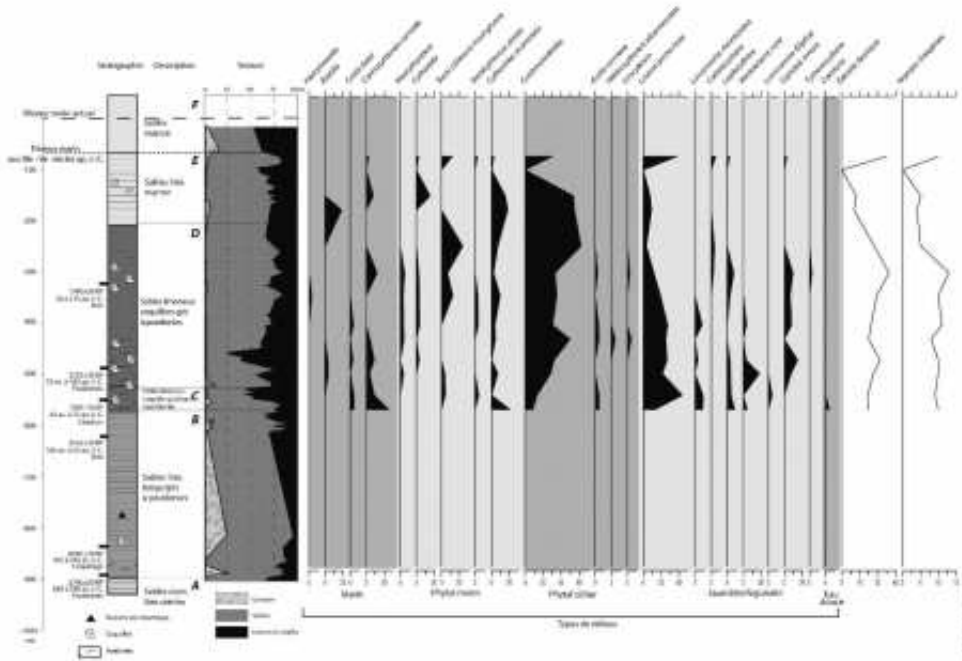


Fig. 28 – Carotte CL2 – Ostracofaune.

Unité sédimentaire C : sable argilo-limoneux gris coquillier à posidonies

140 L'unité se compose de sables argilo-limoneux gris foncés, riches en coquilles et posidonies. La macrofaune de cette unité est variée avec trois espèces dominantes : les *Donax* et les *Anadras*, qui caractérisent les milieux sableux, (échantillons CL2 – 90, 92, 96, 102 et 108). En termes de population, cinq individus de chacune de ces deux espèces sont comptabilisés. En revanche, l'échantillon CL2-92 nous donne plus d'une trentaine de *Lentidium mediterraneum*, espèce généralement présente dans les sables fins de hauts niveaux. L'unité C est la première unité à fournir de l'ostracofaune en grande quantité. En effet, les échantillons fournissent environ 100 tests d'ostracodes pour 0.5 g de sables. Les principales espèces sont les *Cytheridea* et *Carinocythereis carinata*, issues du milieu phytal marin. L'ostracofaune montre que nous sommes dans des conditions marines infralittorales, côtières et que la profondeur n'excède pas les 10 mètres. La présence de faune d'eau douce et de faune saumâtre est discrète, mais signe un apport continental. L'unité est datée par un charbon de bois de 1985 ± 30 BP soit 45 av. à 75 ap. J.-C. (Poz-17611 pour CL2-98).

Unité sédimentaire D : sable limoneux gris coquillier à posidonies

141 L'unité se compose de sable limoneux gris riches en débris coquilliers et fibres de posidonies. La macrofaune issue d'un biotope sableux se compose en majorité de *Lentidium mediterraneum*, de *Donax* et de quelques *Cardiidae*. La macrofaune représente de 70 % à 80 % du poids total à sec de la fraction grossière. L'ostracofaune est variée, avec comme espèces les plus fréquentes : *Ponthocythere elongata* (phytal côtier), les *Cytheridea* et les *Neocytherideis* (phytal marin) et *Loxonconcha lisse*, caractéristique des milieux d'embouchure.

142 La faune lagunaire commence à prendre le pas sur la faune marine. Celle-ci est toujours en position dominante, mais sans que l'on ait une explication claire, on note que l'apport continental d'eau douce n'est plus présent. Au sein du cortège laguno-saumâtre, on note la présence des *Tyrrhenocythere*, typiques des apports hydrothermaux. Les fibres de posidonies présentes dans l'échantillon CL2-78 ont pu servir de support pour une datation au radiocarbone : 2335 ± 30 BP soit de -55 av. à + 180 ap. J.-C. (Poz-17610). Dans l'échantillon CL2-35, un fragment de bois a été daté de 1900 ± 30 BP soit 30 à 215 ap. J.C. (Poz-17609).

Unité sédimentaire E : sable marron lité coquillier

143 L'unité se compose de sables marron lités. On note également la présence de macrofaune et de matière organique, mais en quantité plus limitée que dans l'unité précédente. Ici des rudites composent l'essentiel de la fraction grossière, environ 60 % à 70 %. La macrofaune représente 40 % du poids total à sec de la fraction grossière, mais son mauvais état ne permet pas de détermination. La population d'ostracodes décroît. Il faut en moyenne observer 15 grammes de sables pour recueillir entre 10 et 40 tests. Les espèces de cette unité sont majoritairement les mêmes que celles de l'unité précédente à savoir : les *Cytheridea*, *Ponthocythere elongata* et *Loxonconcha lisse*, qui représentent les domaines du phytal marin, du phytal côtier et de l'embouchure. La composante marine reprend le dessus sur la faune laguno-saumâtre.

Unité sédimentaire F : sable marron clair

144 L'unité se compose de sables moyens marron clair. La macrofaune représente moins de 5 % du poids total à sec de la fraction grossière et est indéterminable. La microfaune est inexistante.

5.1.2. Interprétation de la carotte CL2

1) Un milieu pré-portuaire caractérisé par un environnement marin ouvert du VII^e s. av. J.-C. au I^{er} s. ap. J.-C.

145 Le milieu portuaire est de deux types. À la base, l'unité A s'apparente à un environnement fluviomarin caractérisé par un litage de sables jaunâtres stériles. L'unité B se développe sur plus de 3 mètres et montre un litage de sables sujets à des variations de couleur, celle-ci oscillant entre le gris et le jaune. Ces sables emballent quelques coquillages marins finement brisés, des fibres de posidonies et quelques petits tessons de céramiques non déterminables. Il est curieux de noter l'absence d'ostracodes. L'ensemble caractérise un milieu marin battu et très exposé aux tempêtes. Cet état débute au cours du ve s. av. J.-C. et perdure jusqu'au I^{er} s. ap. J.-C. La vitesse moyenne d'accrétion sédimentaire atteint une moyenne de 3 cm/an. Les sables, qui présentent une structure litée, peuvent suggérer la présence d'un courant. Il reste difficile d'apprécier l'influence du Tibre dans ce secteur et la proximité de son embouchure. Il demeure également délicat d'interpréter l'origine des petits fragments de céramique préportuaire.

2) L'ensablement d'un bassin portuaire entre le milieu du I^{er} s. ap. J.-C. et le III^e s. ap. J.-C.

146 Les unités C et D se composent de sables limoneux gris foncé très riches en posidonies, en coquilles intactes et en ostracofaune. Ce faciès tranche avec la partie supérieure de l'unité B caractérisée par des sables lités gris clair, pauvres quant à leur contenu faunistique. Les ostracodes des unités C et D montrent deux influences. D'une part, une influence d'origine marine attestant que le milieu reste très ouvert sur le large ; d'autre part une influence laguno-saumâtre indiquant qu'une fermeture relative du milieu est intervenue. La couleur plus foncée des échantillons renforce cette idée d'un milieu moins brassé. Cette modification de faciès intervient entre le milieu du I^{er} s. av. J.-C. et le milieu du I^{er} s. ap. J.-C. Ces changements brutaux ont probablement une origine anthropique et sont à mettre en relation avec la construction des môles de Claude.

147 L'ostracofaune de l'unité D montre qu'un milieu lagunaire s'installe entre le I^{er} et le début du III^e s. ap. J.-C. Par la suite, l'unité E composée de sables lités montre l'apparition d'un courant et l'ostracofaune perd son caractère laguno-saumâtre pour redevenir davantage marine. Cette tendance évoque soit un démantèlement des môles par des tempêtes, soit une volonté de faire revenir les courants dans le bassin pour ralentir son ensablement.

148 Les unités C, D et E correspondent à une séquence liménique principale,

typique du remplissage du grand bassin de Claude par son faciès sableux.

3) Paléo-profondeur dans le bassin de Claude

149 Le niveau marin biologique découvert sur le môle de Claude permet d'estimer la profondeur du bassin autour de la zone de carottage de CL2. Vers le 1^{er} s. ap. J.-C., de la construction du bassin de Claude la profondeur était aux alentours de 7 m sous le niveau marin antique.

150 Les archives pré-portuaires sont présentes et correspondent à des fonds marins infralittoraux datés entre le 1^{er} av. et le 1^{er} ap. J.-C. Tout se passe comme si aucune opération de creusement n'avait été nécessaire et que la profondeur de 7 mètres était déjà naturellement acquise dans ce secteur. Cet aspect devra être confirmé lors de la prochaine campagne de carottages.

151 Vers la fin du 11^e s. ap. J.-C., la hauteur de la colonne d'eau dans ce secteur n'est plus que de 4 m. La vitesse d'ensablement est en moyenne de l'ordre de 2cm/an, ce qui est une valeur élevée. Nous ne disposons pas de datation sur les 3 mètres supérieurs de la carotte, ce qui rend impossible une réflexion sur le rythme d'ensablement final.

5.1.3. Analyse de la carotte TR IV (fig. 29, 30, 31, 32, 33)

152 La carotte TR-IV est située à l'ouest du môle interne orienté sud/nord (fig. 2). L'idée était de comparer les milieux de sédimentation de part et d'autre de ce môle. Cinq unités sédimentaires se différencient.

Unité sédimentaire A : sable stérile

153 Elle se compose de sables limoneux entre 7,50 m et 6,90 m sous le niveau marin actuel. La fraction grossière est inexistante et l'unité est stérile. La granulométrie laser de la fraction sableuse montre un histogramme unimodal et un bon tri.

Unité sédimentaire B : vases sableuses coquillères

154 L'unité se compose de vases sableuses coquillères, entre 6,90 m et 5,00 m sous le niveau marin actuel. La base est datée, sur un fragment de bois, de 1990 ± 30 BP, soit de 50 av. à 70 ap. J.-C. (TRIV-42 Poz-17593). Au niveau de la texture, les trois fractions (grossière, sableuse et argilolimoneuse) représente chacune 1/3 de l'échantillon. La granulométrie montre que, au sein des sables, les sables grossiers sont majoritaires et que l'indice de tri n'est pas très bon.

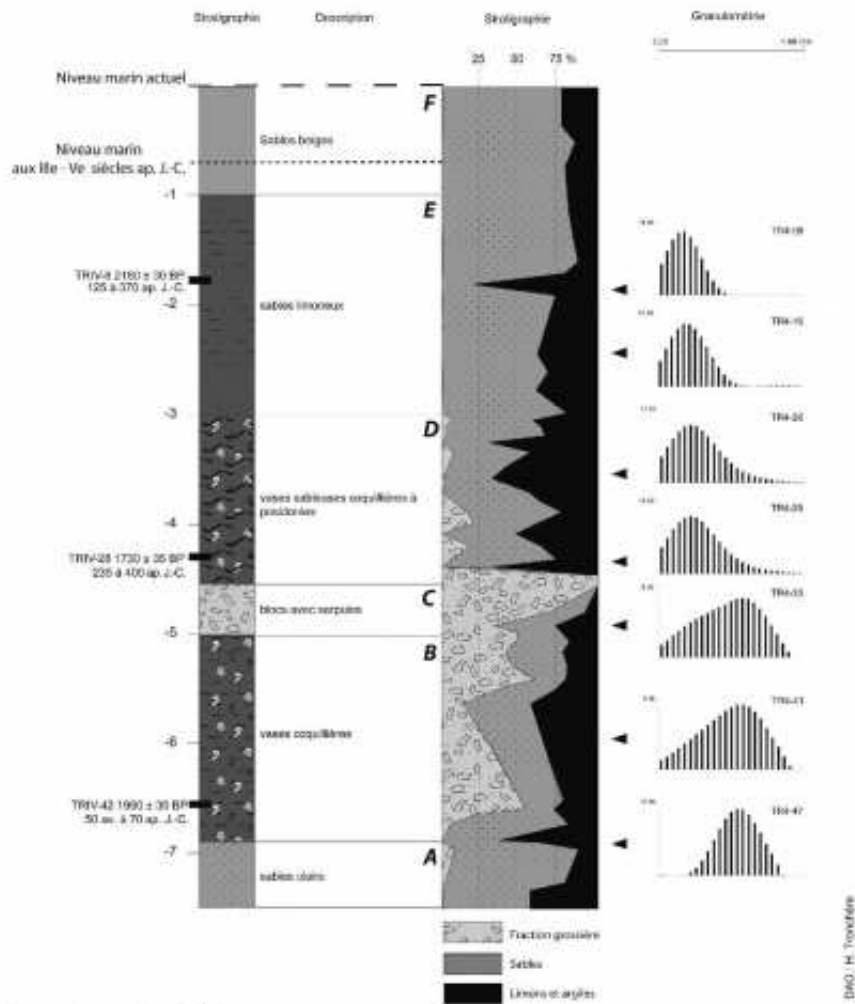


Fig. 29 – Carotte TRIV – Granulométrie.

155 Le stock macrofaunistique est important mais se caractérise surtout par des coquilles brisées et difficilement déterminables. Toutefois, sur le haut du tronçon de carotte, les coquilles de trois espèces sont identifiables : *Nassarius reticulatus* (sédiments sableux), une Balane et *Gibbula cf. racketsi* (substrats rocheux). L'ostracofaune est absente, hormis un individu : *Xestoleberis long*, normalement un indicateur de milieu d'embouchure. La présence d'un unique exemplaire fait que sa signification environnementale est à considérer avec précaution.

Unité sédimentaire C : blocs de pouzzolane

156 L'unité C se compose sur 40 cm de blocs de pouzzolane et de pierre d'origine volcanique (entre -5,00 m et -4,60 m). Des tessons de céramique indéterminable sont présents pour la première fois dans cette carotte TR IV.

158 L'unité se développe sur une épaisseur de 2 m entre 3,00 m et 1,00 m sous le niveau marin actuel. Sa partie centrale est datée de 2180 ± 30 BP, soit de 125 à 370 ap. J.-C. (TRIV-8 Poz-16108). Elle rassemble des sables avec une proportion de limons et d'argiles qui diminue de la base au sommet en passant de 35 % à 20 % du poids total à sec des échantillons. Les fibres de posidonies sont encore présentes. Par rapport à l'unité précédente, cette unité comporte peu de macrofaune. Mis à part un *Lentidium mediterraneum* indicateur de sédiments sablo-vaseux au sommet de l'unité, toutes les autres coquilles ont été retrouvées vers 3 m de profondeur. On y trouve quelques *Cerastoderma* (sédiments envasés), quelques *Striarca lactea* (substrats rocheux) et de nombreux *Lentidium mediterraneum* (sédiments sablo-vaseux). On trouve par contre de nombreuses espèces différentes d'ostracodes mais le milieu phytal côtier reste le mieux représenté.

Unité sédimentaire F : sables limoneux

159 L'unité sommitale F est épaisse d'un mètre et se compose de sédiments sablo-limoneux. La proportion de macrofaune diminue et la plupart des coquilles sont brisées.

5.1.4. Interprétation TR IV (fig. 34)

1) Un milieu pré-portuaire caractérisé par un environnement marin ouvert

160 À la base de la carotte, l'unité A, définie par un litage régulier, un matériel fin, une couleur jaune et l'absence de faune, suggère une mise en place par une dynamique fluvio-marine. L'unité B, composée en majorité de sables grossiers et de débris coquilliers d'origine marine, caractérise un milieu marin ouvert. L'importance du stock de coquilles brisées renforce l'idée d'un milieu battu et exposé à la houle et aux courants. La datation réalisée à la base est de 1990 ± 30 BP, soit 50 av. à 70 ap. J.-C. (TRIV-42 Poz-17593). En raison de la marge d'imprécision chronologique, l'unité B correspond : soit à un milieu pré-portuaire (il s'agit alors d'un milieu marin infralittoral, ouvert et typique d'une côte meuble deltaïque) ; soit au début du fonctionnement du bassin de Claude. Dans ce dernier cas, il apparaît de façon claire que dans ce secteur, le bassin de Claude ne joue pas son rôle de port et de milieu de sédimentation calme.

2) Différentes phases de comblement du secteur sud du bassin portuaire de Claude

161 Les blocs de pouzzolane trouvés à ce niveau font certainement partie des fondations du môle nord/sud adjacent. Il s'agit probablement de la couche qui marque le début de la mise en fonctionnement du port. Les serpules fixées sur certains blocs indiquent qu'ils ont bien séjourné dans l'eau de mer. Si ces blocs sont en place et correspondent bien à l'assise du môle, la semelle de fondation descend alors jusqu'à une profondeur d'environ 4 m sous le niveau marin antique.

162 À sa base, l'unité D sablo-vaseuse est datée de 1730 ± 35 BP, soit de 235 à 400 ap. J.-C. (TRIV-28 Poz-16279). La construction du môle semble s'être répercutée de deux façons sur les sédiments. Dans un premier temps, tout se passe comme si, au début du fonctionnement du port, entre le 1^{er} et le début du III^e s. ap. J.-C., les sédiments n'avaient pas pu se déposer. On note une lacune sédimentaire de deux siècles dans ce secteur. Il pourrait s'agir soit d'un courant mis en place parallèlement au môle, limitant ainsi les dépôts, soit du résultat d'une ou plusieurs phases de curages. Dans un second temps, au début du III^e s. ap. J.-C., on assiste à un dépôt de sables vaseux riches en posidonies. Un faible courant s'est maintenu, comme l'atteste le bon tri des sables fins. L'abondance de macrofaune de tous types renforce l'impression d'un environnement soumis à des

influences multiples (lagunaires, marines, voire même fluviales).

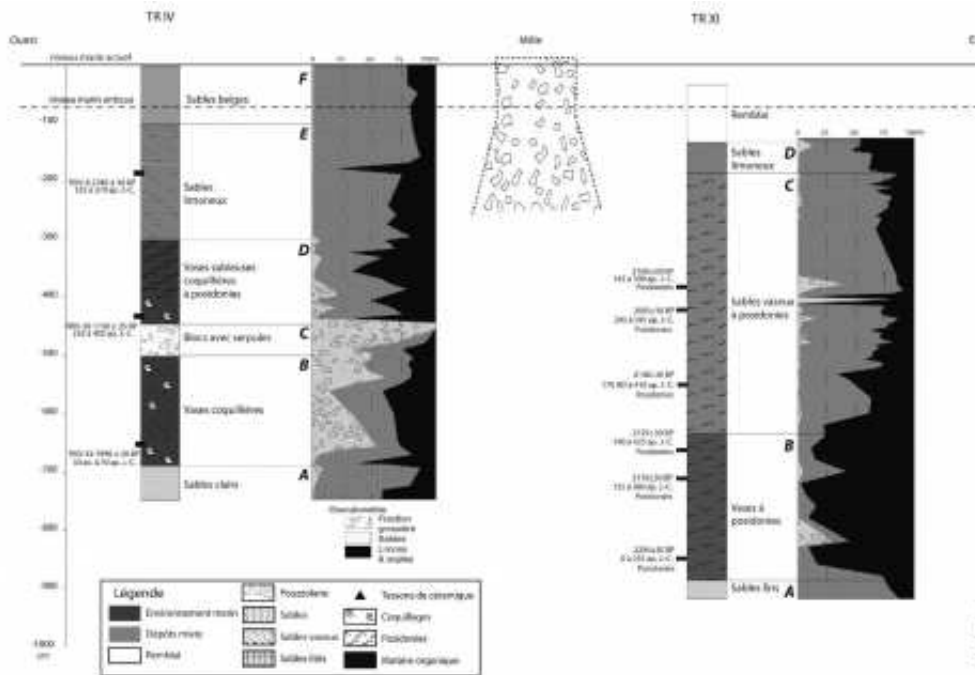


Fig. 34 – Transect de part et d'autre du môle à l'entrée du port de Trajan.

163 La tendance générale correspond à un milieu qui se ferme progressivement. Cette dynamique est contemporaine, selon toute logique, de la fin lente du complexe portuaire, mais ce dernier est toujours soumis à l'influence marine, au moins partielle, comme en témoigne l'ostracofaune.

164 Afin de mieux comprendre l'évolution finale du complexe portuaire dans ce secteur, il serait intéressant de relancer des analyses microfaunistiques avec un pas d'observation plus serré.

5.2. Le chenal d'accès de l'hexagone du port de Trajan

5.2.1. Analyse de la carotte TR XI (fig. 34)

165 La carotte TR-XI se situe à l'entrée/sortie nord du chenal d'accès au port de Trajan. L'analyse de ce carottage est en cours. Nous disposons des données texturale et de 6 datations au radiocarbone. Quatre unités sédimentaires peuvent être distinguées.

Unité sédimentaire A : des sables fins stériles

166 L'unité basale se compose d'une alternance de sables fins et de sables limoneux. La couleur dominante est le jaune/beige. Aucune faune n'est récoltée. La profondeur maximale atteinte est de 920 cm sous le niveau marin actuel.

Unité sédimentaire B : des vases à posidonies

167 L'unité B se caractérise par un faciès d'argiles limoneuses d'une épaisseur de 2,50 m. La proportion moyenne de la fraction limono-argileuse est de 85 %. Les posidonies sont présentes mais en faible quantité. Les faunes en large majorité d'origine marine sont en cours de détermination. La base de l'unité est datée de 2295 ± 30 BP soit de 0 à 235 ap. J.-C. (TR11-81 Poz-17596), le secteur médian de 2170 ± 30 BP soit de 135 à 380 ap. J.C. (TR11-67 Ly-4044) et la partie sommitale de 2125 ± 30 BP soit de 190 à 425 ap. J.-C. (TR11-61 Ly-4042). Au sein de cette unité A, la vitesse moyenne apparente est de l'ordre de 1cm/an.

Unité sédimentaire C : des sables vaseux à posidonies

168 L'unité de sables vaseux se développe sur une épaisseur de près de 4,50 m. Les sables dominant et représentent en moyenne 75 % du poids total à sec des échantillons. La fraction limono-argileuse totalise 20 à 25 % du poids total à sec. Les posidonies sont présentes. Les faunes sont en cours de détermination. Trois datations au radiocarbone ont été réalisées entre 5 m et 3 m sous le niveau marin actuel. La base de l'unité est datée de 2140 ± 30 BP soit de 170 à 410 ap. J.-C. (TR11-53 Ly-17595). La partie médiane est datée de 2005 ± 50 BP soit de 295 à 595 ap. J.-C. (TR11-31 Poz-16100) et de 2160 ± 30 BP soit de 145 à 390 ap. J.-C. (TR11-25 Poz-17594). Dans la première moitié de l'unité, la vitesse moyenne d'ensablement est de 2 cm/an.

Unité sédimentaire D : sables argileux

169 L'unité sommitale, d'une épaisseur de 50 cm, se compose de sables argileux et se caractérise par la disparition des fibres de posidonies.

5.2.2. Interprétation de la carotte TR XI (fig. 34)

170 Les interprétations de la carotte TR XI resteront limitées en raison du manque de données paléo environnementales, les analyses granulométriques et biologiques étant en cours. Les grandes lignes d'interprétation et de discussion pourraient être les suivantes :

171 L'unité A, composée de sables lités stériles, caractérise un milieu fluvio-marin. L'unité B se définit par un changement de faciès brutal avec un dépôt compact limono-argileux représentant 85 % du poids total à sec des échantillons. La datation basale est de 2295 ± 30 BP soit entre le 1^{er} s. et le début du III^e s. J.-C. (Poz-17596). L'accumulation soudaine de ces vases à posidonies suggère un milieu de sédimentation calme et la présence de môles. Cependant, la vitesse de sédimentation élevée, de l'ordre de 1cm/an suggère d'importants apports sédimentaires de fines issues du Tibre. Autrement dit, ce milieu est à la fois protégé mais reçoit deux influences, l'une du milieu marin par l'arrivée de posidonies et l'autre du Tibre par l'apport d'un stock argilo-limoneux.

172 La transition de faciès entre l'unité B et l'unité C est plus progressive mais, en moyenne, les sables deviennent largement majoritaires avec 70 % du poids total à sec des échantillons. Les sables s'accumulent de façon rapide. La vitesse de sédimentation atteint 2 cm/an. Deux hypothèses sont à envisager pour expliquer que les sables se substituent aux vases entre la fin du III^e s. et la fin du IV^e s. ap. J.-C. Soit les môles, jouant un rôle de brise-lame, sont mal entretenus et ne protègent dorénavant plus assez bien ce secteur. Soit, un courant s'est mis en place dans ce secteur et ne permet plus le dépôt de fines. Cette dernière hypothèse est à mettre en relation avec la volonté de générer un courant de chasse pour tenter de limiter l'envasement du chenal d'accès à l'hexagone. Mais l'on assiste à l'effet inverse avec un doublement de la vitesse moyenne de sédimentation qui atteint 2 cm d'accumulation de sable par an.

173 La dernière remarque concerne la paléo-profondeur qui frôle les 8 m sous le zéro marin antique. Dans ce secteur d'entrée/sortie, il s'agit d'une des profondeurs les plus importantes calculées dans ce complexe portuaire.

5.2.3. Analyse de la carotte TR XIX (fig. 35, 36, 37, 38)

174 La carotte TR XIX se situe dans le chenal d'accès à l'hexagone. Elle atteint la profondeur de 8,70 m sous le niveau marin actuel et six unités sédimentaires peuvent être distinguées.

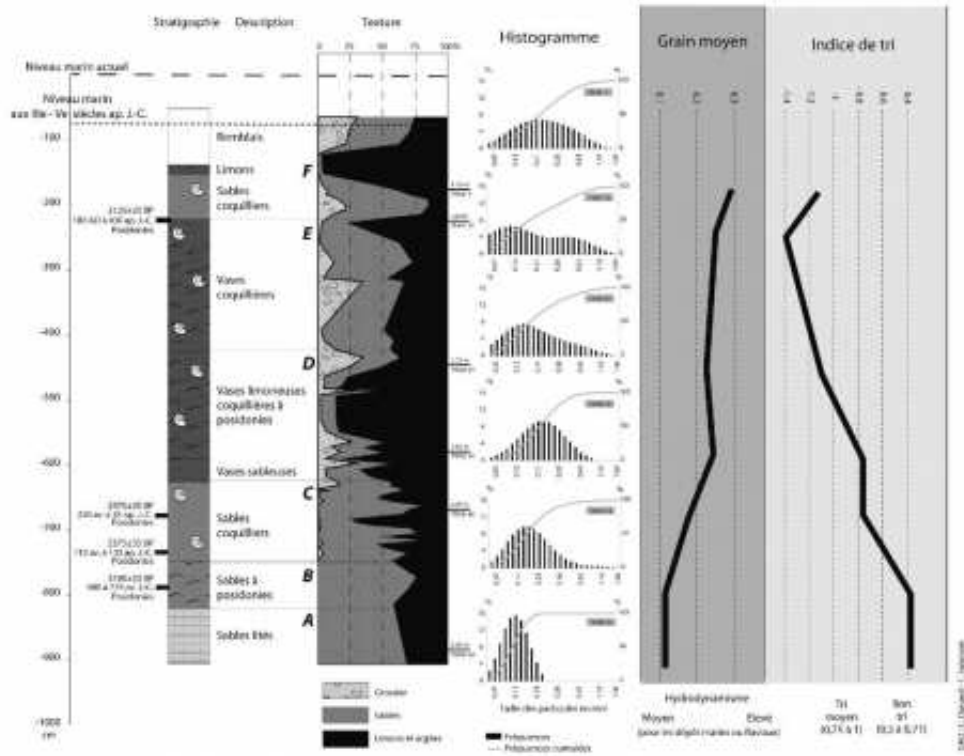


Fig. 35 – Carotte TRXIX – Granulométrie.

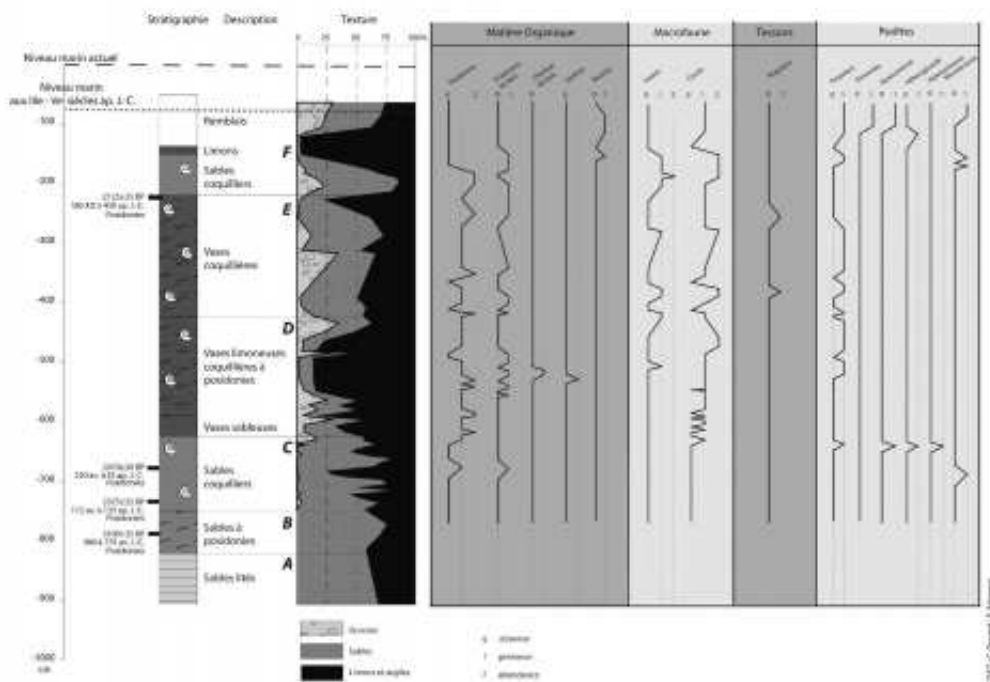


Fig. 36 – Carotte TRXIX – Composition de la fraction grossière.

activité en place. Les fibres de posidonies signalent la présence d'un milieu ouvert sur la mer.

178 Le contenu macrofaunistique est pauvre et les individus sont en majorité brisés. *Cerastoderma edule glaucum* est l'espèce dominante avec une forme déjetée dénotant un milieu dessalé. L'espèce est caractéristique des lagunes euryhalines et eurythermes. Toutes les formes, des juvéniles aux adultes, ont été recensées : cette faune est donc en place.

179 L'ostracofaune rassemble cinq assemblages (marin, phytal côtier, embouchure, estuarien, eau douce) et totalise huit espèces différentes. Ce milieu subit les deux influences continentale et marine. Même si la composante d'eau douce reste majoritaire (75 % des taxons), ce milieu reste ouvert sur la mer.

Unité sédimentaire C : sables vaseux coquilliers

180 Des sables vaseux coquilliers se sont accumulés sur environ 1 m. Leur base est datée de 2375 ± 35 BP soit de 115 av. à 135 ap. J.-C. (échantillon TR XIX 59 posi, Ly-4244). Au sommet, la datation est de 2470 +/- 30 BP soit de 220 av. à 35 ap. J.-C. (échantillon TR XIX 46, Poz-16104). L'unité se caractérise par une proportion moyenne de la fraction sableuse légèrement supérieure (55 %) à celle de la fraction limono-argileuse (45 %). La macrofaune et la matière organique représentent 90 % du ballast : les échantillons analysés sont riches en débris coquilliers et en fibres de posidonies. La granulométrie laser met en évidence une répartition unimodale des sables. Le grain moyen est plus élevé : on est à la limite des sables fins et des sables moyens. Cependant, la classe modale est autour de 165 µm. L'indice de tri (0.85) est très bon et identique à celui de l'unité sous-jacente. L'indice d'asymétrie est positif (0,83) : c'est le signe d'une sédimentation enrichie par des éléments plus grossiers qu'auparavant.

181 La macrofaune rassemble trois espèces différentes, mais on trouve surtout des *Cerastoderma edule glaucum*. La valve de *Lutraria cf. lutraria* juvénile est synonyme d'un environnement sablovaseux.

182 Au total, six stocks d'ostracodes sont recensés et 21 espèces ont été dénombrées dont les deux tiers appartiennent à l'assemblage estuarien dont les représentants sont les *Cyprideis* et les Ponthocythères. Des foraminifères ont été aperçus : des Orbulines, qui sont des foraminifères planctoniques mais surtout *Ammonia beccarii tepida*, indicateur de dessalure. On rencontre souvent cette dernière dans les milieux lagunaires hyperhalins. On note quelques petits cristaux de gypse.

Unité sédimentaire D : vases coquillières à posidonies

183 L'unité stratigraphique est épaisse de 2,00 m et s'individualise par son abondante fraction limonoargileuse gris foncé. Cette dernière représente en moyenne 75 % du poids total à sec des échantillons. Les fibres de posidonies sont très présentes.

184 Trois espèces constituent le stock malacologique : *Cerastoderma edule glaucum*, *Tapes decussatus* et *Cyclope neritea*. Les *Tapes decussatus* appartiennent aux sables vaseux de mode calme : elle est fréquemment située dans les zones de transition entre les peuplements de type lagunaire et ceux purement marins. Les *Cyclope neritea* sont des marqueurs de milieux dessalés. Cette dernière information environnementale coïncide avec la forme déjetée des *Cerastoderma edule glaucum*. *Hydrobia sp.* est le premier gastéropode que l'on retrouve dans cette carotte. Il est le marqueur d'un milieu saumâtre.

185 L'ostracofaune est tout aussi variée que dans l'unité inférieure. Plusieurs stocks ont été dénombrés sur les trois échantillons analysés. Neuf espèces différentes apparaissent : les Ponthocythère et les *Loxoconcha* sont les espèces dominantes. Les assemblages d'eau douce, estuarien, et d'embouchure supplantent encore l'ostracofaune de type côtier ou marin. Toutefois, le dernier échantillon offre un panel plus large de faune côtière et marine et permet de nuancer les apports continentaux.

Unité sédimentaire E : vases sableuses

186 La texture globale des sédiments de cette unité diverge de celle de l'étage inférieur. La fraction sableuse s'est élargie, variant entre 20 et 40 %, mais les limons et argiles restent bien représentés (30 à 60 %). Les vases ont une couleur gris foncé. La macrofaune est constituée de débris coquilliers. Les fibres de posidonies sont très nombreuses. L'histogramme des sables montre une asymétrie forte : elle est de -0,20, ce qui suggère un enrichissement en éléments fins. La classe modale est voisine de 170 mm ; le grain moyen est 240 mm. L'indice de tri est relativement bon avec 1,13.

187 On observe un fort accroissement de la macrofaune marine. Malgré le mauvais état des coquilles, en majorité brisées, certaines espèces ont pu être déterminées. Les *Cerastoderma edule glaucum* demeurent l'espèce dominante, quand bien même leur proportion paraît s'amoinrir. Les *Cyclope neritea* apparaissent de nouveau. L'individu de *Nassarius reticulatus* observé est la première espèce indiquant une influence marine : cette espèce est caractéristique des sables fins infralittoraux. Mais, nous n'avons retrouvé qu'un seul individu. Elle est peut-être le fait d'un apport extérieur. La faible quantité des espèces et la prolifération des populations attestent des conditions environnementales d'un milieu fermé, un milieu de type lagunaire où la concurrence entre les espèces est minime.

188 L'ostracofaune de type marin et côtier se retrouve à proportion presque égale avec la faune d'eau douce. Cependant, les *Carino cythereis*, les *Loxoconca* et les Pontocythère, sont les espèces les plus présentes. Ce sont majoritairement les marqueurs d'une influence continentale.

Unité sédimentaire F : sables gris/beiges coquilliers

189 L'unité F, épaisse de 60 cm, se compose de sables vaseux coquilliers de couleur gris beige. La base est datée de 2125 ± 35 BP soit de 180 à 430 ap. J.-C. (TR XIX 13, Poz-16101).

190 La texture globale du sédiment est ainsi dominée par une proportion considérable de sables, soit 70 à 80 % de son poids total à sec. La fraction limoneuse est restreinte à 5 à 10 %. Le ballast voit la disparition de l'association fibres de posidonies/macrofaune : seule la macrofaune subsiste, avec des coquilles bien conservées.

191 À la base de cette unité, l'histogramme des sables devient bimodal avant de reprendre une allure unimodale. À la base, les classes modales sont de 115 mm et de 630 mm. L'indice de tri est le plus élevé de la carotte avec 1,3 : on est à la limite avec les sables mal triés. L'asymétrie de l'histogramme est encore fortement négative avec -0,22. Le grain moyen est de 290 mm : on est passé dans la catégorie des sables moyens. Les influences semblent être nombreuses à la base de cette unité. Au sommet de l'unité, la classe modale s'est élevée : elle est de 242 mm. L'indice de tri redevient bon avec 1,06.

192 En terme malacologique, on voit réapparaître les *Cerastoderma edule glaucum* qui avaient disparu à la fin de la sous-unité précédente. Deux nouvelles espèces signalent un changement majeur des conditions environnementales. On note l'existence de *Tellina serrata* : ces espèces se rencontrent dans les milieux détritiques envasés. Les *Hydrobia acuta* se sont développées en quantité à cet étage : ce sont des indicateurs d'eaux saumâtres.

193 Pour l'ostracofaune, les influences du domaine marin disparaissent. L'ostracofaune devient exclusivement de type estuarien ou d'embouchure. La venue en masse de l'espèce colonisatrice *Cyprideis torosa* confirme le changement des caractères environnementaux. L'association des *Ammonia beccari tepida*, foraminifères d'eau douce, et des tiges calcifiées de carophytes, plante d'eau douce, réaffirme la coupure du site vis-à-vis du domaine marin.

5.2.4. Interprétation de la carotte TRXIX (fig. 35, 36, 37, 38)

1) Un milieu pré-portuaire aux dynamiques complexes

194 Le milieu pré-portuaire est occupé par un niveau fluvio-marin marqué par des laminations de sables/sables limoneux jaune stériles. Ce niveau peut-être dater du deuxième millénaire avant J.-C. ou encore avant.

195 Au début du premier millénaire av. J.-C. se dépose un sédiment formé de sables vaseux. Il s'agit de l'unité B datée grâce à la présence de posidonies (980 à 775 av. J.-C.). L'analyse texturale ne montre pas de rupture nette entre l'unité A et B, en revanche la présence de ces posidonies nous renseigne sur un changement rapide dans les processus de dépôt et le paysage. Un milieu marin ouvert succède à un milieu supposé fluvial. D'autres marqueurs biologiques présents dans cette unité nous invitent cependant à nuancer notre proposition. Les ostracodes nous indiquent un milieu de transition, entre des apports marins et continentaux. L'ostracofaune marine et côtière représente 20 % de la répartition totale. Le *Cyprideis torosa* est connue pour être une espèce vivant dans des eaux à caractéristiques chimiques variables (fortes variations de salinité avec phases de sursalure) : cette espèce dénote le caractère perturbé du milieu. L'ostracofaune d'eau douce représente elle aussi 20 % de la distribution totale. La macrofaune nous indique quand à elle un milieu de dessalure, donc une influence continentale par apport d'eau douce. Les micro-tessonns présents dans cette unité montrent que la présence humaine est déjà importante, mais qu'elle ne se situe pas à proximité immédiate de cette unité de dépôt.

196 La séquence stratigraphique de l'histoire pré-portuaire plus récente est absente. Elle fut détruite par le dragage réalisé pour l'installation du chenal d'accès au port de Trajan et à la *darsena*.

2) Le comblement du chenal d'accès à l'hexagone

197 Le comblement du chenal d'accès à l'hexagone de Trajan peut être découpé en quatre phases successives.

198 L'unité C a pu être datée à la base à 2375 ± 35 BP, soit entre 115 av. J.-C. et 135 ap. J.-C. Cette datation nous permet de supposer qu'il s'agit là des premiers dépôts consécutifs au creusement de ce chenal au milieu du 1^{er} siècle ap. J.-C. par l'empereur Claude ou ses successeurs. Une seconde date à 2470 BP, calibrée entre 220 av. J.-C. et 35 ap. J.C., un peu récente pour notre interprétation, peut être considérée comme un remaniement des dépôts sous-jacents lors du creusement et des premiers moments d'activité de ce passage. Cette unité C est composée de sédiments sablo-vaseux coquilliers. Le dépôt est caractérisé par la succession de dépôts à dominante sableuse ou limono-argileuse induits peut-être par des effets de chasses saisonniers. En général on peut considérer qu'il s'agit là d'un milieu de sédimentation calme et confiné permis par la configuration des structures de ce chenal. La forme déjetée des *Cerastoderma edule glaucum*, mais surtout la présence de *candona*, témoigne d'une influence continentale forte. Cette eau douce provient vraisemblablement des canaux qui relie le Tibre et *Portus* (ex. *Fossa traiana*).

199 Le dépôt de l'unité C mène progressivement au dépôt de l'unité D caractérisé par des vases limoneuses. L'association des *Tapes decussatus* et des *Cerastoderma*, indique des conditions hydrodynamiques calmes, favorables aux conditions de sédimentation vaseuses. Les influences du milieu restent à la fois continentales et marines. Les *Cyclope neritea* notamment, marqueurs de dessalure, réaffirment le rôle joué par les canaux dans l'alimentation et le drainage des eaux du port de Trajan.

200 Le chenal continue de se combler. L'unité sableuse E présente un faciès de plus en plus noir lié à un milieu de plus en plus anoxique. La macrofaune indique une

influence marine beaucoup plus forte, les apports d'eau douce se font moins importants. Les connexions des bassins avec le Tibre se réduisent. Les canaux ne sont peut-être plus entretenus. Le sommet de cette unité a pu être daté entre 180 et 430 ap. J.-C. En moyenne la vitesse de dépôt dans ce chenal est assez rapide puisqu'elle serait en moyenne de 1,2 cm/an depuis Claude.

201 Le milieu continue de se fermer dans l'unité F avec la disparition de la microfaune et de la macrofaune marine et côtière. L'essor des *Hydrobia* marque un milieu de dépôt de type saumâtre. De fines couches de limons des inondations du Tibre sont parfois lisibles.

5.2.5. Analyse de la carotte TR XX (fig. 39)

202 La carotte TRXX se situe à l'entrée du bassin hexagonal de Trajan. Elle se divise en cinq unités sédimentaires. En raison de son importance pour connaître le fonctionnement de l'hexagone, nous avons opté pour un pas d'échantillonnage plus serré : tous les 5 cm, voire en dessous selon les variations de faciès.

Unité sédimentaire A : sables lités stériles

203 L'unité stratigraphique A correspond à une alternance de sables fin et de sables limoneux de couleur jaune. Les sables représentent 60 % à 70 % de la texture globale du poids des sédiments à sec, alors que la part de la fraction limoneuse est de 20 à 30 %. L'unité est stérile (absence de macro et microfaune).

Unité sédimentaire B : sables moyens gris

204 La fraction sableuse prédomine avec 60 % à 80 % du poids total à sec des échantillons. Une datation indique 3035 ± 30 BP (TRXX 173 Ly-4035) soit de 895 à 715 av. J.-C.

205 Pour la macrofaune, quatre espèces ont été observées. On retrouve *Cerastoderma edule*, qui est une espèce connue pour s'adapter à des conditions de salinités variables en milieu marin. Il se développe dans les zones lagunaires de type euryhalin ou eurytherme. Un *Lentidium mediteraneum* : ce gastéropode provient des sables fins bien calibrés. Un *tapes cf. rhomboïdes* marque une autre influence des dynamiques marines : on rencontre cette espèce dans les sables grossiers liés aux courants de fond.

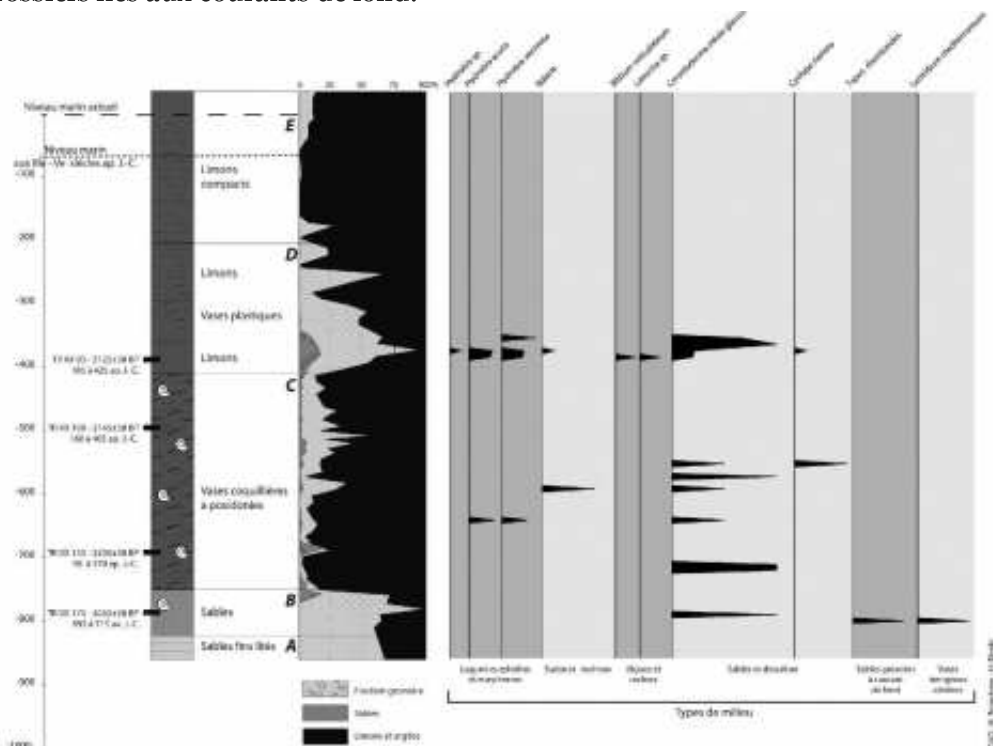


Fig. 39 – Carotte TRXX – Malacofaune.

Unité sédimentaire C : vases coquillières à posidonies

206 L'unité C se différencie par un changement brusque de la texture des sédiments. Le faciès est celui des vases grises coquillières à posidonies. L'unité se développe sur 320 cm. Deux sous-unités se dessinent : des vases grises coquillières à posidonies et des vases grises foncées à posidonies et coquilles. Deux datations au radiocarbone ont été réalisées. À la base : 2250 ± 30 BP soit de 50 à 270 ap. J.-C. (TRXX 153, Ly-4045). Dans la partie sommitale, 2145 ± 30 BP soit de 160 à 405 ap. J.C. (TRXX 109, Ly-4043).

Sous-unité C1 : vases grises coquillières à posidonies

207 L'unité C1 se singularise par une composition texturale nettement limono-argileuse (entre 90 et 95 %). Les fibres de posidonies sont associées à de la macrofaune marine en majorité cassée. La macrofaune marine voit l'apparition de cinq nouvelles espèces. À *Cerastoderma edule*, s'ajoutent *Cerastoderma edule glaucum*, *Hydrobia acuta* et *H. ventrosa*. Les trois premières espèces appartiennent à la même famille et présentent la même signification écologique que celle notée pour l'unité sous-jacente. Enfin, les *Hydrobia acuta* et *H. ventrosa*, appartiennent ordinairement aux milieux saumâtres. Notons que l'apparition de cette faune est simultanée et qu'elle se fait de façon brusque à la fin de cette unité.

Sous-unité C2 : vases gris foncé coquillières et à posidonies.

208 On observe peu de changement dans la texture globale des sédiments en comparaison avec la sous-unité précédente. La fraction sableuse reste prépondérante à 80 %. La fraction sableuse varie entre 5 et 10 %. Les fibres de posidonies sont très nombreuses. Les *Cerastoderma edule* sont les seuls représentants du stock malacologique avec quelques individus de *Cyclope neritea*, un indicateur de dessalure.

209 *Unité sédimentaire D : alternance de limons beiges et de vases*

210 Cette unité se distingue de l'unité précédente tant par son faciès que par la composition des sédiments. On observe l'alternance de limons et de vases dans cette unité épaisse de 200 cm. Deux sous unités peuvent être repérées.

211 La base de l'unité est datée de 2125 ± 30 BP soit de 185 à 425 ap. J.-C.

Sous unité D1.

212 La fraction sableuse supplante la fraction limoneuse qui était précédemment prépondérante. Les sables représentent ainsi 60 à 80 % de la texture globale des sédiments. On note la disparition des fibres de posidonies.

213 La macrofaune est riche avec des espèces d'influence et de niches écologiques variées. L'association *Tellina serrata* et *Cerastoderma edule* se réitère : ce sont des espèces que l'on retrouve dans les vases. Plusieurs espèces ont été identifiées comme inféodes à un substrat rocheux : *Bittium cf. reticulatum*, *Littorina sp.* et les Balanes. *Hydrobia sp.*, *H. acuta* et *H. ventrosa* ont été remarquées : le milieu paraît donc saumâtre. Et *Cyclope neritea* indique une dessalure du milieu.

214 Sous unité D2 : vases grises très plastiques.

215 La texture varie encore brusquement : c'est la fraction limono-argileuse qui est cette fois-ci supérieure aux sables (de 30 à 80 %). La macrofaune est inexistante. Les fragments de bois, les graines sont les seuls à subsister.

Unité sédimentaire E : vases limoneuses grises

216 L'unité se caractérise par une composition texturale dominée par la fraction limono-argileuse (90 à 100 %). Les sables sont faiblement représentés (5 à 10 %). La couleur passe du gris beige à la base au beige au sommet. L'unité ne contient pas de macro ou microfaune.

5.2.6. Interprétation de la carotte TR-XX (fig. 39)

1) Un milieu pré-portuaire fluvio-marin puis ouvert clairement aux influences marine

217 La séquence pré-portuaire ressemble beaucoup à celle de la carotte TRXIX. La base du carottage se compose des sables jaunes stériles (unité A) auxquels se superpose un sédiment sableux sous forte influence marine (unité B) daté entre 895 et 715 av. J.-C. Les courants marins qui touchent ce milieu sont marqués par *Paphia rhomboides* et *Lentidium mediterraneum*. La séquence stratigraphique pré-portuaire a été probablement tronquée par le creusement du chenal à l'époque impériale.

2) Le comblement vaseux du chenal proche du bassin de Trajan

218 Les dépôts sédimentaires des unités C, D et E sont caractéristiques d'un milieu portuaire confiné. Les structures portuaires protègent et cloisonnent le milieu. Ce milieu de sédimentation calme est marqué par la prédominance de la fraction limono-argileuse dans la texture globale du sédiment. On peut néanmoins écrire une histoire des différentes phases de comblement du chenal d'accès proche du bassin de Trajan.

219 L'unité C datée entre 160 et 405 ap. J.C. (2145 ± 30 BP) est composée à plus de 85 % de limons et d'argiles. La présence des posidonies implique une communication avec la mer. Les conditions de salinité sont pourtant variables dans cette unité qui d'un milieu anoxique (*Hydrobia*) à la base passe à un milieu de dessalure (*Cyclope neritea*) au sommet. La variation relative des conditions de salinité peut être considérée comme caractéristique des milieux lagunaires, où les eaux douces et marines s'affrontent. La vitesse moyenne d'accumulation est très élevée avec près de 2 cm/an.

220 L'unité D est assez surprenante dans cette séquence puisque la proportion de sable est assez importante. Ce pic de sable vers 3,70 m de profondeur est accompagné d'une grande quantité et une grande diversité d'espèces de coquillages, signe d'un milieu très concurrentiel. Au sommet de cette unité, la proportion de sable diminue au profit des limons et argiles ; la macrofaune disparaît du même coup. L'interprétation de ce niveau est assez difficile, mais ce dépôt sableux est probablement lié à un bouleversement temporaire des courants à l'intérieur des bassins portuaires. Ces bouleversements peuvent avoir des raisons nombreuses : entretien difficile de certaines parties du port ; phases de restructuration du port... Cet événement est daté sur une période assez large allant de 185 à 425 ap. J.-C.

221 De l'unité D, on passe progressivement à l'unité E qui marque le retour à des dépôts limono-argileux. Il est surprenant d'observer la disparition de la macrofaune. En tout cas, la production importante de la matière organique met en évidence le caractère réducteur du milieu et une sensible influence des apports continentaux par débordements de crues.

222 La limite katoliménique se situe à -7,60 m sous le niveau marin actuel soit -6,80 m sous le niveau marin antique. Autrement dit, en prenant en compte une marge d'imprécision, la profondeur à l'entrée du bassin hexagonal est proche de 7 m. Dans la littérature, la profondeur de l'hexagone de Trajan, discutée, est estimée entre 5 m et 8 m⁸³. Ces nouveaux résultats, permettent d'estimer que la profondeur dans l'hexagone de Trajan n'excédait pas les 7 mètres.

5.2.7. Synthèse sur le chenal d'accès au bassin hexagonal de Trajan (fig. 40 et 41)

223 Une observation rapide de la configuration générale du complexe portuaire de *Portus* (fig. 2) nous fait prendre conscience du rôle-clé que constitue l'étude du chenal d'accès concerné par les carottages TR XI, TR XIV, TR XIX et TR XX (fig.

40). Il permet avant tout la connexion entre les deux bassins de Claude et Trajan, mais il dessert aussi la grande *darsena* et le *Canale di Comunicazione Trasverso*. La compréhension de ce chenal est ainsi fondamentale pour comprendre le port après les grands aménagements de l'empereur Trajan au début du II^e siècle après J.-C.

1) Du bassin de Claude au bassin de Trajan

224

La lecture du transect des différentes carottes du chenal avec leurs textures (fig. 40) nous permet de saisir clairement la transition du bassin claudien vers le bassin de Trajan (fig. 41). La partie du chenal proche du bassin de Claude est à dominante sableuse (TR XI et TR XIX) alors que le dépôt à l'entrée du bassin de Trajan est majoritairement vaseux (TR XX). Dans ce dernier carottage, les vases de couleur foncée supposent un environnement calme et protégé. Les bioindicateurs (posidonies, macro – et microfaune) soulignent quant à eux un milieu lagunaire en connexion avec la mer. Grâce à ce carottage TR XX, il nous est possible d'extrapoler ses caractéristiques sédimentaires pour imaginer les dépôts piégés dans le bassin de Trajan.

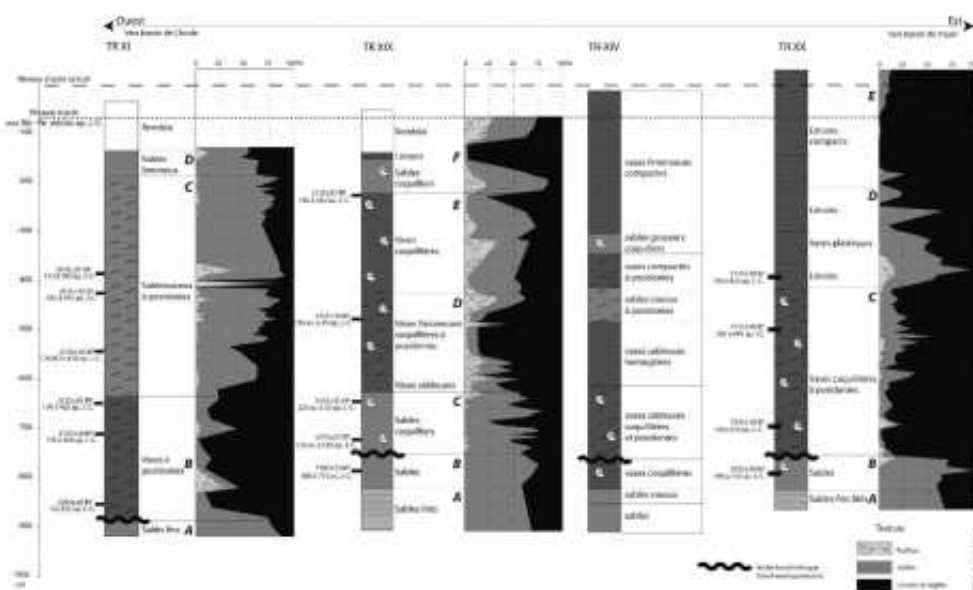


Fig. 40 – Chenal d'accès au bassin de Trajan.

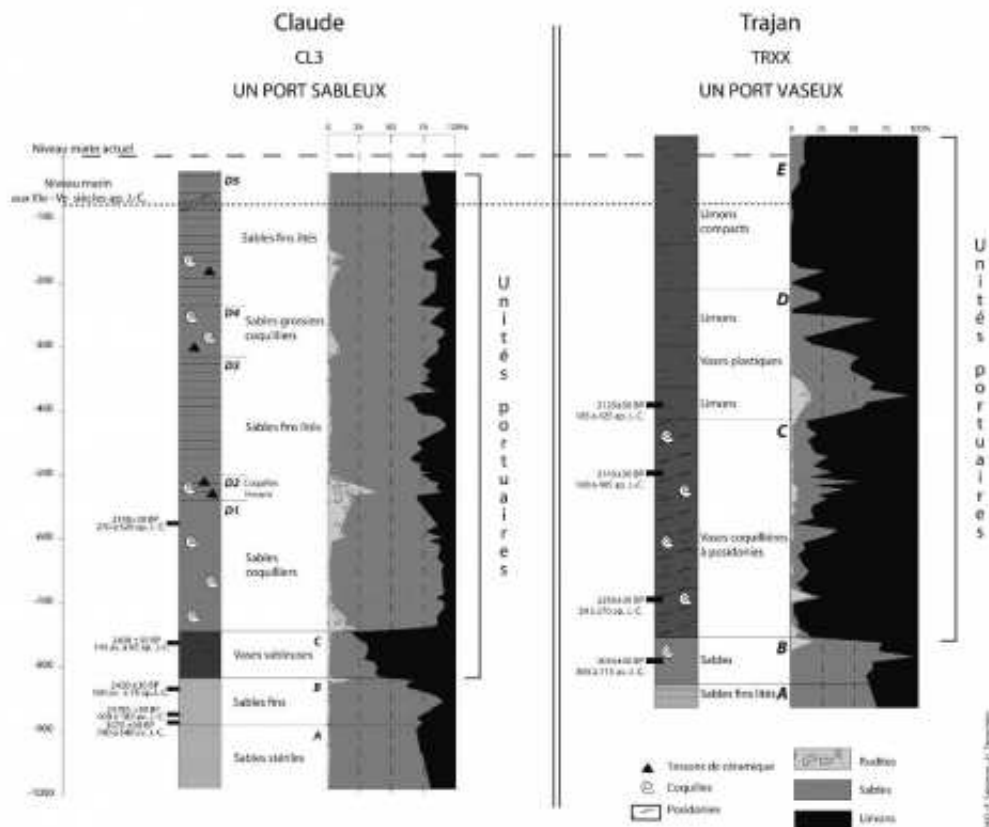


Fig. 41 – Claude/Trajan : Deux bassins de types différents.

225 Les séquences stratigraphiques des carottages TR XI et TR XIX montrent une succession du même type avec d'abord des unités limonoargileuse (TR XI-B et TR XIX-C/D) sur lesquelles se déposent des unités plus sableuses (TRXI-C et TR XIX-E). Cette unité sableuse a pour origine les sédiments marins qui transitent dans le port de Claude. Cette hypothèse est soutenue aussi par les bioindicateurs marins de l'unité TR XIX-E. Si cette tendance est la même, leur répartition varie en profondeur. Les dépôts vaseux sont plus profonds dans la carotte TR XI entre 8 m et 5,50 m de profondeur que dans la carotte TR XIX où on les repère entre 6,80 m et 3,40 m, mais surtout entre 5,40 m et 3,40 m. Ainsi quand la part de sédiment vaseux se rétracte en TR XI (interface des unités B et C), elle se développe en TR XIX (de l'unité C vers l'unité D). Il est aussi important de remarquer que la phase de curage est plus profonde en TR XI. Cette carotte conserve-t-elle à la base des dépôts du 1er siècle ? Existe-t-il un curage claudien plus profond ? Il est difficile d'aller au-delà de ces observations pour tirer des conclusions précises sur l'histoire de ce chenal. De plus, l'analyse conjointe des différentes carottes du transect nous fait prendre conscience des limites des datations radiocarbone pour l'obtention d'une stratigraphie fine à l'échelle des cinq premiers siècles de notre ère.

2) La dynamique de chasse

226 S'il est hasardeux, en l'état actuel des choses, d'interpréter toutes les variations verticales des sables et des vases, il nous est toutefois possible de proposer une hypothèse générale pour rendre compte de cette instabilité. Nous l'avons dit, ce chenal est au carrefour de différents milieux très différents. Deux influences majeures sont indiquées par les bioindicateurs : une influence marine issue du port de Claude et une influence continentale (fluviale) issue du *canale trasverso*. Ce canal est relié à ce qui est interprété comme la *Fossa Traiana*, c'est-à-dire l'actuel Fiumicino. Ce « canale trasverso » est une dérivation des eaux du Tibre. À l'intérieur même des différentes unités du chenal que nous étudions, nous avons repéré la prédominance successive des eaux marines et continentales avec généralement une prédominance des faunes d'eau douce dans les premières phases du développement portuaire. L'entretien des canaux a probablement

décliné au cours du temps, laissant ainsi la place aux apports sableux marins du port de Claude.

227 Il existe donc dans ce secteur un effet de chasse. Dans un premier temps, il a joué un rôle en faveur des apports d'eau douce. De part l'action de différents événements, dont nous ignorons la nature, cette balance entre eaux douces et eaux salées a pu se modifier. Des études menées actuellement sur la modélisation des courants dans les différents bassins de *Portus* permettront d'apporter quelques éclairages sur les successions sédimentaires de ce chenal (par exemple en modélisant les courants avec ou sans *canale transverso* en activité).

5.3. La *darsena*

5.3.1 Présentation de la *darsena*

228 La *darsena* correspond à un bassin portuaire au cœur du complexe portuaire de Claude et de Trajan. Ses dimensions sont de 230 m de long pour 55 m de large (fig. 42). La datation de sa période de construction reste discutée (mais probablement pré-trajane). Pour une synthèse des différents travaux archéologiques réalisés sur la *darsena*, nous renvoyons aux excellentes synthèses de Lugli et Fillibeck⁸⁴ et Keay *et al.*⁸⁵.

5.3.2 Analyse de la carotte TR XXIV (fig. 43, 44, 45, 46)

229 La carotte TR XXIV se compose de 4 unités sédimentaire et la profondeur maximale atteinte est de 7,3 m. Le contenu macrofaunistique est pauvre (peu d'individus et beaucoup de débris coquilliers).



Fig. 42 – Photographie de la *darsena*.

Unité sédimentaire A : sables lités stériles

230 Le faciès correspond un litage de sables fins et de sables limoneux de couleur jaune beige. La proportion de sables atteint 90 % de la texture globale des sédiments. L'analyse granulométrique donne un indice de tri de -0,68 : les sables sont donc très bien triés. La classe modale est de 140 μ m : il s'agit de sables fins. L'indice d'asymétrie révèle une distribution symétrique.

Unité sédimentaire B : sables grossiers coquilliers gris foncé

231 La texture est majoritairement sableuse avec une diminution progressive de la part des vases de 35 % à 5 %. La macrofaune déterminable marque un environnement de lagune euryhaline et eurytherme (*Hydrobia stagnalis*). Les ostracodes présents sont plutôt de milieux saumâtres (*Cyprideis torosa* et *Loxoconcha elliptica*). La présence de *Pseudocandona zscokkei* nous indique un milieu influencé par des apports d'eau douce.

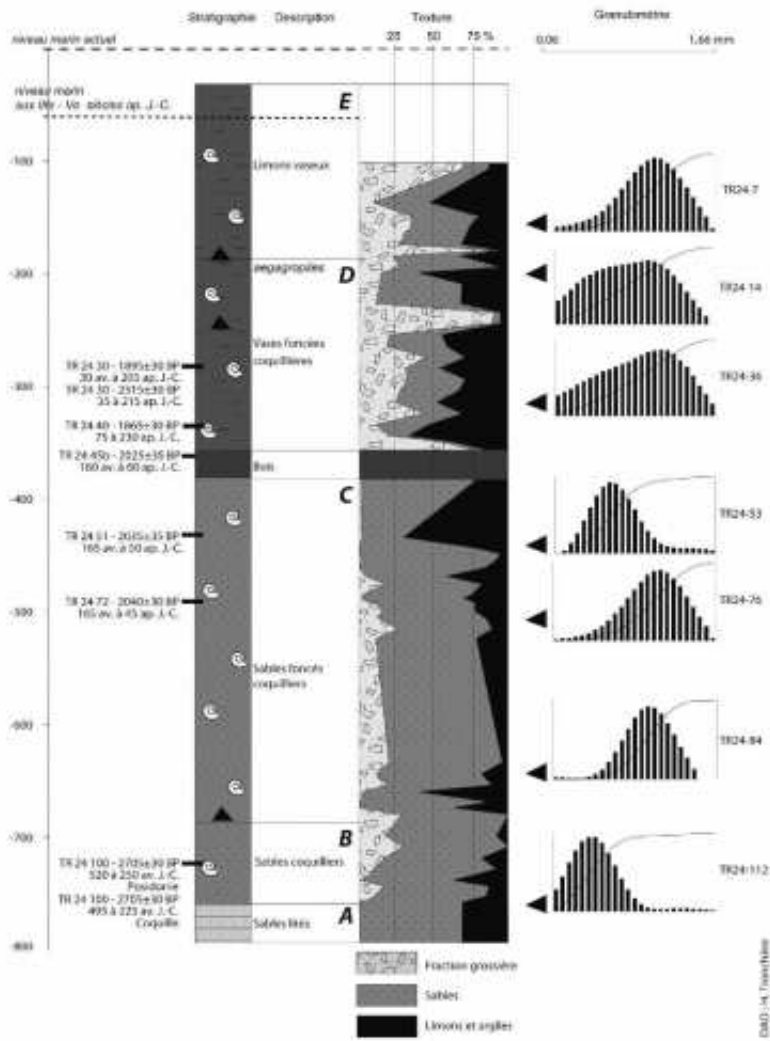


Fig. 43 – Carotte TRXXIV – Granulométrie.

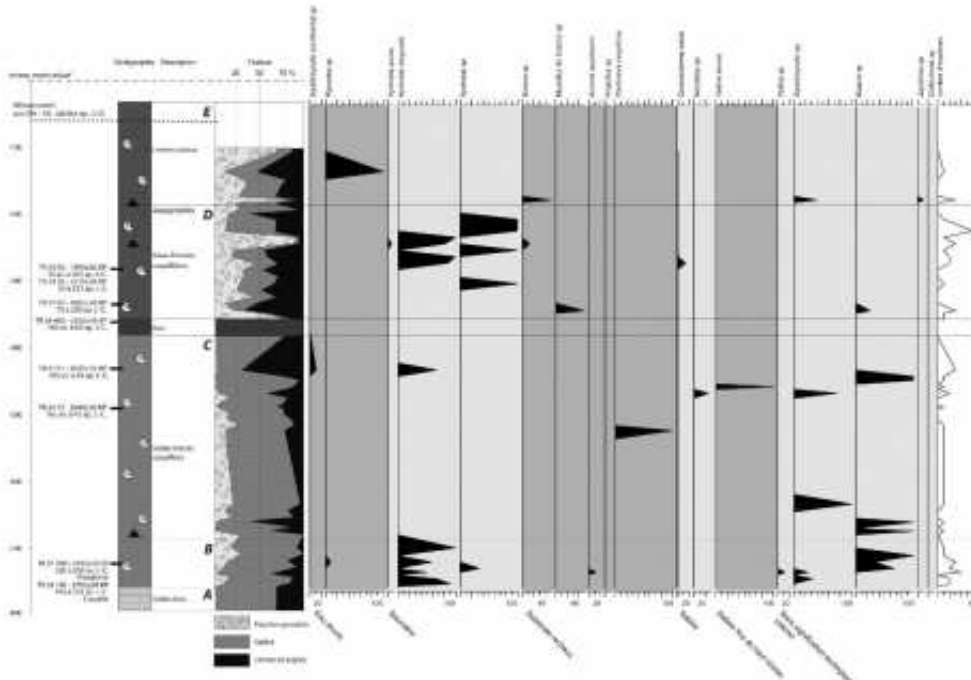


Fig. 44 – Carotte TRXXIV – Malacofaune.

majoritairement grossiers. Les classes modales sont de 528 mm et de 452 mm. L'indice de tri est de -0,77 : les sables sont très bien triés. Au sommet de l'unité, la classe modale a considérablement chuté : elle est de 217 mm alors que le grain moyen indique environ 200 mm. On est passé à un milieu de sédimentation de sables fins.

237 Le contenu de la fraction grossière apporte peu d'informations. Les coquilles sont souvent brisées et indéterminables. Le sommet de l'unité est toutefois peuplé d'une macrofaune caractéristique des lagunes euryhalines et eurythermes (*Hydrobia stagnalis*). Une espèce de *Cladocora cespitosa* s'épanouit quant à elle sur un substrat rocheux. Des fragments de *Tellina tenuis* indiquent un milieu de dessalure.

238 Contrairement à l'unité inférieure, l'ostracofaune marque un milieu d'influence marine (*Leptocythere*, *Neocytherideis*, *Semmicytherura incongruensis*...).

239 À 5 m de profondeur des charbons de bois contenus dans l'échantillon TR XXIV 72 ont pu être datés à 2040 ± 30 BP soit de 165 av. à 45 ap. J.-C. (Ly-4040). Une seconde date a été obtenue sur un morceau de bois au sommet de cette unité en TR XXIV 51 : 2035 ± 35 BP soit de 163 av. J.-C. à 52 ap. J.-C. (Poz 16190).

Un fragment de bois (fig. 47a et 47)

240 Les unités sédimentaires C, sableuse, et D, vaseuse, sont séparées par un fragment de bois à une profondeur de 3,50/3,75 m sous le niveau marin actuel. Un cliché photographique de ce dernier a été réalisé par Ph. Groscaux (CNRS CCJ/LAMM) (fig ; 47a et 47b) ; il a été déterminé comme étant un Orme (*Ulmus sp.*) par Frédéric Guibal (CNRS UMR 6116 IMEP). Il a ensuite été confié à G. Boetto et P. Pomey pour analyse (UMR 6573 CCJ). Ce morceau de bois est fendu longitudinalement et ses dimensions sont les suivantes : $10 \times 1,5 \text{ cm}$. La planche, à l'origine devait présenter une épaisseur d'environ 3 cm. Elle est percée dans son épaisseur d'un trou de 1 cm de diamètre. Cette cavité devait loger une petite cheville de blocage d'un tenon (non conservé). Il s'agit probablement d'un fragment de bordage de bateau qui, suite au carottage, s'est fendu longitudinalement à proximité d'une mortaise. L'assemblage par tenons chevillés est typique de la construction navale durant l'époque romaine, pourtant il est impossible de préciser la date de construction et la date d'abandon de ce bateau. On ne peut pas savoir non plus si ce fragment de bordage appartient à une épave encore en place ou s'il s'agit d'un simple fragment d'embarcation abandonné dans la *darsena*.



Fig. 47a et b – Morceau de bois trouvé dans la *Darsena* (cl. Fr. Groscaux [CNRS CCJ/LAMM]).

241 Une datation au radiocarbone, réalisée sur l'échantillon TR XXIX-45b, donne 2025 ± 35 BP soit de 160 av. J.-C. à 60 ap. J.-C. (Ly-14148).

Unité D : des vases gris foncé coquillères

242 La séquence stratigraphique de cette unité se développe sur 250 cm. Le faciès est celui de vases sableuses gris foncé coquillères.

243 La fraction limoneuse est importante et varie entre 40 et 60 %. La fraction sableuse reste tout de même importante avec 20 à 30 % des échantillons analysés.

Le contenu de la fraction grossière est plus diversifié : fibres de posidonies et aegagropiles, coquilles cassées souvent indéterminables. Deux tessons ont été récoltés ; l'un d'entre eux est probablement un fragment d'amphore africaine poissée datée entre le III^e et le V^e ap. J.-C. (com. pers. M. Bonifay, UMR 6573).

244 La distribution granulométrique est de type bi-modal. L'indice de tri, le plus élevé de tous les échantillons analysés, est mauvais puisqu'il indique -1,33.

245 La base de l'unité est encore peuplée d'une ostracofaune marine mais le milieu devient rapidement de type laguno-saumâtre (*Cyprideis torosa*, *Loxoconcha elliptica*). Les influences marines cessent. La macrofaune voit de nouveau se développer des taxons de lagunes euryhalines et eurythermes (*Hydrobia*, *Hydrobia stagnalis*). Des balanes et murailles de balane, qui se développent habituellement sur substrat rocheux, indiquent la proximité de môles. Le milieu est aussi en dessalure (présence de *Cerastoderma edule*).

246 Trois datations ont été effectuées à la base de cette unité. L'échantillon TR XXIV 40 a permis la datation d'un charbon à 1865 ± 30 BP soit de 75 à 230 ap. J.-C. (Ly-4038). L'échantillon TR XXIV a été daté par deux fois. Dans un premier temps par un morceau de bois à 1895 ± 30 BP soit 30 av. à 205 ap. J.-C. (Ly-4039) puis par des posidonies à 2315 ± 30 BP soit de 35 à 215 ap. J.-C. (Ly-4081).

Unité sédimentaire E : terre argileuse coquillière

247 Cette unité évolue sur 80 cm et se compose de terre argileuse jaune avec des macrorestes végétaux. La fraction argilo-limoneuse oscille entre 30 à 50 % de la texture globale des sédiments. Les sables représentent entre 40 et 50 % des sédiments. Les tiges prélevées dans le ballast ont été comptabilisées comme fragments de bois ; leur identification paraît difficile. À cet étage, l'indice de tri est mauvais avec -1,31. L'indice d'asymétrie positif et proche de zéro marque un léger enrichissement en éléments grossiers (-0,07). Les sables sont fins à moyens.

248 Les ostracodes indiquent un milieu clairement soumis à une forte influence de l'eau douce (présence de *Candona*).

5.3.3. Interprétation de la carotte TR XXIV (fig. 43, 44, 45, 46)

1) Un environnement préportuaire d'influence lagunaire

249 Ce niveau pré-portuaire se compose des unités A et B. La couleur jaune beige de la première unité est caractéristique des sédiments provenant du Tibre. L'absence de biocénose marine oriente l'interprétation de ce dépôt vers un ancien environnement fluvial.

250 Plus récente que les unités recouvrant l'unité fluviale des carottes du chenal d'accès au bassin de Trajan, l'unité B est ici datée entre -520 et -250 av. J.-C. Les biocénoses indiquent un milieu lagunaire de dessalure, d'eau douce.

2) Le port claudien

251 Il s'agit de l'unique carotte qui ait conservé avec certitude les niveaux de dépôt claudiens au sens non plus spatial (bassin de Claude) mais chronologique. Lors du dépôt de l'unité C, la *darsena* n'existe pas encore. La macrofaune a été retrouvée en très faible quantité et souvent dans un mauvais état ce qui dénote la présence d'un mode battu et d'un milieu ouvert aux influences météo-marines. La granulométrie réaffirme les conditions hydrodynamiques mouvementées de la zone. Les informations fournies par l'ostracofaune abondent dans le même sens avec des associations de type marin. Seuls quelques coquillages, qui ont pu être déterminés, brisent provisoirement cette convergence des interprétations. Cette macrofaune dénote des milieux aussi divers que les lagunes, les substrats rocheux, la dessalure. Cette diversité peut être générée par des forts courants marins qui déplacent les fragments de coquilles. Le sommet de cette unité

sableuse est daté de 2035 ± 35 BP soit après calibration de 165 av. J.C. à 50 ap. J.C.

252 Un morceau de bois appartenant à un navire (épave en place ?) scelle cette unité. Sa datation par radiocarbone nous fournit une estimation à 2025 ± 35 BP soit de 160 av. J.-C. à 60 ap. J.-C. De futures fouilles archéologiques dans ce secteur pourraient confirmer s'il s'agit ou non d'une épave. Si cela se confirmait, il serait alors tentant de mettre en perspective cette découverte avec le récit de Tacite (*Annales*, XV. 18. 3) qui nous rapporte une tempête en 62 ap. J.-C. Cette tempête fut si violente qu'elle envoya par le fond 200 navires présents dans le port de Claude. Cette hypothèse se trouve au cœur d'une discussion sur la date initiale de la construction de la *darsena*. Beaucoup d'auteurs suggèrent sa construction avant la période trajanique⁸⁶. Une brique retrouvée dans le mur du fond de la *darsena* est estampillée au nom de Lucius Julius Rufus, consul en 67 ap. J.-C. La *darsena* pourrait ainsi être datable de la fin du règne de l'empereur Néron, peu après l'inauguration du port en 64 ap. J.-C.⁸⁷. Verduchi⁸⁸ n'exclut pas l'hypothèse que cette brique puisse avoir été réutilisée à une période plus tardive.

3) La *darsena* de Néron/Trajan

253 L'unité stratigraphique D se caractérise par une abondante faction limono-argileuse, une couleur gris foncé, un stock important de fibres de posidonies et un assemblage ostracofaunistique lagunosaumâtre. Cet assemblage se singularise par un mode de dépôt en milieu calme et protégé.

254 L'ensemble des indicateurs permet d'affirmer qu'à partir de la base de l'unité C, la *darsena* est mise en service. L'unité D correspond au comblement de la *darsena* au cœur du dispositif de *Portus*. Le morceau de bois se trouve ainsi piégé à la base d'un changement de régime fondamental pour ce secteur.

255 À la base, l'unité D est datée de 1865 ± 30 BP soit de 75 à 230 ap. J.-C. et sa partie médiane de 2315 ± 30 BP soit de 35 av. à 215 ap. J.-C. La vitesse minimale de sédimentation est de 0.6 cm/an. L'envasement par les alluvions du Tibre est rapide en raison de la proximité du débouché du *Canale Trasverso* qui est relié à la *Fossa Traiana*.

256 L'unité sommitale E constitue le comblement définitif de la *darsena*. Il s'agit d'un environnement mal drainé évoluant en marécage (macrorestes de roseaux). L'ostracofaune indique quand à elle la prédominance des assemblages d'eau douce et laguno-saumâtre. La texture argilo-limoneuse peut être issue des inondations du Tibre.

4) Restitution des paléo-profondeurs

257 L'interprétation du morceau de bois retrouvé à 3,60 m de profondeur, dans une grille chronologique événementielle (tempête de 62 ap. J.-C.) est, nous l'avons vu, délicate. En revanche la séquence chronologique offerte par le carottage nous permet, sans retenue, de confirmer la présence du fond du port de Claude à 6 mètres sous le niveau de marin antique en cet endroit, au premier siècle après J.-C. Ce secteur fut ainsi destiné dans un premier temps à l'accueil de bateaux de fort tonnage et de fort tirant d'eau. Les 3 mètres de comblement sableux se sont effectués quoi qu'il en soit en moins d'un demi-siècle (soit au taux de 6 cm/an) ! Ce comportement sédimentaire n'est pas celui d'un milieu portuaire idéal. S'agit-il sinon d'un remblai anthropique ?

258 Toujours en termes de paléo-profondeur, lors de sa construction à la fin du 1^{er} s. ap. J.-C., la *darsena* bénéficiait d'une épaisseur de colonne d'eau de 3 m seulement. Si l'on prend en compte un marnage de 30 cm, cela implique que seuls des navires à très faible tirant d'eau pouvaient accéder et naviguer dans ce bassin. Dans sa deuxième phase d'activité ce secteur s'est vu ainsi attribué une toute autre fonction, bien éloignée de l'accueil des bateaux de fort tonnage.

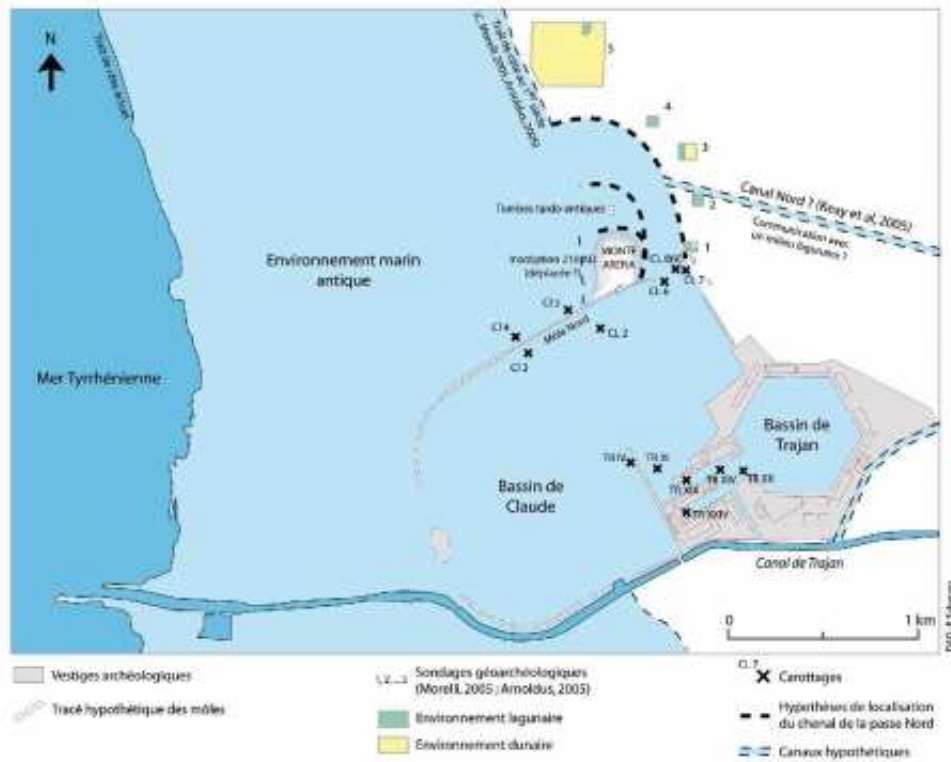


Fig. 48 – Configuration du port de Rome avec deux ouvertures déduites par croisement des données archéologiques et paléoenvironnementales.

259 La série de datations et l'évolution des paléoenvironnements portuaires ne mettent malheureusement pas en évidence d'éventuelles phases de curage même si l'on observe un taux d'envasement très rapide.

Conclusion

260 Les études paléoenvironnementales menées à *Portus* ont permis d'apporter beaucoup de nouvelles données et alimentent les réflexions sur de nombreuses thématiques, aussi diverses que la restitution de l'environnement pré-portuaire, le niveau marin de l'époque antique, les paléo-profondeurs des bassins portuaires, la configuration du port de Claude, le comportement sédimentaire des différents secteurs du port... Ces travaux apportent des éclairages inédits sur ces questions et nous autorisent à dresser un panorama assez général du site de *Portus* depuis le début du premier millénaire avant J.-C. jusqu'à la fin de l'activité du port. La progression de nos connaissances dans ces domaines va de pair avec l'accumulation de nouvelles questions non résolues.

261 Antérieurement au début du premier millénaire av. J.-C., des sédiments fluviaux ou fluviomarins (sables stériles lités) sont déposés sous le futur complexe portuaire de *Portus*. On les retrouve dès 7-9 mètres de profondeur sous le niveau marin actuel. Aucun carottage n'a atteint la limite inférieure de cette unité. En termes de restitution du paysage, ce dépôt laisse supposer la présence de l'embouchure du Tibre à proximité de ce secteur, c'est-à-dire près de 3 km au nord de l'embouchure actuelle.

262 À ces dépôts uniformément répartis succèdent deux catégories différentes de sédiments déposés durant la première partie du 1er millénaire av. J.-C. D'une part sous le môle Nord du port de Claude, sous le chenal d'accès à l'hexagone et sous la *darsena*, on trouve des sédiments sableux contenant de la macrofaune de biocénoses infra – et circalittorales (CL 3, CL4) ainsi que des posidonies (TRXIX). Ces indicateurs attestent d'un milieu marin ouvert. D'autre part, sous la passe nord, nous avons mis en valeur la présence d'un environnement lagunaire

saumâtre suivi d'un milieu de marais tourbeux et de dunes côtières (CL6, CL7, CL8(9)). Il s'agit là de la succession logique des environnements dans un delta en progradation. Ainsi, pour cette même période coexistent un milieu ouvert sur une mer profonde au sud et à l'ouest, et un environnement peu profond, voire au-dessus du niveau marin au nord-est. Grâce à ces données corrélées avec les datations radiocarbone, on peut restituer le tracé du trait de côte au premier millénaire av. J.-C. sur une ligne sud-est à nord-ouest correspondant à peu près à la ligne de rivage restituée par Arnoldus-Huyzendveld et Morelli⁸⁹ pour le 1^{er} s. ap. J.-C. La présence d'une tourbe formée normalement près du niveau marin, reste très étrange par sa position à 6,50 m de profondeur sous le niveau marin actuel. Il faudrait peut-être envisager un delta du Tibre en subsidence en contradiction avec les travaux de Lambeck et al.⁹⁰ qui proposent une surrection lente.

263 Le paysage pré-portuaire immédiatement avant le début des travaux de Claude n'est accessible qu'en très peu d'endroits. Seul les carottages réalisés autour du môle Nord nous donnent encore à voir ces dépôts. Les autres archives sédimentaires qui auraient pu nous renseigner sur le paysage au début du premier siècle ap. J.-C. sont absentes. Elles ont été draguées lors du creusement du bassin de Claude.

264 Le cœur de cette étude porte sur la première partie du I^{er} millénaire ap. J.-C. Le niveau marin biologique de cette époque a pu être déterminé grâce à la présence de faunes fixées sur le môle Nord construit par Claude. La limite supérieure de ces peuplements de balanes, vermetes et huîtres, a été positionnée à 80 cm sous le zéro biologique actuel, ce qui indique une hausse relative du niveau marin de 80 ± 10 cm depuis le III^e/V^e s. ap. J.-C. Cette information est fondamentale car elle nous permet de replacer toutes nos données altimétriques par rapport à ce niveau de référence pour la période antique⁹¹.

265 Les structures du môle nord de Claude fossilisent les dépôts pré-portuaires à 6-7 mètres de profondeur sous le niveau marin antique. Cette information, mise en rapport avec l'accumulation sédimentaire des carottes CL2 / CL3, invalide l'hypothèse d'un cordon dunaire (spit) proposée par Testaguzza en 1970 et milite en faveur d'un môle construit en domaine offshore.

266 La deuxième information capitale concernant la configuration du port de Claude nous est donnée par les carottes CL6, CL7, CL8(9). Cette section comprise entre la pointe du môle de Claude et la Capitainerie est marquée par une forte influence marine. Il s'agit d'un passage, probablement un canal, entre le bassin du port de Claude et le nord du port. Le profil de ce passage est dissymétrique avec l'ouest de la passe à 1,60 m de profondeur, et 5,20 m de profondeur du côté de la Capitainerie. Un canal semble donc avoir été creusé à l'ouest de la capitainerie et de prolongerait vers le nord selon l'hypothèse de Testaguzza⁹².

267 Le port de Claude était ainsi doté de deux entrées (fig. 48). Les hypothèses des entrées Nord et Ouest n'étaient donc pas antinomiques mais complémentaires (fig. 10). En accord avec les descriptions des auteurs antiques, il s'avère pourtant que l'entrée Ouest était l'entrée principale du port.

268 À Portus, la *darsena* est un secteur clé pour restituer les aménagements qui ont eu lieu entre les premiers travaux de Claude et les travaux de Trajan. D'après les archives sédimentaires et les datations radiocarbone, tout porte à croire que cette *darsena* a été construite sous le règne de Néron. L'unité sédimentaire sableuse entre 6 m et 3 m sous le niveau antique est à attribuer à l'époque qui va de Claude à Néron. Cette unité est fossilisée par les vestiges d'un navire en bois. Sur cette pièce de bois vont se sont ensuite déposés des sédiments vaseux typiques d'un milieu calme et confiné daté à la base entre 75 et 230 ap. J.-C.

référence échantillon	Code labo	nature de l'échantillon	Age 14C en années BP		Age calibré (intervalle après correction avec la courbe marine DR=57230 positonia)		Age calibré (intervalle après correction avec la courbe marine DR=72130 coquille)		Age calibré (intervalle après correction avec la courbe atmosphérique Reimer et al. 2004)	
			Age	±	Age	Intervalle	Age	Intervalle	Age	Intervalle
CL 2 35	Pbc-17099	osier	1900	± 30					30	215
CL 2 78	Pbc-17010	positione	2315	± 90	-55	to 180				
CL 2 98	Pbc-17011	charbon	1985	± 30					-45	75
CL 2 125	Pbc-17013	osier	2035	± 30					-100	50
CL 2 135	Ly-4285	copulage marin	2090	± 30			-405	to -200		
CL 2 144	Pbc-17014	positione	2780	± 30	-620	to -350				
CL 3 85	Pbc-17099	copulage marin	2790	± 30			152	to 370		
CL 3 122	Pbc-17091	positione	2490	± 30	-145	to 35				
CL 3 129	Pbc-17093	positione	2430	± 30	-100	to 75				
CL 3 153	Ly-4425	copulage marin	2785	± 30			-645	to -300		
CL 3 158	Ly-4285	copulage marin	3070	± 30			-915	to -745		
CL 4 8	Pbc-18192	positione	1450	± 30	905	to 1120				
CL 4 54	Ly-4286	copulage marin	2430	± 30			-155	to 80		
CL 4 57	Ly-4281	copulage marin	2355	± 30			-48	to 170		
CL 7 14	Ly-4434	positione	2295	± 30	95	to 355				
CL 7 44 ms	Ly-4425	copulage marin	2320	± 30	-25	to 200				
CL 7 81 85	Ly-4435	positione	2360	± 30	-50	to 140				
CL 7 927	Ly-4436	charbon	2690	± 30					-820	-670
CL 7 178 186	Ly-4431	positione	1390	± 30	-1345	to -1090				
CL 9(8) 10	Pbc-18195	positione	2185	± 30	120	to 365				
CL 9(8) 12	Pbc-18196	positione	2215	± 30	80	to 325				
CL 9(8) 15	Pbc-18192	positione	2280	± 30	40	to 260				
CL 9 25	Ly-4243	positione	2230	± 35	35	to 275				
CL 9(8) 34	Pbc-18191	positione	2600	± 30					-820	-670
TR 4 8	Pbc-18198	positione	2185	± 30	125	to 370				
TR 4 28	Pbc-18279	grève	1730	± 35					125	400
TR 4 42	Pbc-17593	osier	1890	± 30					-50	70
TR 11 25	Pbc-17594	positione	2190	± 30	145	to 380				
TR 11 31	Pbc-18193	positione	2005	± 50	295	to 555				
TR 11 33	Pbc-17595	positione	2140	± 30	170	to 410				
TR 11 81	Ly-4042	positione	2125	± 30	180	to 425				
TR 11 87	Ly-4044	positione	2170	± 30	135	to 380				
TR 11 91	Pbc-17596	positione	2295	± 30	0	to 235				
TR XIX 13	Pbc-18191	positione	3125	± 35	195	to 450				
TR XIX 46	Pbc-18194	positione	2470	± 30	-220	to 35				
TR XIX 59 post	Ly-4244	positione	2375	± 35	-115	to 135				
TR XIX 61	Pbc-18280	positione	3190	± 35	490	to 735				
TR XX 83	Ly-4041	positione	2125	± 30	197	to 425				
TR XX 108	Ly-4043	positione	2145	± 30	180	to 405				
TR XX 123 post	Ly-4045	positione	2230	± 30	80	to 270				
TR XX 173	Ly-4035	copulage marin	3035	± 30			-985	to -715		
TRXXIV 30	Ly-4081	positione	2315	± 30	-30	to 205				
TRXXIV 30	Ly-4030	osier	1895	± 30					30	215
TRXXIV 49	Ly-4036	charbon	1885	± 30					75	200
TRXXIV 49a	Ly-14148	osier	2025	± 35					-160	50
TR XXIV 51	Pbc-18190	osier	2035	± 35					-100	50
TRXXIV 72	Ly-4046	charbon	2040	± 30					-100	45
TR XXIV 106	Ly-4034	copulage marin	2755	± 30			-495	to -225		
TRXXIV 100	SauA 6075	positione	2795	± 30	-500	to -250				
Isisens	Ly-4198	copulage marin	2175	± 30			220	to 440		

Fig. 49 – Liste des datations radiocarbone effectuées à Portus.

269 Alors que l'étude de la *arsena* montre pour un même secteur l'évolution d'un fonctionnement portuaire de type claudien, à dépôt de matériel sableux, à un milieu protégé, l'étude du chenal nous donne à voir spatialement (selon un axe Nord/Sud) cette transition de port claudien sableux (TR XI) au port de Trajan à remblaiement vaseux (TR XX). Dès le départ, le port de Claude n'a donc pas joué son rôle de rade paisible pour les bateaux. Seule la carotte CL3 enregistre pour un temps très court un dépôt vaseux dans le port de Claude qu'il faut peut être interpréter comme un effet local. Le bassin de Trajan, construit au début du II^e siècle ap. J.-C., a su se protéger des courants marins de manière durable.

270 En terme de paléo-profondeur, le nord du port de Claude avoisine les 7-8 mètres de lame d'eau. À l'origine, le sud du bassin de Claude atteignait les 6 mètres de lame d'eau (TRIV et TRXXIV). Le chenal d'accès à l'hexagone de Trajan fut creusé sur une profondeur de 8 m à l'entrée du chenal, de 6,80 m sous le niveau marin antique. Cette dernière profondeur issue de la carotte TR XX peut nous donner une estimation de la profondeur du bassin de Trajan.

271 Les estimations des tirants d'eau maximum des bateaux de l'époque romaine ont été réalisées grâce à la description de navires exceptionnels fournis par les auteurs antiques. Tursini⁹³ estime à 4,30 m le tirant d'eau de l'Isis⁹⁴, et à 4,50 m celui du bateau de Caligula coulé pour la construction du phare du port de Claude. Pomey et Tchernia⁹⁵ estiment à 4,50 m le tirant d'eau de l'Isis. Les profondeurs des bassins de Claude et Trajan suffisaient ainsi largement à accueillir les plus gros navires de l'époque. La *arsena* avec 3 m de lame d'eau était destinée quant à elle à des navires de petit tonnage et à faible tirant d'eau.

Bibliographie

Ailloud 2002 = H. Ailloud, *Suétone, Vie des douze Césars, tome II, Tibère, Caligula, Claude, Néron*, Les Belles Lettres, Paris, 2002 (Collection des universités de France), p. 214.

Alessandro, Bartolini, Caputo, Pranzini 1990 = V. Alessandro, C. Bartolini, C. Caputo, E. Pranzini, *Land use impact on Arno, Ombrone and Tiber Deltas during historical times*, dans R. E. Quelenec, E. Ercolani, G. Michon (éd.), *Littoral Eurocoast, Château-Gombert, Marseille (France)*, Marseille, p. 261-265.

Amenduni 1884 = G. Amenduni, *Sulle opere di bonificazione della plaga litoranea dell'Agro Romano che comprende le paludi e gli stagni di Ostia, Porto, Maccarese e delle terre vallive di Stracciaccappa, Baccano, Pantano e Lago dei Tartari*, Relazione del progetto generale 15/7/1880, Min. LL. PP., Roma, éd. Eredi Botta, p. 1-36

Amorosi, Milli 2001= A. Amorosi, S. Milli, *Late Quaternary depositional architecture of Po and Tevere river deltas (Italy) and worldwide comparison with coeval deltaic successions*, dans *Sedimentary Geology*, 144, 2001, p. 357-375.

Arnoldus-Huyzendveld 2005= A. Arnoldus-Huyzendveld, *The natural environment of the Agro Portuense*, dans S. Keay, M. Millet, L. Paroli, K. Strutt (éd.), *Portus: an archaeological survey of the port of imperial Rome*, Londres, 2005, p. 14-30.

Bellotti, Biagi, Piro, Valeri 1981= P. Bellotti, P. F. Biagi, S. Piro, P. Valeri, *Le variazioni di inclinazione dell'ala sinistra del delta del Tevere nel periodo gennaio 1979 – giugno 1980*, dans *Geologia Tecnica*, 28, 1981, p. 5-8.

Bellotti, De Luca 1979 = P. Bellotti, G. De Luca, *Erosione del litorale del lido di Roma : cause ed effetti*, dans *L'Universo*, 59, 1979, p. 1169-1182.

Bellotti, Tortora, Valeri 1986= P. Bellotti, P. Tortora, P. Valeri, *Sedimentological and morphological features of the Tiber delta. Sediment down-under Abs. 12th International Sedimentological Congress. 24th-30th August 1986*, Canberra, p. 26.

Bellotti, Carboni, Milli, Tortora, Valeri 1989= P. Bellotti, M. G. Carboni, S. Milli, P. Tortora, P. Valeri, *La piana deltizia del Tevere: analisi di facies ed ipotesi evolutiva dall'ultimo lowstand glaciale all'attuale*, dans *Giornale di Geologia*, 51, 1989, p. 71-91.

Bellotti, Chiocci, Milli, Tortora, Valeri 1994= P. Bellotti, F. L. Chiocci, S. Milli, P. Tortora, P. Valeri, *Sequence stratigraphy and depositional setting of the Tiber delta: integration of high resolution seismics, well logs and archaeological data*, dans *Journal of Sedimentary Petrology*, 3, 1994, p. 416-432.

Bellotti, Milli, Tortora, Valeri 1995= P. Bellotti, S. Milli, P. Tortora, P. Valeri, *Physical stratigraphy and sedimentology of Late Pleistocene-Holocene Tiber delta depositional sequence*, dans *Sedimentology*, 42, 1995, p. 617-634.

Bellotti, Calderoni, Carboni, Di Bella, Tortora, Valeri, Zernitskaya 2007= P. Bellotti, G. Calderoni, M. G. Carboni, L. Di Bella, P. Tortora, P. Valeri, V. Zernitskaya, *Late Quaternary landscape evolution of the Tiber river delta plain (Central Italy): new evidence from pollen data, biostratigraphy and ¹⁴C dating*, dans *Zeitschrift für Geomorphologie*, 51/4, 2007, p. 505-534.

Bellan-Santini, Lacaze, Poizat 1994 = D. Bellan-Santini, J.-C. Lacaze, C. Poizat, *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives*, Paris, 1994 (Collection du Patrimoine naturels, 19), p. 246.

Belluomini, Iuzzolini, Manfra, Mortari, Zalaffi 1986 = G. Belluomini, P. Iuzzolini, L. Manfra, R. Mortari, M. Zalaffi, *Evoluzione recente del delta del Tevere*, dans *Geologica Romana*, 25, 1986, p. 213-234.

Bersani, Moretti 2008 = P. Bersani, D. Moretti, *Evoluzione storica della linea di costa in prossimità della foce del Tevere*, dans *L'Acqua*, 5, 2008, p. 77-88.

Bocci 1892 = D. Bocci, *Il delta tiberino*, dans *Giornale del Genio Civile*, Rome, p. 1-34.

Boetto, G. 2001 = G. Boetto, *Les navires de Fiumicino*, dans J.-P. Descœudres, *Ostia : port et porte de la Rome antique*, Musée Rath., Genève, 2001, p. 121-130

Calza 1925 = G. Calza, *Ricognizioni topografiche nel Porto di Traiano*, dans *Notizie degli Scavi di Antichità*, 1925, p. 45-80.

Caputo, La Monica, Lupia Palmieri, Pugliese 1986= C. Caputo, G. B. La Monica, E. Lupia Palmieri, F. Pugliese, *Physiographic characteristics and dynamics of the Shore of Rome (Italy)*, *Proc. Ist Int. Conf. Geomorph.*, Manchester, 1986

Carcopino 1907 = J. Carcopino, *Il Porto Claudio Ostiense secondo recenti tatti*, dans

- Notizie degli Scavi di Antichità, 4, 1907, p. 734-740.
- Castagnoli 1963 = F. Castagnoli, *Studi Romani*, dans Astura, 11, 1963, p. 1-8.
- Chiocci, Milli 1995 = F. L. Chiocci, S. Milli, *Construction of a chronostratigraphic diagram for a high-frequency sequence: the 20 ky B. P. to present Tiber depositional sequence*, dans *Il Quaternario*, 8, 1995, p. 339-348.
- Coari 1933 = G. Coari, *La porta del fiume porto di Roma*, Rome, 1933.
- Djerbi 2007 = H. Djerbi, *Géochronologie des Ports de Rome, la malacofaune : un outil pour la reconstitution paléoenvironnementale des ports de Claude et Trajan*, Mémoire de Maîtrise de géographie, soutenue à la faculté de GHHAT, Université Lumière Lyon II, 2007.
- Dragone, Maino, Malatesta, Segre 1967 = F. Dragone, A. Maino, A. Malatesta, A. G. Segre, *Note illustrative del Foglio 149 Cerveteri dalla Carta Geologica d'Italia*, dans *Servizio Geologico*, 4, 1967, p. 1-93.
- Folk, Ward 1957 = R. L. Folk, W. C. Ward, *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*, dans *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 1957, p. 3-26.
- Cary 1924 = E. Cary (éd.), *Dio's Roman history in nine volumes*, VII, Cambridge-Londres, 1924.
- Villeneuve, Labriolle, 1983 = F. Villeneuve, P. Labriolle, *Juvénal, Satires*, Paris, 1983, (Collection des Universités de France).
- Giraudi 2002 = C. Giraudi, *Evoluzione ambientale tardo-olocenica nell'area comprendente il sito eneolitico di Maccarese (Fiumicino)*, dans A. Manfredini, (ed.), *Le dune, il lago, il mare. Una comunità di villaggio dell'Età del Rame a Maccarese*, Florence, 2002, p. 25-35.
- Giraudi 2004 = C. Giraudi, *Evoluzione tardo-olocenica del delta del Tevere*, dans *Il Quaternario*, 17, 2004, p. 477-492.
- Giraudi, Paroli, Ricci, Tata 2006 = C. Giraudi, L. Paroli, G. Ricci, C. Tata, *Portus (Fiumicino - Roma) Il colmamento sedimentario dei bacini del Porto di Claudio e Traiano nell'ambito dell'evoluzione ambientale tardoantica e medievale del delta del Tevere*, dans *Archeologia Medievale*, 33, 2006, p. 49-60.
- Giraudi, Tata, Paroli, 2007 = C. Giraudi, C. Tata, L. Paroli, *Carotaggi e studi geologici a Portu : il delta del Tevere dai tempi di Ostia Tiberina alla costruzione dei porti Claudio e Traiano*, dans *The Journal of Fasti Online*, 80, 2007, p. 1-12.
- Giraudi, Cristiana, Paroli 2009 = C. Giraudi, T. Cristiana, L. Paroli, *Late Holocene evolution of Tiber river delta and geoarchaeology of Claudius and Trajan Harbor*, dans *Geoarchaeology*, 24, 2009, p. 371-382.
- Goeltzer 1957 = H. Goeltzer, *Tacite, Annales, livres XIII-XVI*, Paris, 1957, (Collection des Universités de France, Série latine), p. 568.
- Goiran 2001 = J. -P. Goiran, *Recherche géomorphologique dans la région littorale d'Alexandrie, Egypte : mobilité des paysages à l'Holocène récent et évolution des milieux portuaires antique*, thèse de doctorat en géographie, Université Aix-Marseille I.
- Goiran, Morhange 2003 = J. -P. Goiran, C. Morhange, *Géochronologie des ports antiques de Méditerranée : problématiques et études de cas*, dans *Topoi*, 11, 2003, p. 645-667.
- Goiran, Tronchère, Collallesi, Salomon, Hatem 2009 = J.-P. Goiran, H. Tronchère, U. Collallesi, F. Salomon, D. Hatem, *Découverte d'un niveau marin biologique sur les quais du Portus : Le port antique de Rome*, dans *Méditerranée*, 112, 2009, p. 59-67.
- Goiran, Tronchère, Carbonel, Salomon, Djerbi, Ognard, Colallesi 2008 = J.-P. Goiran, H. Tronchère, P. Carbonel, F. Salomon, H. Djerbi, C. Ognard, H. Colallesi, *Portus, la question de la localisation des ouvertures du port de Claude : approche géomorphologique*, dans *MEFRA*, 120, 1, 2008, p. 217-228.
- Goiran, Ognard, Tronchère, Canterot, Cluze 2007 = J.-P. Goiran, C. Ognard, H. Tronchère, X. Canterot, J. -A. Cluze, *Recent geo-archaeological findings of Portus, the ancient harbour of Rome*, dans *People/environment relationships from Mesolithic to Middle Ages: recent geoarchaeological findings in Southern Italy*, International Congress, Salerne, 2007, p. 30-31.
- Hughen et al. 2004 = K. A. Hughen, et al., *Marine 04 Marine radiocarbon age calibration, 26 - 0 ka BP*, dans *Radiocarbon*, 46, 2004, p. 1059-1086.
- Jacques 1962 = A. Jacques, *Plin l'Ancien, Histoire Naturelle, livre XVI*, Les Belles Lettres, Paris, 1962, (Collection des Universités de France).
- Keay, Millet, Paroli, Strutt, 2005 = S. Keay, M. Millet, L. Paroli, K. Strutt, *Portus: an*

archaeological survey of the port of Imperial Rome, Londres, 2005 (Collection de la British School at Rome).

Laborel 1979 = J. Laborel, *Les gastéropodes vermatidés : leur utilisation comme marqueurs biologiques de rivages fossiles*, dans *Oceanis, les indicateurs de niveaux marins*, 5, hors-série, 1979, p. 221-239.

Laborel, Laborel-Deguen 1994= J. Laborel, F. Laborel-Deguen, *Biological indicators of relative sea level of co-seismic displacements in the Mediterranean region*, dans *Journal of Coastal Research*, 10, 1994, p. 203-223.

Lanciani 1868 = Lanciani, R., *Ricerche topografiche sulla città di Porto*, Rome, Tipografia Tiberina, 1868.

Lambeck, Antonioli, Purcell, Silenzi 2004a= K. Lambeck, F. Antonioli, A. Purcell, S. Silenzi, *Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr.*, dans *Quaternary Science Reviews*, 23, 2004a, p. 1567-1598.

Lambeck, Anzidei, Antonioli, Benini, Esposito 2004b= K. Lambeck, M. Anzidei, F. Antonioli, A. Benini, A. Esposito, *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change*, dans *Earth and Planetary Science Letters*, 224, 2004b, p. 563-575.

Lasserre 2003 = F. Lasserre, *Strabon, Géographie*, tome III, livre V et VI, Les Belles Lettres, Paris, 2003 (Collection des Universités de France), p. 275

Le Gall 1952 = J. Le Gall, *Le Tibre, fleuve de Rome dans l'antiquité*, Paris, p. 367

Lugli, Filibeck 1935 = G. Lugli, G. Filibeck, *Il Porto di Roma imperiale e l'Agro Portuense*, Bergame, 1935, p. 277.

Marriner 2006 = N. Marriner, *Paléoenvironnements littoraux du Liban à l'Holocène. Géoarchéologie des ports antiques de Beyrouth, Sidon et Tyr : 5000 ans d'interactions nature-culture*, Thèse de doctorat en Géographie, Université de Provence, p. 450.

Marriner, Morhange 2006= N. Marriner, C. Morhange, *The 'Ancient Harbour Parasequence' anthropogenic forcing of the stratigraphic highstand record*, dans *Sedimentary Geology*, 186, 2006, p. 13-17.

Mannucci, Verduchi 1992 = V. Mannucci, P. Verduchi, *Il Porto imperiale di Roma : le vicende storiche*, dans V. Mannucci (éd.), *Il Parco Archeologico Naturalistico del Porto di Traiano : Metodo e progetto*, Roma, 1992, p. 55-60.

Masse 1988 = J.-P. Masse, *L'étagement bionomique des milieux benthiques néritiques actuels : signification bathymétrique et implications paléobathymétriques*, dans *Géologie Méditerranéenne*, 15, p. 91-102.

Meiggs 1973= R. Meiggs, *Roman Ostia*, Oxford, 1973.

Morelli 2005= C. Morelli, *The Claudian harbour in the light of new investigations*, dans S. Keay, M. Millet, L. Paroli, K. Strutt (éd.), *Portus: an archaeological survey of the port of imperial Rome*, Londres, 2005 (Collection de la British School at Rome), p. 241-248.

Morhange 1994 = Morhange, C., *La mobilité récente des littoraux provençaux*, Thèse de doctorat en Géographie physique, Université de Provence, 1994.

Morhange, Laborel, Hesnard 2001= C. Morhange, J. Laborel, A. Hesnard, *Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbor of Marseilles, Southern France*, dans *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 166, 2001, p. 319-329.

Moro 1871= Moro, G., *Lo stagno di Ostia. Monografia geologica ed idraulica*, Florence, 1871.

Oberholzer 1875 = F. Oberholzer, *Le fici del Tevere. Paravia*, Rome, 1875.

Ognard 2006 = C. Ognard, *Géoarchéologie du port de Trajan, lecture du fonctionnement portuaire à travers l'étude comparée du chenal d'accès et de la darsena*, Maîtrise de géographie, soutenue à la faculté de GHAT, Université Lumière Lyon II, 2006.

Paroli 2005= L. Paroli, *History of past research at Portus*, dans S. Keay, M. Millet, L. Paroli, K. Strutt, *Portus: An Archaeological Survey of the Port of Imperial Rome*, Londres, 2005 (Collection de la British School at Rome), p. 43-59.

Peres 1967 = J.-M. Peres, *Les biocénoses benthiques dans le système phytal*, dans *Recueil des Travaux de la Station marine d'Endoume*, 58, 1967, p. 3-114.

Peres, Picard 1964 = J.-M. Peres, J. Picard, *Nouveau manuel de bionomie benthique de la Méditerranée*, dans *Recueil des Travaux de la Station marine d'Endoume*, 47, 1964, p. 137.

Pirazzoli 1996= P. A. Pirazzoli, *Sea-level changes: the last 20000 years*, Chichester, 1996,

Pirazzoli, Thommeret 1973 = P. A., Pirazzoli, J. Thommeret, *Une donnée nouvelle sur le niveau marin à Marseille à l'époque romaine, dans Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 277, 1973, p. 2125-2128.

Pomey, Tchernia 1978 = P. Pomey, A. Tchernia, *Le tonnage maximum des navires de commerces romains, dans Archaeonautica*, 2, 1978, p. 233-251.

Ponzi 1875 = G. Ponzi, *Il delta del Tevere : storia naturale del Tevere*, dans *Bollettino Società Geografica Italiana*, 12, 1875, p. 1-22.

Redde 1983 = Redde, M., *Portus le plus grand port du monde romain*, dans *Archeologie et Histoire*, 71, 1983, p. 54-61.

Reimer et al. 2004 = P.-J. Reimer et al., *IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0-26 cal kyr BP*, dans *Radiocarbon*, 46, 2004, p. 1029-1059.

Saint-Denis 1955 = E. de Saint-Denis, *Plin l'Ancien, Histoire Naturelle, livre IX*, Les Belles Lettres, Paris, 1955 (*Collection des Universités de France*), p. 157.

Schilling 2003 = R. Schilling, *Ovide, Les Fastes, tome II, livres IV-VI*, Les Belles Lettres, Paris, 2003 (*Collection des Universités de France*), p. 259.

Scrinari 1960 = V. Scrinari, *Strutture portuali relativa al « porto di Claudio » messo in luce durante i lavori dell'Aeroporto Intercontinentale di Fiumicino (Roma)*, dans *Rassegna dei Lavori Pubblici*, 3, 1960, p. 173-190.

Stephenson, Stephenson 1949 = T. A. Stephenson, A. Stephenson, *The universal features of zonation between tide-marks on rocky coasts*, dans *Journal of Ecology*, 37, 1949, p. 289-305.

Stuiver, Braziunas 1993 = M. Stuiver, T. F. Braziunas, *Modeling atmospheric ¹⁴C influences and ¹⁴C ages of marine samples back to 10,000 BC*, dans *Radiocarbon*, 35, 1993, p. 137-189.

Testaguzza 1964 = O. Testaguzza, *Portus. Illustrazione dei porti di Claudio e Traiano e della città di Porto a Fiumicino*, Rome, 1964.

Testaguzza 1970 = O. Testaguzza, *The port of Rome*, dans *Archaeology*, 17, 1970, p. 173-179.

Tursini 1950 = L. Tursini, *Note di architettura navale romana*, dans G. Ucelli, *Le navi di Nemi*, Rome, 1950, p. 369-393.

Vella 1999 = C. Vella, *Perception et évaluation de la mobilité du littoral holocène sur la marge orientale du delta du Rhône*, Thèse de Doctorat en Géographie Physique, Université de Provence, 1999.

Verduchi 2005 = P. A. Verduchi, *Some thoughts on the infrastructure of the port of Rome*, dans S. Keay, M. Millet, L. Paroli, K. Strutt, *Portus: an archaeological survey of the port of imperial Rome*, (*Collection de la British School at Rome*), Londres, 2005, p. 241-248.

Zevi 2001 = F. Zevi, *Ostie et son port : histoire d'un échec et de ses remèdes*, dans J.-P. Desceudres (éd.), *Ostia, port et porte de la Rome antique*, Genève, 2001, p. 114-120.

Notes

1 Nous remercions la Surintendance archéologique italienne d'Ostia Antica (Anna Gallina-Zevi, Cinzia Morelli, Lidia Paroli) et le personnel du Musée des Navires de Fiumicino. Merci à l'École française de Rome: Michel Gras (directeur) et Yann Rivière (directeur de la section Antiquité et son prédécesseur Stéphane Verger). Merci aussi à Véronique Séjournet pour la gestion des multiples demandes d'autorisations. Merci à Michel Bonnifay pour la détermination des céramiques, Giulia Boetto pour la détermination des fragments de bois et les discussions. Nous remercions Katia Espic Vincent Gaertner et Christine Oberlin pour leur aide et leurs compétences apportées lors des analyses en laboratoire. Merci à Daniele D'Ottavio de la société Geoambiente pour l'excellent travail de carottage réalisé sur le terrain. Merci aussi à Fausto Zevi, Piero Bellotti et Antonia Arnoldus pour les discussions très enrichissantes que nous avons eu ensemble. Enfin, il nous est agréable de remercier Jean-Paul Bravard pour ses remarques constructives et enrichissantes. Merci à Hugo Delile pour son aide précieuse dans la mise en forme de la phase finale du manuscrit. Ce travail à bénéficié d'un triple financement: École française de Rome, ANR Jeune Chercheur et APE de la Maison de l'Orient et de la Méditerranée.

2 Reddé, 1983

3 Tacite, *Annales*, XV, 18, 3.

- 4 Moro, 1871; Obenholtzer, 1875; Ponzi, 1875; Amenduni 1884; Bocci, 1892; Coari, 1933.
- 5 Bellotti *et al.* , 1994.
- 6 Bellotti, De Lucia, 1979; Bellotti *et al.* , 1981; Caputo *et al.* 1986.
- 7 Dragone *et al.* , 1967; Bellotti *et al.* , 1986, 1989, 1994, 1995, 2007; Belluomini *et al.* , 1986; Alessandro, *et al.* , 1990; Chiochet Milli, 1995; Amorosi et Milli, 2001; Giraudi, 2002, 2004; Giraudi *et al.* , 2007, 2009.
- 8 Bellotti *et al.* , 2007.
- 9 Bellotti *et al.* , 2007.
- 10 Pirazzoli, 1996.
- 11 Bellotti *et al.* , 2007.
- 12 Bellotti *et al.* , 2007.
- 13 Pirazzoli, 1996.
- 14 Bellotti *et al.* , 2007.
- 15 Giraudi, 2004.
- 16 Giraudi, 2002.
- 17 Bellotti *et al.* , 2007.
- 18 Le Gall, 1953; Bersani et Moretti, 2008.
- 19 Zevi, 2001.
- 20 Ovide, *Fastes*, IV 291 sq.; Strabon, *Géographie*, V 3: 5.
- 21 Dion Cassius LX, 11.
- 22 *RIC* I, Nos. 178-83.
- 23 Reddé, 1983.
- 24 Tacite, *Annales*, XV, 18, 3.
- 25 Keay *et al.* , 2005.
- 26 Paroli, 2005.
- 27 Carcopino, 1907; Calza, 1925; Lugli et Filibeck, 1935; Scrinari 1960; Castagnoli, 1963; Testaguzza, 1964, 1970; Lanciani 1968; Mannucci et Verduchi, 1992; Keay *et al.* , 2005; Morelli 2005; Paroli, 2005.
- 28 Belluomini *et al.* , 1986, Bellotti *et al.* , 1994, 2007, Giraudi 2004, 2006, Arnoldus-Huyzendveld, 2005, Goiran *et al.* 2007, 2008.
- 29 *Histoire Romaine*, LX, 11.
- 30 *Saturae*, XII, 75-78.
- 31 *Vie de Claude*, 20.
- 32 *N. H.* , XVI, 201-202.
- 33 *N. H.* , IX, 14.
- 34 Zevi, 2001.
- 35 Zevi, 2001.
- 36 Goiran et Morhange, 2003.
- 37 Goiran et Morhange, 2003; Marriner et Mohrange, 2006.
- 38 Goiran *et al.* , 2008.
- 39 Folk et Ward, 1957.
- 40 Masse, 1988; Morhange, 1994.
- 41 Péres, 1967.
- 42 Péres et Picard, 1964; Bellan Santini *et al.* , 1994.
- 43 Péres, 1961.
- 44 Péres et Picard, 1964.
- 45 Bellan Santini *et al.* 1994.
- 46 Goiran *et al.* , 2008.
- 47 Péres et Picard, 1964.

- 48 Péres et Picard, 1964.
- 49 Péres et Picard, 1964.
- 50 Péres et Picard, 1964.
- 51 Péres et Picard, 1964.
- 52 Péres et Picard, 1964.
- 53 Péres et Picard, 1964.
- 54 Péres et Picard, 1964.
- 55 Péres et Picard, 1964.
- 56 Goiran, 2001.
- 57 Djerbi, 2007.
- 58 Ognard, 2006.
- 59 Lachenal, 1988.
- 60 Péres, 1961.
- 61 Reimer *et al.*, 2004.
- 62 Hughen *et al.* , 2004.
- 63 Stuiver et Braziunas, 1993.
- 64 Vella, 1999.
- 65 Morhange, 1994.
- 66 Stephenson et Stephenson, 1949; Peres et Picard, 1964.
- 67 Peres et Picard, 1964.
- 68 Peres et Picard, 1964.
- 69 Peres, 1967.
- 70 Bellan-Santini *et al.* , 1994.
- 71 Laborel *et al.* , 1997.
- 72 Masse, 1988.
- 73 Morhange, 1994.
- 74 Pirazzoli et Thommeret, 1973; Laborel, 1979; Laborel et Laborel Deguen, 1994; Morhange, 1994; Morhange *et al.* 2001.
- 75 Lambeck *et al.* , 2004a.
- 76 Lambeck *et al.* , 2004b.
- 77 Castagnoli, 1963; Giuliani 1992; Morelli 2005; Arnoldus 2005.
- 78 Testaguzza, 1970; Giraudi, 2004.
- 79 Arnoldus-Huyzendveld, 2005.
- 80 Boetto, 2001.
- 81 Morhange, 1994.
- 82 Goiran *et al.* 2008.
- 83 Testaguzza, 1970; Lugli et Filibeck, 1935.
- 84 Lugli et Fillibeck, 1935.
- 85 Keay *et al.* , 2005.
- 86 Lugli et Filibeck, 1935; Meiggs, 1973; Keay *et al.* 2005.
- 87 Keay *et al.* , 2005, p. 257.
- 88 Verduchi, 2005.
- 89 Arnoldus-Huyzendveld, 2005 et Morelli, 2005.
- 90 Lambeck *et al.* , 2004a et b.
- 91 Goiran *et al.*, 2009.
- 92 Testaguzza, 1970.
- 93 Tursini, 1950.
- 94 Lucien, *Navigium*, V, 28.

Table des illustrations



Légende Fig. 1 – Portus au cœur du delta du Tibre – Carte de localisation générale.



Légende Fig. 2a – Localisation des carottages réalisés dans les ports de Claude et Trajan.



Légende Fig. 2b – Reconstitution de la configuration des ports de Claude et Trajan et localisation des carottages.



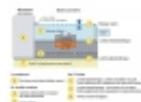
Légende Fig. 3 – Carte d'Eufrosino della Volpaia, 1547



Légende Fig. 4a – Fresque de Danti – Les vestiges de Portus, 1582.



Légende Fig. 4b – Fresque de Danti – Reconstitution de Portus, 1582.



Légende Fig. 5a – Coupe théorique d'un bassin portuaire antique en activité.



Légende Fig. 5b – Trois faciès classiques observés par carottages dans un bassin portuaire colmaté.



Légende Fig. 6 – Méthodologie développée du terrain au laboratoire.



Légende Fig. 7 – Etagement des biocénoses littorales et distribution du benthos méditerranéen.



Légende Fig. 8 – Etagement des biocénoses portuaires et distribution du benthos méditerranéen.



Légende Fig. 9 – Photographie d'un niveau marin biologique.



Légende Fig. 10 – Hypothèses divergentes quant aux ouvertures du bassin de Claude.



Légende Fig. 11 – Transect ouest/est le long de la façade nord du port de Claude.



Légende Fig. 12 – Photographie du môle Nord du bassin de Claude.





Légende Fig. 13 – Carotte CL3 – Malacofaune.



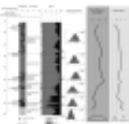
Légende Fig. 14 – Carotte CL3 – Ostracofaune.

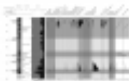



 **Légende** Fig. 15 – Carotte CL4 – Malacofaune.

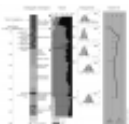
 **Légende** Fig. 16 – Section CL3-CL4 en travers du môle nord du port de Claude.


 **Légende** Fig. 17 – Photographie de la passe nord du bassin de Claude.

 **Légende** Fig. 18 – Carotte CL7 – Granulométrie.

 **Légende** Fig. 19 – Carotte CL7 – Malacofaune.

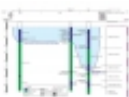
 **Légende** Fig. 20 – Carotte CL7 – Ostracofaune.


 **Légende** Fig. 21 – Carotte CL8 – Granulométrie.

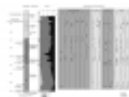
 **Légende** Fig. 22 – Carotte CL8 – Composition de la fraction grossière.


 **Légende** Fig. 23 – Carotte CL8 – Malacofaune.

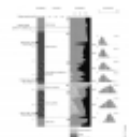
 **Légende** Fig. 24 – Carotte CL8 – Ostracofaune.

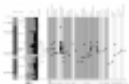
 **Légende** Fig. 25 – Section en travers de la passe nord du port de Claude.

 **Légende** Fig. 26 – Secteur nord-est du port de Claude : localisation des carottages et des bioconstructions.


 **Légende** Fig. 27 – Carotte CL2 – Composition de la fraction grossière.


 **Légende** Fig. 28 – Carotte CL2 – Ostracofaune.

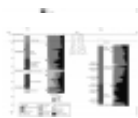
 **Légende** Fig. 29 – Carotte TRIV – Granulométrie.

 **Légende** Fig. 30 – TRIV – Macrofaune – Espèces.

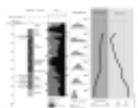
 **Légende** Fig. 31 – TRIV – Macrofaune – Assemblages.

 **Légende** Fig. 32 – TRIV – Ostracofaune – Espèces.

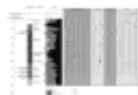
 **Légende** Fig. 33 – TRIV – Ostracofaune – Assemblages.



Légende Fig. 34 – Transect de part et d'autre du môle à l'entrée du port de Trajan.



Légende Fig. 35 – Carotte TRXIX – Granulométrie.



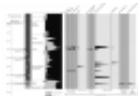
Légende Fig. 36 – Carotte TRXIX – Composition de la fraction grossière.



Légende Fig. 37 – Carotte TRXIX – Malacofaune.



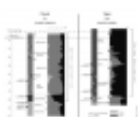
Légende Fig. 38 – Carotte TRXIX – Ostracofaune.



Légende Fig. 39 – Carotte TRXX – Malacofaune.



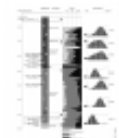
Légende Fig. 40 – Chenal d'accès au bassin de Trajan.



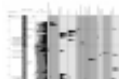
Légende Fig. 41 – Claude/Trajan : Deux bassins de types différents.



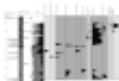
Légende Fig. 42 – Photographie de la *darsena*.



Légende Fig. 43 – Carotte TRXXIV – Granulométrie.



Légende Fig. 44 – Carotte TRXXIV – Malacofaune.



Légende Fig. 45 – Carotte TRXXIV – Ostracofaune – Espèces.



Légende Fig. 46 – Carotte TRXXIV – Ostracofaune – Assemblages.



Légende Fig. 47a et b – Morceau de bois trouvé dans la *Darsena* (cl. Fr. Groscaux [CNRS CCJ/LAMM]).



Légende Fig. 48 – Configuration du port de Rome avec deux ouvertures déduites par croisement des données archéologiques et paléoenvironnementales.

Légende Fig. 49 – Liste des datations radiocarbones effectuées à Portus.

Pour citer cet article

Référence papier

Jean-Philippe Goiran, Ferréol Salomon, Hervé Tronchère, Hatem Djerbi, Pierre Carbonel, Carole Ognard et Christine Oberlin, « Géoarchéologie des ports de Claude et de Trajan, Portus, delta du Tibre », *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité*, 123-1 | 2011, 157-236.

Référence électronique

Jean-Philippe Goiran, Ferréol Salomon, Hervé Tronchère, Hatem Djerbi, Pierre Carbonel, Carole Ognard et Christine Oberlin, « Géoarchéologie des ports de Claude et de Trajan, Portus, delta du Tibre », *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité* [En ligne], 123-1 | 2011, mis en ligne le 19 février 2013, consulté le 20 mai 2015. URL : <http://mefra.revues.org/491>

Auteurs

Jean-Philippe Goiran

CNRS – UMR 5133 – Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon, jean-philippe.goiran@mom.fr

Articles du même auteur

Delta du Tibre. Campagne de carottage 2009 : geoarcheologie des canaux de Portus : l'exemple du *Canale Romano* [Texte intégral]

Paru dans *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité*, 122-1 | 2010

Portus altitudes de structures archéologiques par rapport au niveau marin antique (Secteur : Magazzini di Traiano et Darsena) [Texte intégral]

Paru dans *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité*, 123-1 | 2011

Ferréol Salomon

Université de Lyon – UMR 5600

Articles du même auteur

Delta du Tibre. Campagne de carottage 2009 : geoarcheologie des canaux de Portus : l'exemple du *Canale Romano* [Texte intégral]

Paru dans *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité*, 122-1 | 2010

Portus altitudes de structures archéologiques par rapport au niveau marin antique (Secteur : Magazzini di Traiano et Darsena) [Texte intégral]

Paru dans *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité*, 123-1 | 2011

Hervé Tronchère

CNRS – UMR 5133 – Maison de l'Orient et de la Méditerranée

Hatem Djerbi

Université de Lyon – UMR 5600

Pierre Carbonel

CNRS – UMR 5805 – EPOC, Talence

Carole Ognard

Université de Lyon – UMR 5600

Christine Oberlin

CNRS – UMR 5138 – Archéométrie – Centre de Datation par le Radiocarbone, Villeurbanne

Droits d'auteur

© École française de Rome