



Stratigraphie, sédimentologie (Paléoenvironnement)

## 2000 ans de colmatage du port antique de Fréjus (*Forum Julii*), France : une double métamorphose littorale

*Silting-up of the Frejus ancient harbour (Forum Julii, France) during the past 2000 years: A two-phase model of palaeoenvironmental change*

Guénaëlle Bony<sup>a,\*</sup>, Christophe Morhange<sup>a</sup>, Hélène Bruneton<sup>a</sup>, Pierre Carbonel<sup>b</sup>,  
Chérine Gébara<sup>c</sup>

<sup>a</sup> CEREGE CNRS UMR 6635, Aix-Marseille université, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix-en-Provence, cedex 04, France

<sup>b</sup> EPOC-OASU CNRS UMR 5805, université Bordeaux-1, avenue des Facultés, 33405 Talence cedex, France

<sup>c</sup> Service départemental d'archéologie, conseil général du Var, Le Clos de la Tour, 17, rue Gustave-Bret, 83300 Fréjus, France

### INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 4 janvier 2010

Accepté après révision le 6 septembre 2011

Disponible sur internet le 14 octobre 2011

Présenté par Jean Aubouin

Mots clés :

Port antique

Progradation deltaïque

Paléo-environnement

Paléo-risque littoral

Géochronologie

Fréjus

Provence

France

### RÉSUMÉ

Le port antique de Fréjus, situé sur les marges d'une ancienne ria holocène, a fait l'objet d'un programme de recherches archéologiques et paléo-environnementales. Nous avons pu effectuer des carottages dans le bassin portuaire romain. L'étude haute-résolution des sédiments a pour objectif la caractérisation et la reconstitution chrono-stratigraphique et bio-sédimentologique des milieux. Ces travaux ont permis : (1) de valider l'hypothèse de Texier (1849) qui interprète le milieu pré-portuaire comme correspondant à un fond de baie marine. Excoffon et al., 2006 et Devillers et al., 2007 soulignent la présence d'une côte rocheuse à la butte Saint-Antoine, à l'époque de la création du port, rapidement transformée en côte meuble sous l'influence des apports détritiques de l'Argens ; (2) Nos travaux ont ensuite permis de valider la date de fondation du port estimée à 2025 ± 30 BP (120 cal. BC–60 cal. AD), en accord avec les écrits historiques, au début du règne d'Auguste, (3) de mettre en évidence deux stades de confinement portuaire. Le faciès sédimentaire correspondant au milieu portuaire traduit une lagune euryhaline (B1 et B3). Il se continentalise progressivement en se transformant en un lac d'eau douce (B4), en raison de la progradation du delta de l'Argens qui a peu à peu éloigné le bassin portuaire de la ligne de rivage. La quasi-absence d'archives sédimentaires entre la fin du premier siècle avant notre ère jusqu'au septième siècle après notre ère (vitesse de sédimentation relative d'environ 0,5 mm/an) est révélatrice de possibles curages portuaires.

© 2011 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

### ABSTRACT

The ancient harbour of Fréjus, located in a Holocene ria, has been the subject of a research program in archaeology and, notably with regards to the sedimentary environment at its foundation. A core was extracted in the middle of the basin of Fréjus harbour. The objective is to understand the paleogeographical evolution of the pre-harbour and Roman harbour environments. The sedimentological and biostratigraphical proxies enabled us to: (1) confirm Texier's (1849) hypothesis in which the pre-harbour environment comprised a marine bay blocked by an artificial quay (Gébara and Morhange, 2010). Excoffon et al., 2006 and Devillers et al., 2007, demonstrate the presence of a rocky coast (butte Saint-

Keywords:

Ancient harbour

Deltaic progradation

Palaeo-environment

Coastal hazards

Geoarchaeology

Fréjus

Provence

France

\* Auteur correspondant.

E-mail addresses: bony@cerege.fr (G. Bony), morhange@cerege.fr (C. Morhange), bruneton@cerege.fr (H. Bruneton), p.carbonel@epoc.u-bordeaux1.fr (P. Carbonel), cgebara@cg83.fr (C. Gébara).

Antoine), at the time of the harbour's foundation, which it has been progressively transformed into a sandy coast due to the sedimentary input of Argens delta. This study permitted: (2) to confirm the date of foundation of Fréjus' harbor; and (3) to show different phases of protection. Indeed, the harbour facies attests to a euryhaline lagoon (B1 and B3) which was gradually transformed into a freshwater lake (B4) due to the progradation of the Argens. Low sedimentation rates (ca. 0.5 mm/year), between the end of the last century BC until seventh century AD is consistent with the dredging of the harbour basin.

© 2011 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

## Abridged English version

The ancient harbour of Fréjus, ancient *Forum Julii*, located on the distal margin of a Holocene ria (length of 11 km; Fig. 1), has been the object of extensive research, especially with regards to the nature of its landscape at the time of the city's foundation around 49 BC. A detailed publication of this military port, which ensured the protection of the coasts of southern Gaul and the western Mediterranean between the Augustan period and the end of the 2<sup>nd</sup> c. AD, combines both archaeological and geomorphological data (Gébara and Morhange, 2010; Goudineau, 2009). The study of a core extracted in the middle of the basin (SC6; Fig. 2) has allowed us to precisely reconstruct the palaeogeographic and chrono-stratigraphic evolution of the pre-harbour and harbour environments (Table 1). First, facies A is characterized by a coarse granulometry indicating a high-energy depositional environment (Table 1). These sands contain subtidal marine macrofauna such as Tellinidae and Mactridae (Fig. 4). Ostracoda are present in a few quantities and correspond to an open marine environment (Fig. 5). Marine species are present, including *Callistocythere* sp., *Costa batei* and *Aurilla convexa*. These species have robust shells, and their presence testifies to a marine environment. Shells of freshwater ostracoda are broken consistent with reworking. Marine benthic foraminifera (*Triloculina* sp., *Quinqueloculina* sp., *Elphidium* sp., *Ammonia beccari*) are also present (Fig. 6). According to Redois and Debenay (1996), Duchemin and Jorissen (2005), Murray (2006), this assemblage is characteristic of a shallow marine environment. Facies A therefore corresponds to a marine cove environment with freshwater inputs. From 2025 ± 30 BP (120 cal. BC–60 cal. AD; Fig. 3), the environment was suddenly transformed into a euryhaline lagoon, characterized by fine-grained sediments and lagoonal biocenoses (B1; figure 3), translating confinement of the basin. The dominant ostracoda species is *Cyprideis torosa* characteristic of lagoonal environment (Fig. 5). Some marine ostracoda are still present and indicate a link with the sea. The environmental change between this facies and facies A is very sudden and shows an artificialisation of the environment by the building of a quay in order to protect and limit the harbour basin. Due to the progradation of the Argens River (Bertoncello and Devillers, 2006; Dubar, 2003, 2004), the link with the open sea was reduced and the harbour basin became landlocked. Moreover, some archaeological observations confirm this evolution. During Flavian times (69 AD–96 AD), a long jetty (145 m in length), attached to the western ends of the quay, was built laterally to the coast to limit the infilling of the harbour

entrance (Gébara and Morhange, 2010). In terms of chronostratigraphy, the dating of facies B1 indicates a very low sedimentation rate of ca. 0.5 mm/year. (1) This result is paradoxical for a protected harbour basin in a deltaic context, especially when one considers that this sedimentation rate contrasts with the coastal progradation rate near the harbour of Fréjus (170 cm/year) between 0–50 AD (Excoffon et al., 2006). (2) Moreover, harbour basins act as sediment traps. Generally, the sedimentation rate inside a harbor basin is ca. 10 times greater than nearby naturally prograding coasts (Marriner and Morhange, 2007). This sedimentary paradox can be attributed to dredging (Carsana et al., 2009, Marriner and Morhange, 2006a, 2006b, 2007; Marriner et al., 2008). Unit B2, is characterized by a coarse granulometry with high proportions of marine shell fragments (Table 1). The macrofauna, ostracoda and foraminifera analyses show an assemblage identical to the assemblage of unit A (Figs. 4, 5 and 6). According to Hippensted and Martin (1999), these proxies support a storm facies. Radiocarbon dating is consistent with the removal of this deposit. Unit B3 is a fine-grained layer characterized by lagoonal ostracoda and episodic freshwater ostracoda (Fig. 5). This facies indicates an environment more confined in the land. The second major change recorded in the harbour's sedimentary record is a freshwater harbour basin, characterized by fine-grained sediments and freshwater microfauna (*Candona neglecta*, *Sarocypridopsis aculeata* . . . , B4; Fig. 5). The landlocking of the harbour basin resulted from a progradation of the Argens River (11 km since 6000 years BP; Bertoncello et Devillers, 2006; Dubar, 2003, 2004) and the progradation of the groundwater table. Its peculiarity was also in its freshwater basin attested during medieval and modern times with fishing activity. These results have been compared with two other cores taken inside the harbour basin (FIX and FXI; Figs. 7 and 8). These two cores show the same palaeo-environmental evolution and testify, according to historic documents, that the harbour of Fréjus was built at the beginning of the reign of Augustus.

This study also allowed us to show how natural coastal constraints and hazards have impacted upon Fréjus' harbour at different time scales. The absence of sediments for the period from the end of the last century BC to the seventh century AD is consistent with dredging of the harbour basin. On longer time scales, harbour landlocking driven by ria progradation, raises two main problems: accessibility and ship docking. At short timescales, isolated storms events are considered like a natural hazard for the Romans. Indeed, the harbour mole played a major role in the protection of the basin from western storms linked to the Mistral (dominant wind). A stratigraphic unit (B2 of

core SC6) is interpreted as a storm layer and attests to the harbour's susceptibility to meteorological events deriving from the east in the axis of the entrance channel. The evolution of Fréjus' harbour environment constitutes a classic example of ancient harbours in deltaic context, which led to the infilling and abandonment of the basin. The harbour of Fréjus was still relatively active until 1782, when it was artificially infilled due to health issues (malaria).

## 1. Introduction

Fréjus, l'antique *Forum Julii*, fondée vers 49 avant J.-C. par Jules César, a joué un rôle prépondérant durant plusieurs siècles en Provence orientale, comme chef-lieu de cité, puis de diocèse. De par sa situation géographique privilégiée au débouché de la basse vallée de l'Argens, entre les massifs des Maures et de l'Estérel, sur le passage de la voie aurélienne, la ville constituait un centre stratégique pour le commerce et l'agriculture. De nombreux sites archéologiques témoignent encore de son passé de colonie romaine. Parmi ces vestiges figurent ceux du port antique, protégé au titre des monuments historiques (Béraud et al., 2008 ; Gébara et Morhange, 2010 ; Rivet et al., 2000). Ce port, aménagé au pied de la butte rocheuse Saint-Antoine, était l'une des trois grandes bases navales de la flotte de Rome en Méditerranée occidentale entre l'époque augustéenne et la fin du II<sup>ème</sup> siècle après J.-C., et protégeait le littoral des Gaules à l'instar de Misène et Ravenne, qui défendaient l'Italie (Goudineau, 2009 ; Reddé, 1986). Le port couvrait une superficie approximative de 10 hectares et les vestiges des quais et de nombreuses constructions sont encore bien conservés de nos jours (Gébara et Morhange, 2010).

Du point de vue géomorphologique, le port de Fréjus se situe en marge distale du delta de l'Argens dans sa basse vallée. L'édification du delta, sur 11 km de long et 5 km de large, a débuté il y a ca. 6000 ans dans un contexte de stabilisation du niveau de la mer (Dubar, 2004). La progradation du rivage, sous l'influence des apports sédimentaires de l'Argens, a influencé l'occupation de la vallée, ainsi que l'implantation de la colonie romaine à Fréjus, l'aménagement et le maintien d'un bassin portuaire jusqu'au XVIII<sup>ème</sup> siècle (Bertoncello et al., 2004 ; Formigé, 1937).

Deux questions paléo-environnementales majeures concernent la genèse et l'évolution du bassin portuaire en relation avec la progradation du rivage. L'environnement pré-portuaire du bassin romain a suscité dès le XIX<sup>e</sup> siècle de nombreuses interrogations (Février, 1959 ; Béraud et al., 2008). Certains chercheurs ont émis l'hypothèse, généralement retenue, que le port antique avait été installé dans une lagune préexistante au pied de la cité, à environ 1,5 km de la ligne de rivage actuelle (Béraud et al., 2008 ; Cohen, 1997 ; Donnadiou, 1927 ; Février, 1977 ; Rivet et al., 2000). Seul, Texier (1849) décrit le port comme ayant été aménagé artificiellement dans une baie par la construction d'un « môle » (quai sud). Ensuite, Excoffon et al., 2006 et Devillers et al., 2007 ont décrit, au pied de la Butte Saint-Antoine, une côte rocheuse

transformée en littoral sableux sous l'effet de la progradation de l'Argens. Cette « métamorphose » a été datée vers  $2420 \pm 30$  ans BP et par la céramique entre 20–30 avant J.-C. et 20–30 après J.-C.

Afin de préciser les transformations environnementales du bassin portuaire, nous avons étudié, dans le cadre d'une étude géoarchéologique pluridisciplinaire, une carotte sédimentaire (carotte SC6 ; +1, 32 m NGF) prélevée au centre du bassin. Les résultats de cette étude ont ensuite été comparés à ceux de deux autres carottes (FIX et FXI) prélevées sur la marge nord (FIX ; +1,33 m NGF, J. Villier com. pers) et au centre du bassin (FXI ; +1,27 m NGF, F. Bertrand com. pers., Gébara et Morhange, 2010).

## 2. Contexte géomorphologique et potentialités des milieux

### 2.1. Mobilité géomorphologique

À l'échelle régionale, Fréjus se situe dans la dépression permienne entre les massifs des Maures et le complexe volcanique de l'Estérel (Campredon et Boucarut, 1975), à l'embouchure d'un delta. La basse vallée de l'Argens correspond à une ancienne ria holocène longue de 11 km (Bertoncello et Devillers, 2006 ; Dubar, 2003, 2004), dont le colmatage a débuté il y a environ 6000 ans BP (Fig. 1). En effet, la stabilité du niveau marin relatif à l'Holocène récent (Bertoncello et al., à paraître ; Devillers et al., 2007 ; Dubar et Anthony, 1995 ; Excoffon et al., 2006 ; Laborel et al., 1994 ; Morhange et al., 2001) associée aux forçages climatiques et anthropiques (Jorda et Provansal, 1996 ; Provansal, 1995 ; Provansal et al., 2006) a accéléré la progradation du delta de l'Argens, permettant la constitution de sa plaine alluviale.

Le comblement de la ria témoigne d'une sédimentation active au niveau de base, tout à fait comparable à l'évolution géomorphologique d'autres rias méditerranéennes (Brückner et al., 2005 ; Devillers, 2008 ; Goodman et al., 2008, par exemple).

À l'échelle locale, le site du port antique de Fréjus se situe à l'est de la Butte Saint-Antoine (Fig. 2). Ce promontoire gréseux, culminant à 11 m NGF, correspond à un ancien cap qui a longtemps protégé le littoral des crues de l'Argens (Devillers et al., 2007 ; Excoffon et al., 2006). La protection relative de ce secteur, au pied de la ville antique, explique sa transformation en bassin portuaire.

Au pied de la butte Saint-Antoine, occupée dès l'Âge du Fer, l'étude archéologique du site du théâtre d'agglomération a permis de mettre en évidence un niveau marin daté à  $2420 \pm 30$  ans BP vers  $-30$  cm NGF (Devillers et al., 2007 ; Excoffon et al., 2006). Depuis 2000 ans, la stabilisation du niveau de la mer est donc de plus en plus marquée. Par conséquent, les flux sédimentaires expliquent que la butte Saint-Antoine ait subi une métamorphose géomorphologique en passant d'une côte rocheuse battue à un littoral sableux progradant (Devillers et al., 2007 ; Excoffon et al., 2006). C'est dans ce contexte géomorphologique particulièrement mobile, que s'inscrit la fondation du port romain. Du point de vue météo-marin, le golfe de Fréjus est soumis à deux

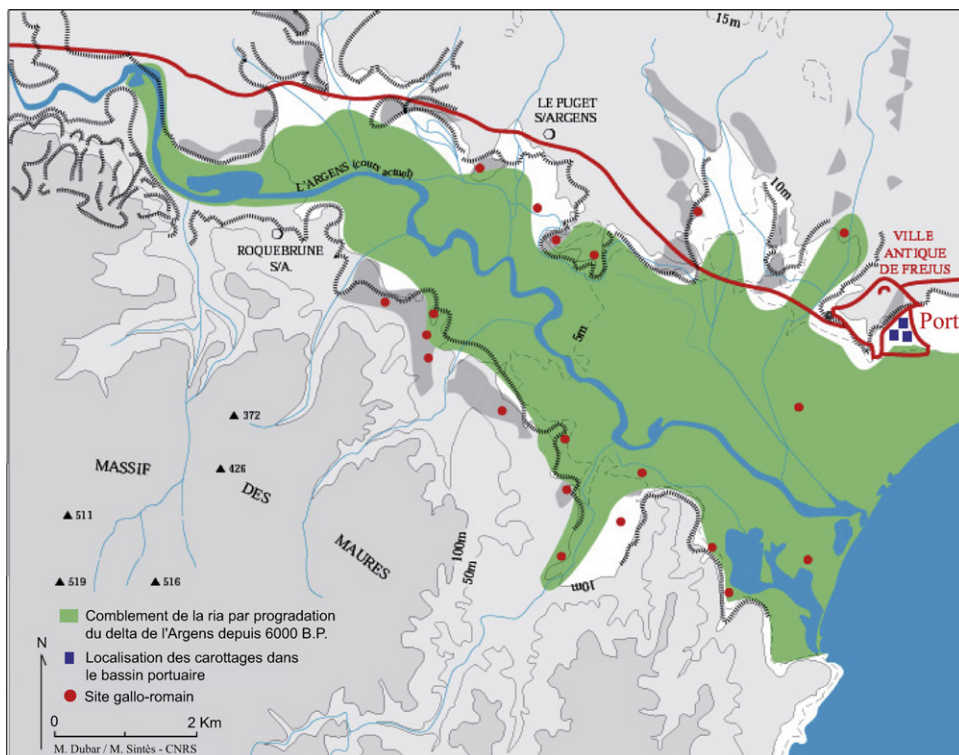


Fig. 1. Transgression marine holocène vers 6000 BP et localisation du port de Fréjus.

Fig. 1. Holocene marine transgression around 6000 B.P. and the location of Fréjus' harbour. Dubar, 2004.

régimes de vents différents : les vents d'ouest liés au Mistral et les vents d'est d'origine ligure, moteurs des houles les plus morphogènes. Le transit littoral dominant est du sud-ouest en direction du nord-est (Cohen, 1991).

### 3. Présentation de la carotte sédimentaire SC6

La carotte SC6 a été prélevée au centre du bassin antique (Fig. 2). Elle mesure 15 m de profondeur et se compose de 12 tronçons d'un mètre de longueur. L'opération de carottage a été réalisée à l'aide d'un carottier mécanique rotatif avec prélèvement sous gaine. Pour les besoins de l'étude, nous avons étudié les tronçons T8, T7 et T6, soit entre 8,90 et 6 m de profondeur, qui correspondent à la période romaine (Gébara et Morhange, 2010). On distingue deux unités stratigraphiques (Tableau 1). La première unité sédimentaire (A), entre  $-8,90$  et  $-7,80$  m, est de texture sableuse avec des fragments de macrofaune marine. La granulométrie grossière traduit un milieu marin dynamique. Une deuxième unité sédimentaire (B), entre  $-7,80$  et  $-6$  m, est de texture limoneuse indiquant un mode de dépôt plus calme. Une passée de sables grossiers (B2), avec des fragments de coquilles marines, est située entre 7,40 et 7,20 m de profondeur.

### 4. Matériels et méthodes

Les objectifs de cette étude sont : (1) d'identifier et de dater le milieu de sédimentation précédant l'installation du

port ; (2) de préciser les transformations environnementales entraînées par la fondation du port, en relation avec la progradation du delta de l'Argens. Les analyses ont eu pour objectif de caractériser les différents faciès sédimentaires observés. Ces faciès sont analysés en termes de milieux de sédimentation, puis interprétés à la lumière des données historiques, archéologiques et géomorphologiques. En effet, la granulométrie permet d'identifier la texture et de mettre en évidence les processus de sédimentation et le niveau d'énergie correspondant au type de confinement du milieu (Morhange, 2001). L'étude des bioindicateurs permet une reconstitution fine des paléo-environnements. Nous avons utilisé les référentiels suivants pour déterminer la macrofaune marine (D'Angelo et Gargiullo, 1978 ; Péres et Picard, 1964 ; Poppe et Goto, 2000), les ostracodes (Bronshstein, 1988 ; Carbonel, 1980 ; Guernet et al., 2003) et les foraminifères benthiques (Murray, 2006).

Les datations ont été effectuées par spectromètre de masse à accélérateur au laboratoire de datation par le radiocarbone de Poznan (Pologne, Fig. 3). Les âges radiocarbone ont été calibrés avec Oxcal V3.10 suivant les courbes de référence IntCal04 (pour les échantillons de bois, graine et brindilles ; Reimer et al., 2004) et Marine04 (pour les échantillons de coquilles marines et fibres de posidonies ; Hughen et al., 2004). Nous renvoyons les lecteurs intéressés par les questions méthodologiques à une synthèse détaillée traitant de l'étude paléo-environnementale des ports antiques en Méditerranée (Marriner et Morhange, 2007).

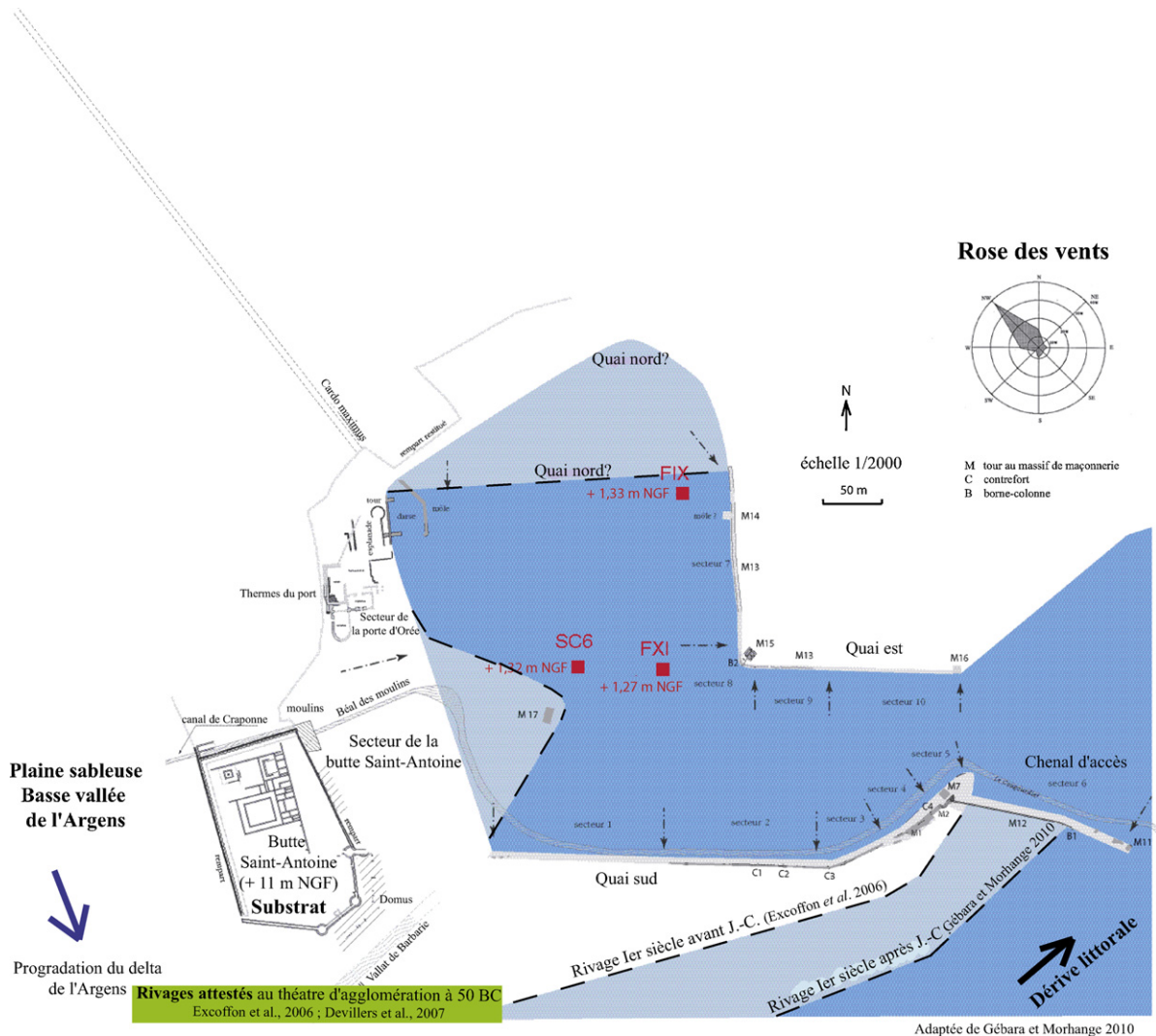


Fig. 2. Schéma du port de Fréjus et localisation des carottes sédimentaires étudiées : FIX en marge du bassin, SC6 et FXI au centre du bassin. Chenal d'accès orienté nord-ouest/sud-est. Rose des vents indiquant une houle dominante d'est.

Fig. 2. Plan of the ancient harbour of Fréjus and location of sedimentary cores: FIX on the basin margin, SC6 and FXI in the centre of the basin. Channel access oriented north-west/south-east. The wind rose shows a dominant eastern swell. Modified from Gébara and Morhange, 2010.

## 5. Résultats

Le **Tableau 1** présente les résultats granulométriques. Les **Fig. 4 à 6** concernent les bioindicateurs.

### 5.1. Unité A : faciès sédimentaire précédant l'installation du port

Cette unité de base (A) est située entre 8,90 et 7,80 m de profondeur. Elle est constituée d'une accumulation de sédiments sableux, de couleur orangée à gris-marron au sommet de l'unité, traduisant un milieu de dépôt dynamique. Cinq prélèvements ont été réalisés pour effectuer des datations ; un sur du bois, un sur quelques fibres de posidonies et trois sur des coquilles marines (*Rissoïdæ*, *Petricocidæ* et *Donicidæ* ; **Fig. 3**). Le bois a été daté à  $2025 \pm 30$  ans BP (120 cal. BC–60 cal. AD). Ce prélèvement est

situé à la transition entre le faciès sableux (unité A) et le faciès limoneux sus-jacent (unité B). Les coquilles ont été datées à  $2410 \pm 30$  ans BP (260 cal. BC–70 cal. AD),  $2395 \pm 30$  ans BP (220 cal. BC–80 cal. AD),  $2305 \pm 30$  ans BP (120 cal. BC–160 cal. AD). La datation sur posidonies est de  $2120 \pm 30$  ans BP (144 AD - 344 AD ?). Sa calibration en utilisant la courbe de **Hughen et al. (2004)** aboutit à un rajeunissement vraisemblable, suggérant une origine partiellement continentale de la matière organique ( $\delta^{13}\text{C}$  de  $-30,9\text{‰}$ ).

Ce faciès est constitué à 95 % de sables. Le ballast, quasiment absent (1 %), est composé de fibres de posidonies. L'analyse granulométrique de la fraction sableuse indique une moyenne de 50 % de sables moyens, qui a tendance à diminuer vers le sommet (**Tableau 1**).

L'analyse de la macrofaune (**Fig. 4**) montre un assemblage marin provenant de l'étage infralittoral, avec une prédominance des *Tellinidæ* et des *Maclridæ*. Vers le

**Tableau 1**

Tableau des datations radiocarbone effectuées sur les trois carottes sédimentaires.

**Table 1**

Table of radiocarbon dates obtained on the three sedimentary cores.

N° carotte	N° échantillon	N° labo	Âge <sup>14</sup> C (B.P.)	δ <sup>13</sup> C	Âge cal. AD/BC (2 sigmas)	Profondeur (m)	Matériel daté	Statut
FIX	FIX 12	Poz-20208	215 ± 30	-25,5	1760 AD - 1800 AD	-1,8	Tiges aplaties	Acceptée
FIX	FIX 15	Poz-20209	1770 ± 30.	-11,6	220 AD - 330 AD	-2,3	3 graines	Acceptée
FIX	FIX 23	Poz-20778	950 ± 30.	-24	1020 AD - 1050 AD	-3,2	Matière organique continentale	Acceptée
FIX	FIX 29	Poz-20769	1825 ± 30	0,2	530 AD - 660 AD	-3,5	Coquille marine	Acceptée
FIX	FIX 30	Poz-20759	2040 ± 30	-0,4	270 AD - 410 AD	-3,8	Coquille marine	Acceptée
FIX	FIX 28	Poz-20210	1420 ± 30	-12,2	610 AD - 655 AD	-4	7 graines	Acceptée
FIX	FIX 32	Poz-20211	1930 ± 30	-21,1	25 AD - 40 AD	-4,7	Bois	Acceptée
FIX	FIX 33	Poz-20212	1910 ± 30	-25,6	65 AD - 130 AD	-4,8	Bois	Acceptée
FIX	FIX 54	Poz-20213	2805 ± 30	-11	1000 BC - 920 BC	-7,7	Bois	Acceptée
SC6	CT7/1	Poz-22628	2000 ± 30	-23	60 BC - 80 AD	-7,3	Brindille	Remaniée
SC6	CT7/2	Poz-22623	1370 ± 30	-21,5	600 AD - 690 AD	-7,5	Brindille	Acceptée
SC6	T7/35	Poz-24499	1420 ± 30	-16,8	580 AD - 660 AD	-7,5	Graine	Acceptée
SC6	CT7/39	Poz-24497	2025 ± 30	-22,9	120 BC - 60 AD	-7,8	Bois	Acceptée
SC6	T8/2	Poz-24561	2410 ± 30	-4,2	260 BC - 70 AD	-7,9	Rissoïdæ	Acceptée
SC6	T8/5	Poz-24560	2395 ± 30	-3,1	220 BC - 80 AD	-8,1	Petricocidæ	Acceptée
SC6	CT8/2	Poz-22472	2305 ± 30	2,5	120 BC - 160 AD	-8,3	Donicidæ	Acceptée
SC6	CT8/1	Poz-22629	2120 ± 30	-30,9	144 AD - 344 AD ?	-8,4	Fibres de posidonie	Acceptée
FXI	FXI 39	Ly 11724	1235 ± 35	-20,71	686 AD - 881 AD	-5,5	Matière organique continentale	Acceptée
FXI	FXI 43	AA48645	2152 ± 40	0,4	90 AD - 330 AD	-6	<i>Tellina pluchella</i>	Acceptée
FXI	FXI 48	AA48644	2282 ± 38	0	50 BC - 170 AD	-7	<i>Tellina incarnata</i>	Acceptée
FXI	FXI 51	AA48643	2294 ± 39	-3,5	70 BC - 150 AD	-7,6	Fibres de posidonie	Acceptée
FXI	FXI 56	Ly 11723	2285 ± 40	-15,01	60 BC - 170 AD	-8,5	Fibres de posidonie	Acceptée

Courbe de calibration IntCal04 (Reimer et al., 2004) et marine04 (Hughen et al., 2004).

sommet de l'unité, on note une dominance de mollusques originaires des fonds sableux marins, comme les *Donacidae* et les *Rissoellidae*.

Les ostracodes sont particulièrement rares (Fig. 5). On observe un assemblage d'espèces d'origine côtière. Les espèces d'eau douce (*Candona neglecta*, *Ilyocypris gibba*, *Heterocypris salina*, *Psychodromus cf. fontinalis*) ont des carapaces très abîmées, ce qui suggère un remaniement fluvial. Des espèces fragiles non remaniées, telles que *Callistocythere sp.* et *Costa batei*, sont caractéristiques des milieux marins. *Aurilla convexa* est une espèce moins fragile que ses voisines (Bruce, 2002). Elle vit dans les anfractuosités légèrement protégées des rochers (Carbone, 1980). Le milieu marin est donc relativement abrité par la proximité du promontoire rocheux de la butte Saint-Antoine.

Les foraminifères (Fig. 6) traduisent la présence d'herbiers de posidonies (*Elphidium sp.*). Selon Duchemin et Jorissen (2005), Murray (2006), Redois et Debenay (1996), l'assemblage *Triloculina sp.*, (miliolle) *Quinqueloculina sp.* (miliolle), *Elphidium sp.* et *Ammonia beccari* est cohérent et caractéristique d'un milieu marin peu profond.

L'unité A correspond à un dépôt marin, typique d'une plage de fond de baie. Cependant, la décroissance granulométrique des sables moyens, observée vers le sommet de cette unité, est relativement paradoxale. En effet, les dépôts caractéristiques de fonds sableux sont généralement de plus en plus grossiers en direction du trait de côte et de la zone de déferlement des vagues. Dans ce cas, il peut s'agir d'un début de confinement naturel du milieu, la progradation deltaïque de l'Argens

entraînant une protection naturelle de ce milieu sous la forme de barres d'avant-côte au pied de la butte Saint-Antoine.

À l'époque de la fondation de *Forum Julii*, le milieu littoral se présentait donc comme une plage de fond de baie. La datation, à 2025 ± 30 ans BP (sommet de l'unité A) permet d'estimer la fondation du port de Fréjus légèrement postérieure à 120 cal. BC–60 cal. AD.

## 5.2. Unité B : artificialisation du trait de côte

Cette unité (B), située entre 7,80 et 6 m de profondeur, est caractérisée par une accumulation limoneuse qui contraste avec la texture sableuse de l'unité sous-jacente. De plus, la transition entre ces deux unités est brutale indiquant une transformation rapide du milieu. Cette unité a été subdivisée en quatre sous-unités stratigraphiques aux contenus bio-sédimentologiques distincts (unité B1, B2, B3 et B4 ; figures. 3, 5, 6 et 7).

### 5.2.1. Phase de protection portuaire : milieu lagunaire artificiel (B1)

Cette sous-unité, située entre 7,80 et 7,40 m de profondeur, est constituée d'une accumulation de sédiments fins traduisant un milieu de dépôt calme (Tableau 1). Un dépôt laminé de sédiment carbonaté est surmonté de matière organique sur 3 cm d'épaisseur (7,62 à 7,59 m de profondeur). Ce dépôt de matière organique a été daté à 1420 ± 30 ans BP (580 cal. AD–660 cal. AD) et 1370 ± 30 ans BP (600 cal. AD–690 cal. AD ; figure 4). La base de cette sous-unité est datée vers 2025 ± 30 ans BP. Le

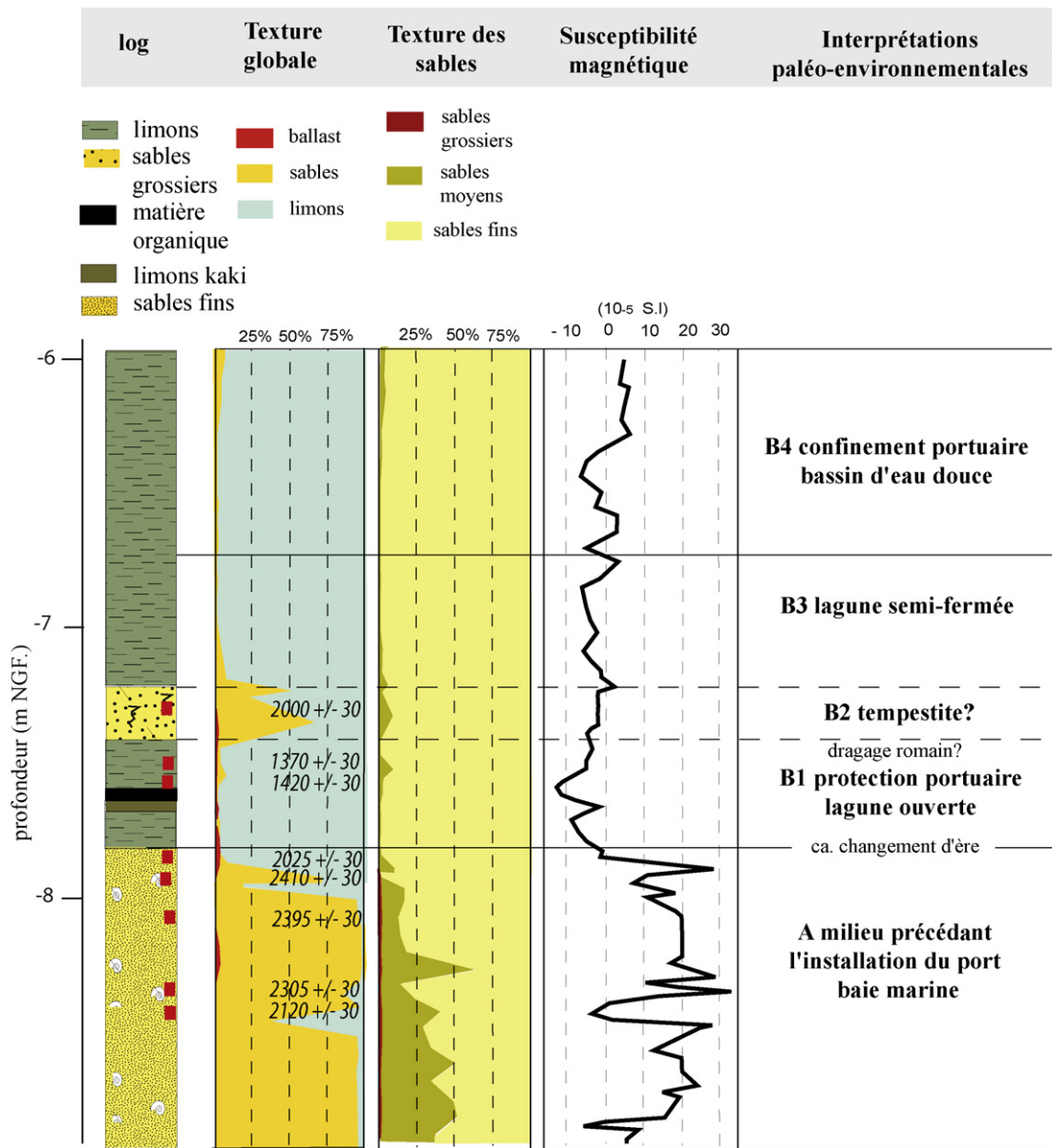


Fig. 3. Log granulométrique de la carotte SC6.

Fig. 3. Grain-size analyses of core SC6.

taux apparent de sédimentation est extrêmement faible, de l'ordre de 0,5 mm/an.

Le ballast est absent alors que les limons et argiles représentent 95 % du poids total à sec du sédiment. En contexte archéologique de bassin portuaire, cet élément est caractéristique des milieux abrités de décantation et correspond classiquement à un faciès sédimentaire artificiellement protégé (Marriner et Morhange, 2007 ; Morhange, 2001).

Les sables résiduels composés à 95 % de sables fins sont constitués de deux espèces d'ostracodes ; *Cyprideis torosa* et *Costa Batei* (Fig. 5). La surreprésentation de *Cyprideis torosa* indique la mise en place d'un milieu lagunaire euryhalin (Cabral et al., 2006 ; Carbonel, 1980 ;

Ruiz et al., 2000). À la base, la présence ponctuelle de *Costa Batei* traduit une connexion avec la mer. En revanche, son absence au sommet de la sous-unité indique un éloignement plus marqué du plan d'eau marin. La présence de foraminifères comme les miliolles et *Ammonia beccari* est cohérente avec le litho-faciès (Murray, 2006 ; Fig. 6). Ces espèces, marines, sont souvent présentes en faible quantité dans les lagunes et attestent un milieu euryhalin, en connexion avec le large.

La sous-unité B1 est caractérisée par une granulométrie limoneuse et un joint stratigraphique net avec l'unité A (Tableau 1). Ceci indique une protection artificielle du milieu par la mise en place d'une structure de défense portuaire, entre la fin du I<sup>er</sup> siècle avant J.-C. et le début du

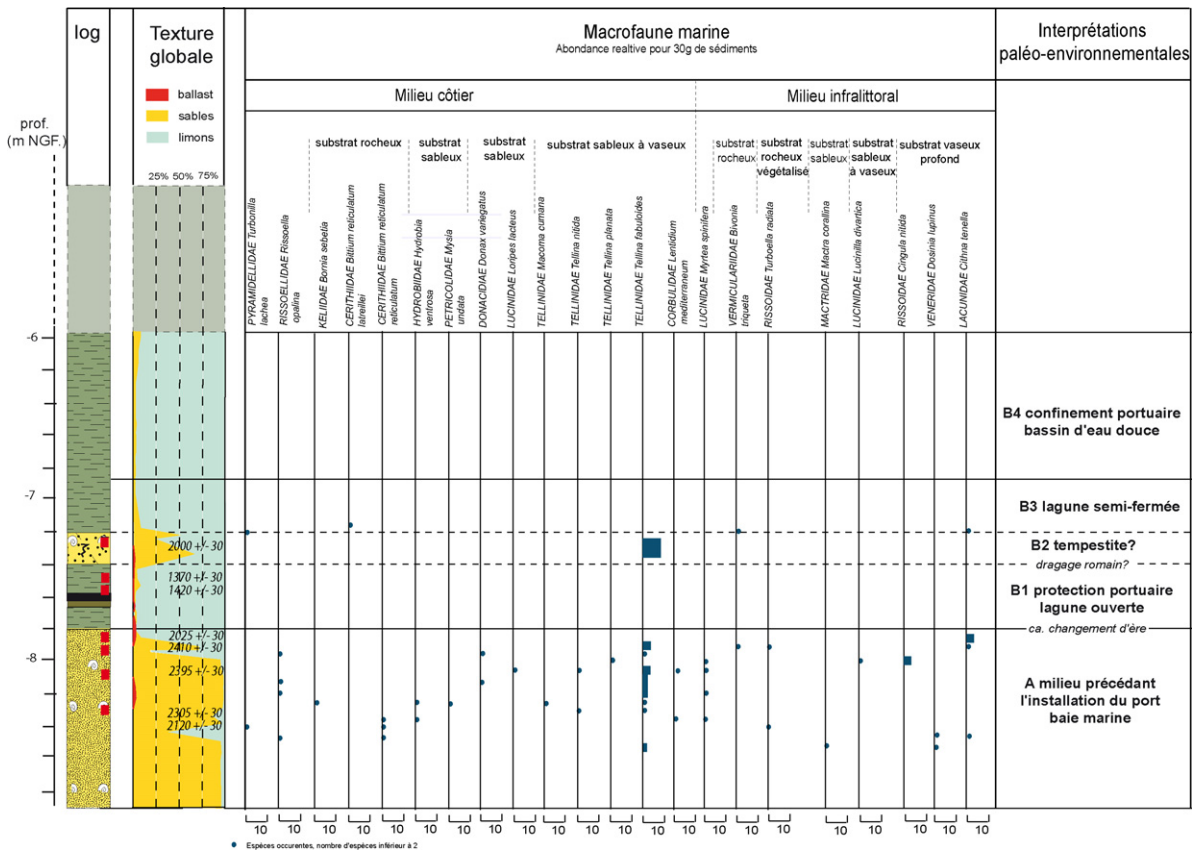


Fig. 4. Log de la macrofaune de la carotte SC6.

Fig. 4. Macrofauna of core SC6.

1<sup>er</sup> siècle après J.-C. Le quai sud, d'une longueur de 400 m environ, est posé sur une flèche sableuse (Gébara et Morhange, 2010). En effet, l'enrichissement en sable fins au sommet de l'unité A suggère la formation d'une flèche sableuse cohérente avec un littoral en progradation et une dérive littorale orientée sud-ouest/nord-est. Le passage brutal à l'unité B traduit un aménagement important et rapide du trait de côte. Le quai sud a été doublé et renforcé à son extrémité orientale, au point de contact entre le bassin portuaire et la mer, par un large éperon (Gébara et Morhange, 2010). Dans un contexte protégé, le faible taux apparent de sédimentation à l'intérieur du bassin portuaire est paradoxal (0,5 mm/an en 600 ans). En effet, les taux de sédimentation portuaire sont systématiquement très élevés, puisque les bassins agissent comme des pièges à sédiments (Marriner et Morhange, 2007). À Fréjus, ce faible taux de sédimentation est d'autant plus énigmatique, que le contexte géomorphologique correspond à une marge deltaïque très progradante. Dans ce contexte, nous pouvons interpréter ce faible taux de sédimentation comme correspondant à un hiatus sédimentaire d'origine anthropique.

### 5.2.2. Dépôt de tempête (sous-unité B2)

Cette sous-unité sédimentaire est située entre 7,40 et 7,20 m de profondeur. Elle est constituée de sables contenant de nombreux fragments de coquilles marines

(Tableau 1). Aucune organisation stratigraphique n'a été observée. Une datation sur brindille a donné un âge de  $2000 \pm 30$  ans BP (60 cal. BC–80 cal. AD ; Fig. 3). Cette date n'est pas cohérente avec les précédentes. Le matériel a donc été remanié et provient d'un stock sédimentaire plus ancien. La fraction sableuse représente jusqu'à 40 % du poids total à sec du sédiment. Cela évoque un mode beaucoup plus battu que la sous-unité B1. Le ballast est constitué en majorité de fragments de coquilles traduisant une origine marine.

L'analyse de la macrofaune montre une dominance de *Tellina fabuloidea* (Fig. 4). Cette espèce vit dans les sables fins médio- et infralittoraux jusqu'à 50 m de profondeur (Poppe et Goto, 2000). Des espèces côtières (*Cerithiidae*, *Pyramidellidae*), de côtes rocheuses (*Vermiculariidae*) et de milieux infralittoraux (*Lucinidae*), sont aussi présentes, mais en faible quantité. Ce mélange de différents stocks dans une matrice assez grossière indique un remaniement par un évènement de haute énergie. L'assemblage de foraminifères est identique à celui de l'unité marine A. Selon Hippensted et Martin (1999), le passage de dépôts fins (sous-unité B1) à des dépôts plus grossiers (sous-unité B2), corrélé à la présence de coquilles marines brisées en B2, peut indiquer un remaniement lors d'un épisode de tempête. De plus, les ostracodes caractéristiques des milieux marins ouverts sont très abîmés. L'état de leurs carapaces traduit un transport énergétique et un remaniement. La sous-unité B2 peut correspondre à



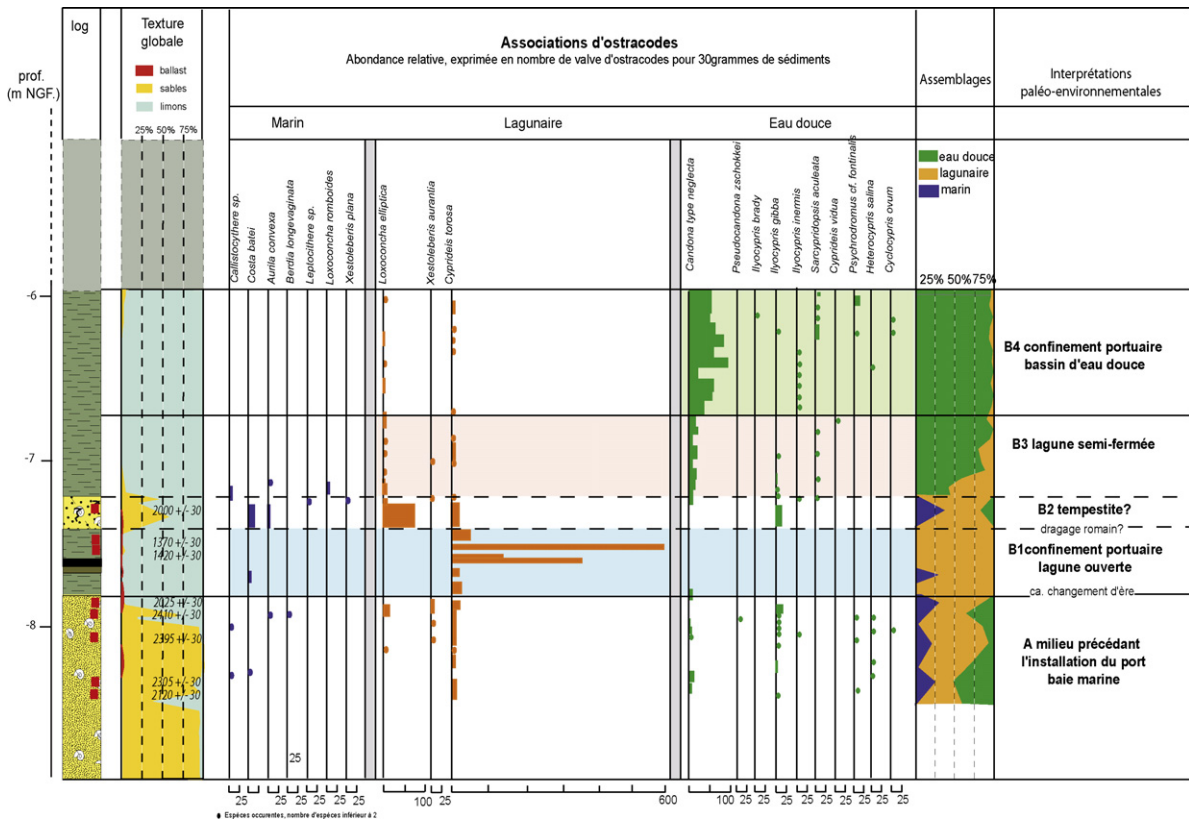


Fig. 5. Log ostracodologique de la carotte SC6.

Fig. 5. Ostracofauna of core SC6.

l'enregistrement sédimentaire d'un épisode de tempête à l'intérieur du bassin portuaire.

### 5.2.3. Milieu portuaire (sous-unité B3)

Cette sous-unité, située entre 7,20 m et 6,70 m de profondeur, est constituée d'une accumulation de sédiments fins traduisant un milieu de dépôt calme, identique à la sous-unité B1 (Tableau 1).

Les ostracodes (Fig. 5), présents dans les sables résiduels sont constitués d'espèces lagunaires (*Cyprideis torosa*, *Loxoconcha elliptica* et *Xestoleberis aurantia*), marines (*Aurila convexa*, *Loxoconcha romboides* et *Callistocythere littoralis*), ainsi que d'eau douce (*Candona type neglecta*, *Ilyocypris gibba*, *Sarocypridopsis aculeata* et *Cyprideis vidua*). Les ostracodes marins sont présents à la base de cette sous-unité, mais diminuent progressivement au profit des ostracodes d'eau douce. Cette évolution associée à l'absence de macrofaune marine ainsi que de foraminifères (Fig. 4 et 6) indique l'éloignement progressif de la ligne de rivage.

Cette sous-unité correspond au colmatage d'un bassin portuaire en contexte deltaïque. Sous l'effet de la progradation littorale, le bassin portuaire est peu à peu déconnecté du plan d'eau marin et enclavé dans les terres, bien que certains aménagements portuaires, comme le chenal d'accès, aient été entrepris afin de conserver une connexion avec la mer.

### 5.2.4. Bassin d'eau douce (sous-unité B4)

Cette sous-unité, située à partir de 6,70 m de profondeur, est de texture limoneuse identique aux sous-unités B1 et B3 (Tableau 1). En l'absence de datation, nous pouvons seulement supposer que ce dépôt sédimentaire est postérieur à  $1370 \pm 30$  ans BP (600 cal. A.D.–690 cal. AD ; Fig. 3).

Le ballast et les sables sont quasi-absents. Les sables résiduels sont composés à 97 % de sables fins et contiennent une quantité importante d'ostracodes, tandis que les foraminifères sont absents (Fig. 4 et 6). L'association d'ostracodes (Fig. 5) décrit un milieu d'eau douce en connexion avec la mer, avec une tendance à la végétalisation. En effet, l'espèce dominante, *Candona neglecta*, supporte entre 10 et 20 ‰ de salinité. Ses habitats caractéristiques sont essentiellement des lacs, des mares temporaires et des lagunes très peu salées. *Sarocypridopsis aculeata* est une espèce d'eau douce dont le milieu a tendance à se végétaliser. La présence d'espèces lagunaires, comme *Loxoconcha elliptica* et *Cyprideis torosa*, n'est pas surprenante, puisque ces espèces s'adaptent à d'importantes variations de salinité. Elles peuvent survivre dans des conditions limites mais en concentrations plus faibles. Cet assemblage est en adéquation avec un milieu d'eau douce en connexion avec la mer (Frenzel et Boomer, 2005). De plus, des oogones de Characées sont présentes en quantités

importantes. Ces végétaux aquatiques affectionnent les eaux saumâtres et d'eau douce (Guelorget et Perthuisot, 1983 ; Soulié-Märsche, 2008).

Cette dernière sous-unité (B4), caractérisée par une faune dulçaquicole, correspond à un milieu de sédimentation artificiel d'eau douce en connexion partielle avec la mer. Sous l'effet de la progradation du delta de l'Argens, le bassin portuaire est de plus en plus enclavé à l'intérieur des terres. Les apports marins se raréfient et le port lagunaire se transforme en bassin d'eau douce.

## 6. Discussion

L'étude paléo-environnementale a permis de valider l'hypothèse formulée par Texier en 1849, qui interprétait le bassin portuaire comme un fond de baie marine artificiellement aménagé. Elle confirme aussi la date de fondation du port par rapport à l'implantation de la colonie et à la bataille d'Actium en 31 avant J.-C. Cependant, cette étude pose deux nouvelles questions. Le premier problème est le hiatus sédimentaire entre la fin

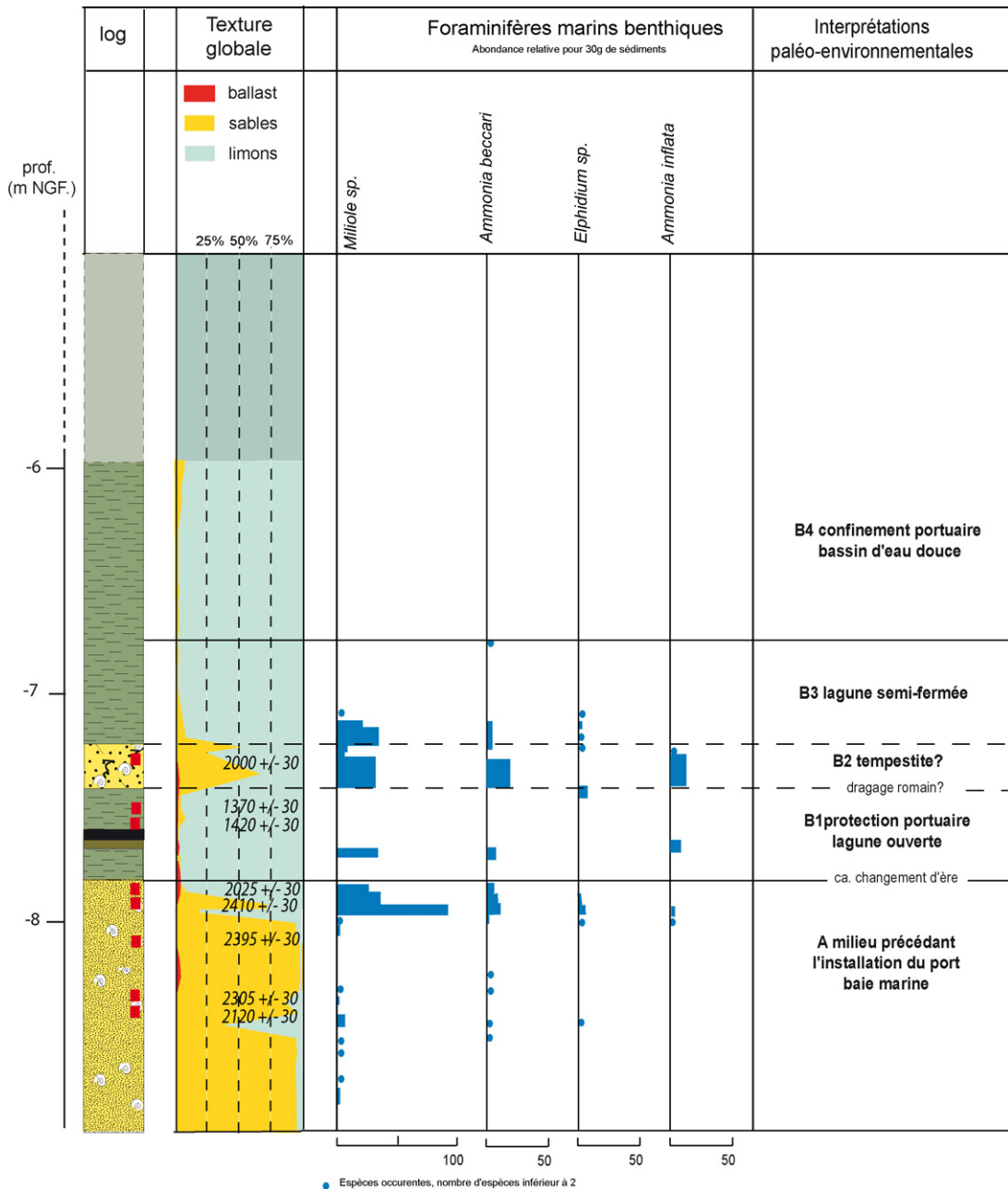


Fig. 6. Log des foraminifères de la carotte SC6.

Fig. 6. Foraminifera of core SC6.

du premier siècle avant J.-C et le septième siècle après J.-C. La deuxième question est d'ordre paléogéographique, avec le passage d'une lagune euryhaline à un lac d'eau douce qu'il faut tenter d'expliquer. Nos résultats sont comparés aux résultats de deux autres carottes portuaires ; FIX et FXI, prélevées dans le centre et sur la marge nord du bassin (Fig. 7 et 8).

6.1. D'un fond de baie à un bassin artificiel

La présence d'un milieu marin ouvert précédant l'installation du port est attestée par la granulométrie grossière des sédiments et par des indicateurs faunistiques adaptés à un milieu côtier ouvert (unité A). Aucun bio-indicateur ne permet d'identifier la présence d'une lagune naturelle dans laquelle le port aurait été installé. Bien au contraire, cet environnement est comparable à une plage de fond de baie. Dans ce contexte, le puissant mur-parapet qui limite le quai sud avait pour rôle de protéger le bassin des houles et des tempêtes. Cette structure a joué le rôle de brise-lames transformant le fond de la baie de Fréjus en bassin artificiellement protégé.

La datation réalisée au sommet des sables pré-portuaires a donné un âge de 2025 ± 30 ans BP (120 cal. BC - 60 cal. AD). Pour les carottes FIX et FXI, le passage des sables (unité A) aux limons (unité B), a été daté de la fin du dernier siècle avant notre ère, ce qui confirme l'absence d'un port protégé pré-Augustéen (1910 ± 30 ans BP, 65–130 cal. AD ; 2282 ± 38 ans BP, 50 cal. BC–170 cal. AD ; Fig. 3).

Même si la fréquentation du site dès l'âge du Fer et la présence d'un port dès la fondation de la ville, aux environs de 49 avant J.-C., paraît probable, la première mention historique qui place son existence vers 31 av. J.-C. est Tacite (repris ensuite par Pline L'Ancien, ann. 4.5), lorsque Fréjus a servi d'abri à une partie de la flotte de Cléopâtre et d'Antoine, prise par Octave après la bataille d'Actium. Les écrits témoignent, par la suite, que le port de Fréjus est un grand port militaire et commercial (Reddé, 1986; Gébara et Morhange, 2010). Strabon, dans le livre IV de sa Géographie, mentionne le port de *Forum Julii* par le terme de « naustathmon » qui signifie base navale. Du point de vue archéologique, les principales infrastructures datables de l'époque augustéenne, entre la fin du I<sup>er</sup> siècle après J.-C. et le début du I<sup>er</sup> siècle après J.-C. (Gébara et Morhange, 2010), en conformité avec notre proposition chrono-stratigraphique.

6.2. Hiatus sédimentaire de ca. 600 ans : indice de dragage à l'époque romaine ?

Le faible taux apparent de sédimentation, mis en évidence dans la sous-unité B1, correspond à un hiatus sédimentaire d'environ 600 ans, que nous avons retrouvé dans toutes les carottes prélevées dans le port de Fréjus (Gébara et Morhange, 2010). Par exemple, la vitesse de sédimentation de la carotte FXI est estimée à 0,5 mm/an, identique à celle de SC6 (Fig. 8).

Ces observations contrastent avec la vitesse de progradation du trait de côte à proximité du port de l'ordre de

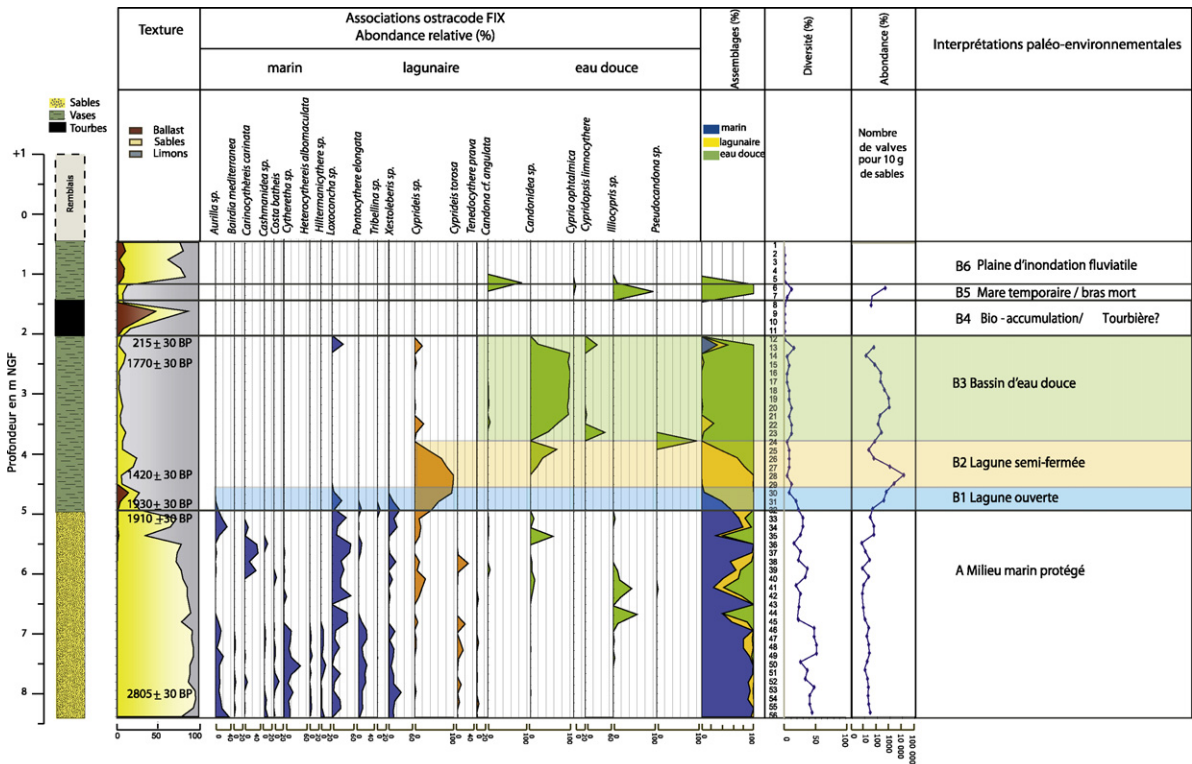
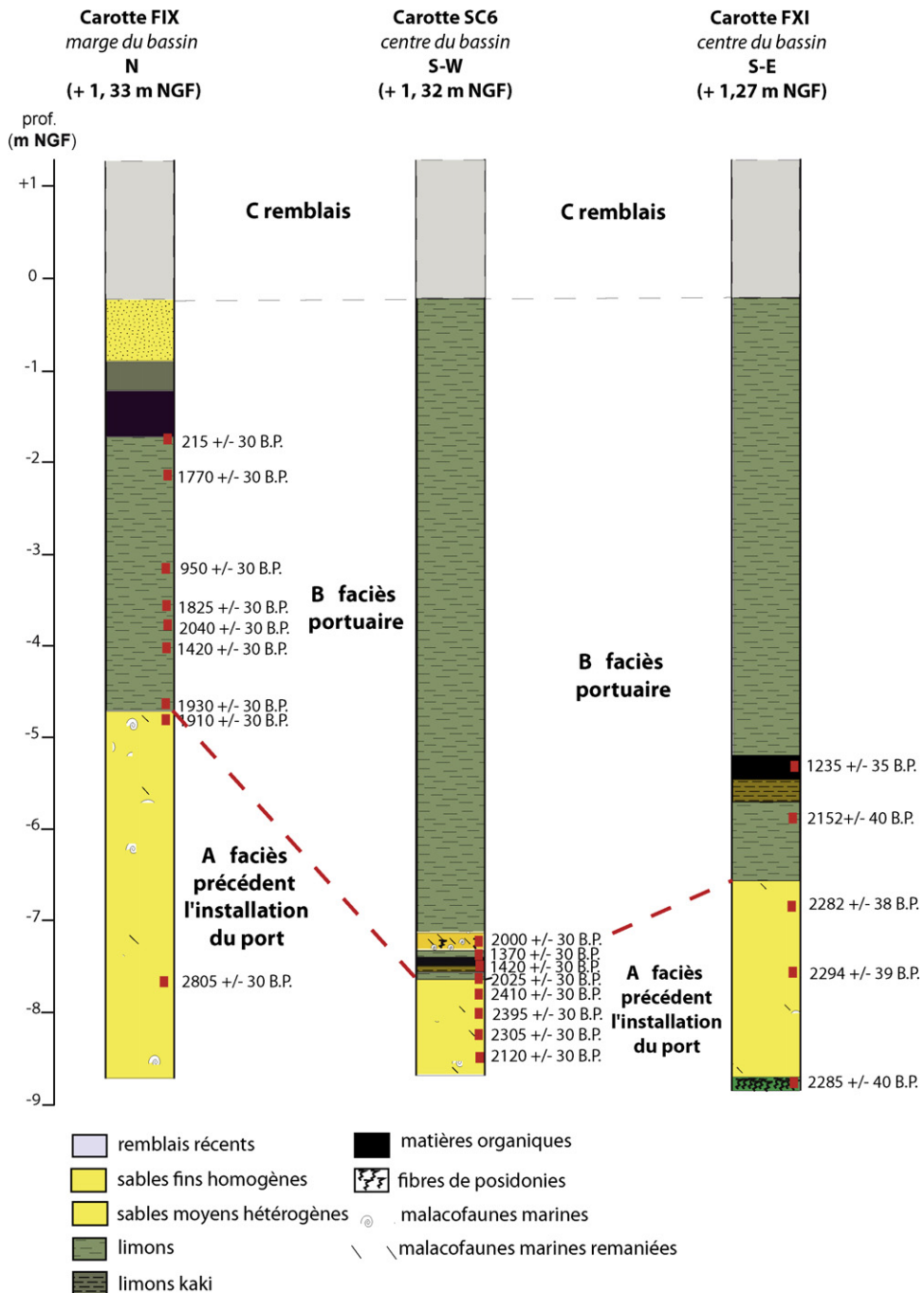


Fig. 7. Log ostracologique de la carotte FIX.

Fig. 7. Ostracodologic log of core FIX.



**Fig. 8.** Log synthétique des trois carottes sédimentaires. Faciès précédant l'installation du port de type marin protégé. Faciès portuaire de type lagunaire plus ou moins ouvert sur la mer, se transformant en un bassin d'eau douce dû au confinement dans les terres du port par progradation deltaïque de l'Argens.  
**Fig. 8.** Synthetic log of the three sedimentary cores. Three phases are identified: (i) a protected marine pre-harbour facies; (ii) a semi-enclosed lagoonal harbour facies; and (iii) a fresh water basin brought about by deltaic progradation of the Argens.

170 cm/an, entre le changement d'ère et la deuxième moitié du 1<sup>er</sup> siècle après J.-C. (Excoffon et al., 2006). Cette progradation accélérée devrait logiquement être enregistrée à l'intérieur du bassin, puisqu'il joue un rôle de piège sédimentologique (Marriner et Morhange, 2007), or ce n'est pas le cas. La progradation du rivage a dû rendre de plus en plus difficile l'accès des navires dans le bassin à

partir du deuxième quart du 1<sup>er</sup> siècle après J.-C. Un chenal d'accès est alors aménagé. À l'époque flavienne (69 AD–96 AD), une longue jetée (mesurable sur 145 m de longueur), rattachée à l'extrémité occidentale du quai sud, est construite obliquement à la côte, afin de tenter de limiter l'ensablement de la passe par les apports de la dérive littorale (Gébara et Morhange, 2010).

Tous ces éléments indiquent que le faible taux apparent de sédimentation pourrait être dû à la réalisation de curages du bassin portuaire, les ingénieurs romains étant de fins spécialistes de cette méthode d'entretien portuaire (Morhange et Marriner, 2008).

Ce paradoxe sédimentologique d'un bassin romain sans dépôt corrélatif peut donc traduire les impacts de dragages importants qui auraient éliminé volontairement les archives sédimentaires, comme à Marseille (Hesnard, 2004 ; Morhange et al., 2003 ; Pomey, 1995), Naples (Carsana et al., 2009), ou Tyr et Sidon (Marriner et Morhange, 2006a, 2006b). En effet, le colmatage accéléré du bassin a dû réduire la hauteur de la colonne d'eau et donc gêner la circulation des navires, malgré leurs tirants d'eau relativement faibles à cette époque (Boetto, 2008). À la fin du I<sup>er</sup> siècle avant J.-C., on estime la hauteur de la colonne d'eau à environ 7 m au cœur du port et 4 m à proximité de la marge nord du bassin (Fig. 8). Un rapport manuscrit sur le comblement du port de Fréjus, mentionne une profondeur de 30 pieds, soit 8,70 m (Anonyme, 1774). Cette donnée suggère un entretien portuaire puisque le centre du port conserve un tirant d'eau très important et quasi-identique, de sa fondation jusqu'à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle.

### 6.3. Le port médiéval de Fréjus, un bassin d'eau douce

L'existence d'un port médiéval d'eau douce en contexte deltaïque n'est pas surprenante. Il s'agit d'une deuxième métamorphose environnementale. Nous avons retrouvé cette évolution dans toutes les carottes étudiées, caractérisées par la présence d'un assemblage d'ostracodes dulçaquicoles, qui traduit un milieu en voie de continentalisation (B4). La transition entre le plan d'eau lagunaire et le bassin d'eau douce s'est réalisée progressivement par enclavement du port dû à la progradation du delta de l'Argens. Les datations confirment la mise en place du bassin d'eau douce après  $1370 \pm 30$  ans BP (600 cal. AD - 690 cal. AD), soit à partir du VII<sup>ème</sup> siècle de notre ère.

La progradation du front deltaïque a entraîné l'avancée du trait de côte et une influence plus importante de la nappe phréatique dans le port. À notre connaissance, cette double métamorphose hydro-géomorphologique d'un bassin portuaire en contexte deltaïque progradant n'a jamais été mise en évidence auparavant. Ce phénomène aurait pu avoir un intérêt. En effet, l'eau douce limite la bio-érosion des navires en bois par des mollusques marins perforants comme les taretts (Tuente et al., 2002).

Historiquement, la rétraction du bassin n'est perçue qu'à partir du milieu du XIII<sup>e</sup> siècle, lorsqu'apparaît le terme de *stagnum* qui décrit l'ancien port (Gébara et Morhange, 2010). Ce plan d'eau douce permettra encore aux habitants de Fréjus de vivre, de commercer et d'exercer des activités liées à la mer pendant plusieurs siècles, comme l'attestent de nombreux documents historiques (Février, 1977 ; Robion, 1987).

## 7. Conclusion

Dans ce contexte géomorphologique, nous distinguons à Fréjus deux contraintes naturelles majeures qui peuvent correspondre à des risques potentiels pour les

infrastructures portuaires ainsi que pour la navigation : (1) sur la longue durée, la progradation du delta de l'Argens est à l'origine du colmatage accéléré du bassin portuaire et à son déclin relatif, (2) à l'échelle événementielle, les tempêtes d'est peuvent être considérées comme un risque potentiel, en relation avec un chenal d'entrée du bassin orienté ouest-est.

De nombreux ports antiques en contexte deltaïque (comme *Portus* à Ostie, Goiran et al., 2010) sont de véritables pièges à sédiments. Leur colmatage et la rétraction du plan d'eau aboutissent à une dégradation des qualités portuaires au niveau de l'accessibilité, de la circulation et du stationnement des navires. Pour les deux sites de Fréjus et de *Portus*, les Romains ont tenté au maximum de garder un port fonctionnel. À *Portus*, un système de chenaux de chasse entre le Tibre, les bassins et la mer a été réalisé. À Fréjus, ce sont principalement les dragages et l'aménagement d'un chenal d'accès qui ont permis de limiter l'ensablement du bassin. La technique de curage était ponctuelle, avec une action limitée dans le temps, qu'il fallait renouveler périodiquement. Ainsi, les ingénieurs romains percevaient déjà le colmatage comme une contrainte naturelle qu'il fallait gérer.

En revanche, les impacts des tempêtes sont subis plus que gérés à Fréjus. En effet, les houles les plus agressives proviennent malheureusement des vents d'est (figure 3), parallèlement à l'axe d'orientation du chenal d'accès au port. Il n'est donc pas surprenant que le bassin portuaire ait enregistré les impacts d'événements de haute énergie (B2). En revanche, à *Portus*, le bassin de Claude était peu protégé des tempêtes (Goiran et al., 2010). L'aménagement d'un second bassin par Trajan, plus à l'intérieur des terres, peut indiquer que les tempêtes étaient considérées comme une contrainte naturelle majeure.

En résumé, deux éléments sont fondamentaux pour comprendre l'évolution géomorphologique du port antique de Fréjus : le site à l'abri de la Butte Saint-Antoine et la situation en marge distale de la ria de l'Argens. Cette étude met en évidence deux résultats originaux ; la réalisation de dragages du bassin entre le I<sup>er</sup> et le VII<sup>e</sup> siècle de notre ère, afin de maintenir un port fonctionnel. Enfin, cette étude aboutit à une amorce de réflexion sur l'importance et la hiérarchisation des contraintes naturelles dans la gestion des ports à l'échelle des temps historiques.

## Remerciements

Les auteurs remercient L. Fontaine, P.-M. Trénac, M. Pasqualini (mairie de Fréjus) pour leur soutien logistique et financier, ainsi que F. Bertrand et J. Villier pour leurs aides au laboratoire. Les datations <sup>14</sup>C ont été financées par la ville de Fréjus, en concertation avec le Service municipal d'archéologie et le Service départemental d'archéologie (Conseil Général du Var). Ces recherches ont été entreprises dans le cadre du Programme Collectif de Recherche Argens sous la direction de F. Bertoncello et du programme ANR Paléomed.

## Références

Anonyme, 1774. Mémoire pour la ville de Fréjus. Archives Nationales, CARAN, F14/751 Var, ports maritimes 1, pp. 1755–1824.

- Béraud, I., Gébara, C., Rivet, L., 2008. Fréjus antique. Guides archéologiques de la France, Éditions du patrimoine, 116 p. Paris.
- Bertoncello, F., Devillers, B., 2006. Une vision renouvelée de la dynamique du paysage dans la basse vallée de l'Argens : synthèse paléo-environnementale préliminaire. *ArchéoSciences* 30, 223–225.
- Bertoncello, F., Alline, C., Bonnet, S., Devillers, B., Excoffon, P., Morhange, C., 2004. Occupation du sol et patrimoine archéologique dans la basse vallée de l'Argens. Programme collectif de recherche, rapport d'activité 2004 et projet pour 2005, 65 p.
- F. Bertoncello, S. Bonnet, P. Excoffon, G. Bony, C. Morhange, C. Gébara, K. Georges. Dynamique du littoral et peuplement: le cas de la colonie romaine de Fréjus, à paraître.
- Boetto, G., 2008. Le port vu de la mer : l'apport de l'archéologie navale à l'étude des ports antiques. *Bollettino di Archeologia*. Volume special B, B7 4, 112–128.
- Bronshstein, Z.S., 1988. Fresh-water Ostracoda. Fauna of the USSR. Crustaceans, II, 1, 470 p.
- Bruce, A., 2002. The importance of Ostracoda and their relationship with the marine near shore environment of the Thanet. *English Nature* 570, 37–43.
- Brückner, H., Vött, A., Schriever, M., Handl, M., 2005. Holocene delta progradation in the eastern Mediterranean - case studies in their historical context. *Méditerranée* 104, 95–106.
- Cabral, M.C., Freitas, M.C., Andrade, C., Cruces, A., 2006. Coastal evolution and Holocene ostracods in Melides lagoon (SW Portugal). *Marine Micropaleontology* 60, 181–204.
- Campredon, R., Boucarut, M., 1975. Guides géologiques régionaux, Alpes Maritimes, Maures. Masson Éd., Esterel, 174 p.
- Carbonel, P., 1980. Les ostracodes et leur intérêt dans la définition des écosystèmes estuariens et de la plateforme continentale, essais d'application à des domaines anciens. Thèse d'Etat, Université de Bordeaux, 350 p.
- Carsana, V., Giampaola, D., Guastaferra, C., Irollo, G., Ruello, M.R., 2009. Evoluzione del paesaggio costiero tra Parthenope e Neapolis. *Méditerranée* 112, 15–23.
- Cohen, O., 1991. Impact des aménagements sur la morphologie et l'écologie côtière de la baie de Fréjus, Université de Nice Sophia Antipolis, département de géographie. Mémoire de maîtrise, 142 p.
- Cohen, O., 1997. La baie de Fréjus : 2000 ans d'évolution du rivage. Mappemonde 1/1997, 6–12.
- D'Angelo, G., Gargiulo, S., 1978. Guida alle Conchiglie Mediterranee. Milano Fabri Editori, 223 p.
- Devillers, B., 2008. Holocene morphogenesis and anthropisation of a semi-arid watershed, Gialias river, Cyprus. *BAR International, Series 1775*. Archaeopress, Oxford, 197 p.
- Devillers, B., Excoffon, P., Morhange, C., Bonnet, S., Bertoncello, F., 2007. Relative sea-level changes and coastal evolution at Forum Julii (Fréjus, Provence). *C. R. Geoscience* 339, 329–336.
- Donnadieu, A., 1927. La Pompéi de la Provence, Fréjus, Forum Julii. H. Champion, Paris, 251 p.
- Dubar, M., 2003. Les deltas holocènes de la Provence orientale et de la Riviera française : héritage morphologique, genèse et vulnérabilité. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 4, 263–270.
- Dubar, M., 2004. L'édification deltaïque du bas Argens (Var, France) durant la Protohistoire et l'Antiquité. Application d'un modèle numérique 2D à l'archéologie. *Méditerranée* 102, 47–53.
- Dubar, M., Anthony, E., 1995. Holocene Environmental Change and River-Mouth Sedimentation in the Baie des Anges, French Riviera. *Quaternary Res.* 43, 329–343.
- Duchemin, G., Jorissen, F.J., 2005. Living benthic foraminifera from « la grande vase » French Atlantic continental shelf, faunal composition and microhabitats. *J. Foraminiferal Res.* 33, 198–218.
- Excoffon, P., Devillers, B., Bonnet, S., Bouby, L., 2006. Nouvelles données sur la position du littoral antique de Fréjus. Le diagnostic archéologique de « théâtre d'agglomération » (Fréjus, Var). *ArchéoSciences* 30, 205–221.
- Février, P.A., 1959. La Basse Vallée de l'Argens. Quelques aspects de la vie économique de la Provence orientale aux XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles. *Provence Historique*, IX 35, 38–61.
- Février, P.A., 1977. Fréjus (*Forum Julii*) et la basse vallée de l'Argens. Institut International d'Études, Ligures, 205 p.
- Formigé, J., 1937. Le comblement du port romain de Fréjus. *Mémoire de la Société Nationale des Antiquaires de France* 10, 67–104.
- Frenzel, F., Boomer, I., 2005. The use of ostracods from marginal marine, brackish waters as bioindicators of modern and Quaternary environmental change. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 225, 68–92.
- Gébara, C., Morhange, C., 2010. Fréjus (*Forum Julii*) : Le port antique/The ancient harbour. *J. Roman Archaeol., Suppl. series* 77, 152 p.
- Goiran, J.P., Tronchère, H., Salomon, F., Carbonel, P., Djerbi, H., Ognard, C., 2010. Palaeoenvironmental reconstruction of the ancient harbors of Rome: Claudius and Trajan's marine harbors on the Tiber delta. *Quaternary International* 216, 3–13.
- Goodman, B., Reinhardt, E., Dey, H., Boyce, J., Schwarcz, H., Sahoglu, V., Erkanal, H., Artzy, M., 2008. Evidence for Holocene Marine Transgression and Shoreline Progradation due to Barrier Development in Iskele, Bay of Izmir, Turkey. *Journal of Coastal Research* 24, 1269–1280.
- Goudineau, C., 2009. Le camp de la flotte d'Agrippa à Fréjus. *Errance* (Ed.), 590 p.
- Guelorget, O., Perthuisot, J.P., 1983. Le domaine paraliq. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Travaux du Laboratoire de Géologie*, 16. Presse de l'École Normale Supérieure, Paris, 137 p.
- Guernet, C., Lemeille, F., Sorel, D., Bourdillon, C., Berge, T., Manakou, M., 2003. Les ostracodes et le Quaternaire d'Aigion (Golfe de Corinthe, Grèce). *Rev. Micropaléontologie* 46, 73–93.
- Hesnard, A., 2004. Terre submergée, mer enterrée : une géoarchéologie du port antique de Marseille. In: L. De Maria, R. Turchetti. *Rubbetino* (Eds.). *Evolution paleoambiental de los puertos y fondeaderos antiguos en el Mediterraneo occidental*, Rubbetino Editore, Soveria Mannelli, pp. 3–29.
- Hippensted, S.P., Martin, R.E., 1999. Foraminifera as an indicator of overwash deposits, barrier Island sediment supply and barrier Island evolution, South California. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Palaeoecol.* 149, 115–125.
- Hughen, K.A., Baillie, M.G.L., Bard, E., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Kromer, B., McCormack, G., Manning, S., Bronk Ramsey, C., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E., 2004. Marine04 marine radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46 (3), 1059–1086.
- Jorda, M., Provansal, M., 1996. Impact de l'anthropisation et du climat sur le détritisme en France du sud-est (Alpes du sud et Provence). *Bull. Soc. Geol. France* 167 (1), 159–168.
- Laborel, J., Morhange, C., Lafont, R., Le Campion, J., Laborel-Deguen, F., Sartoretto, S., 1994. Biological evidence of sea level rise during the last 4500 years, on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica. *Marine Geol.* 120, 203–223.
- Marriner, N., Morhange, C., 2006a. The "Ancient Harbour Parasequence": Anthropogenic forcing of the stratigraphic highstand record. *Sedimentary Geol.* 186, 13–17.
- Marriner, N., Morhange, C., 2006b. Geoarchaeology evidence for dredging in Tyre's ancient harbor, Levant. *Quaternary Research* 65, 164–171.
- Marriner, N., Morhange, C., 2007. Geoscience of ancient Mediterranean harbours. *Earth-Science-Reviews* 80, 137–194.
- Marriner, N., Morhange, C., Saghih-Beydoun, M., 2008. Geoarchaeology of Beirut's ancient harbour, Phoenicia. *Journal of Archaeological Science* 35, 2495–2516.
- Morhange, C., 2001. Mobilité littorale de quelques sites portuaires antiques de Méditerranée, Marseille, Pouzzoles, Cumes, Kition et Sidon. Diplôme d'habilitation à diriger des recherches, Institut universitaire de France. UFR de Géographie, Université de Provence, 180 p.
- Morhange, C., Marriner, N., 2008. Mind the (stratigraphic) gap: Roman dredging in ancient Mediterranean harbours. *Bollettino di Archeologia*, B 77 (4), 23–32.
- Morhange, C., Laborel, J., Hesnard, A., 2001. Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbor of Marseilles, Southern France. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Palaeoecol.* 166, 319–329.
- Morhange, C., Blanc, F., Schmitt-Mercury, S., Bourcier, M., Carbonel, P., Oberlin, C., Prone, A., Vivent, D., Hesnard, A., 2003. Stratigraphy of Late-Holocene deposits of the ancient harbour of Marseilles, southern France. *The Holocene* 13, 323–334.
- Murray, J., 2006. Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge University Press, Cambridge, 426 p.
- Péres, J.M., Picard, J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Recueil des travaux de la station marine d'Endoume* 31, 137 p.
- Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle* 3-35, In: Les Belles Lettres Paris, Trad. H. Zehnacker, (2004) 112 p.
- Pomey, P., 1995. Les épaves grecques et romaines de la place Jules Verne à Marseille. *Comptes-Rendus de l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres* II, 459–482.
- Poppe, G., Goto, Y., 2000. European Seashells, 2. *Conchbooks*, 221 p.
- Provansal, M., 1995. The role of climate in landscape morphogenesis since the Bronze age in Provence, southeastern France. *The Holocene* 5 (3), 348–353.
- Provansal, M., Bertoncello, F., Gili, G., 2006. Dynamique morpho-sédimentaire et peuplement sur le Rocher de Roquebrune-sur-Argens (Var). *ArchéoSciences* 30, 173–180.

- Reddé, M., 1986. Mare nostrum : les infrastructures, le dispositif et l'histoire de la marine militaire sous l'empire romain, 260. Ecole Française de Rome, BEFAR, 736 p.
- Redois, F., Debenay, J.P., 1996. Influence du continent sur la répartition des foraminifères benthiques, exemple de l'estran d'une ria mésotidale de Bretagne méridionale. *Revue de paléobiologie* 15, 243–260.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., Van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E., 2004. IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 26–0 ka BP. *Radiocarbon* 46, 1029–1058.
- Rivet, L., Brentchaloff, D., Roucole, S., Saulnier, S., 2000. Atlas topographique des villes de Gaule Méridionale, 2. *Revue Archéologique de Narbonne*, Fréjus, 509 p.
- Robion, L., 1987. Fréjus, v–xx<sup>e</sup> siècle, déclin et renaissances. CRDP, Nice, p. 40–7.
- Ruiz, F., Gonzalez Regalado, M.C., Baceta, J.I., Menegazzo-Vitturi, L., Pistocato, M., Molinaroli, E., Riampazzo, G., 2000. Los ostrácodos actuales de la laguna de Venezia (NE de Italia). *Geobios* 33 (4), 447–454.
- Soulié-Marsche, I., 2008. Charophytes, indicators for low salinity phases in North African sebkhet. *J. Afric. Earth Sciences* 51, 69–76.
- Strabon, Géographie, trad. F. Lasserre, Les Belles Lettres, Paris, 1966.
- Texier, C., 1849. Mémoires sur la ville et le port de Fréjus. Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 2. *Antiquités de France*, 169–277.
- Tacite, Annales 4.5, trad. P. Wuilleumier, Les Belles Lettres, Paris 1975.
- Tuente, U., Piepenburg, D., Spindler, M., 2002. Occurrence and settlement of the common shipworm *Teredo navalis* (*Bivalvia: Teredinidae*) in Bremerhaven harbours, northern Germany, Helgoland. *Marine Res.* 56, 87–94.