



HAL
open science

Le castellum de Can Blai (Formentera, Îles Baléares)

Ricardo Gonzalez Villaescusa, Jordi H. Fernández, Gilles Fronteau, Patricia Vazquez

► **To cite this version:**

Ricardo Gonzalez Villaescusa, Jordi H. Fernández, Gilles Fronteau, Patricia Vazquez. Le castellum de Can Blai (Formentera, Îles Baléares): La pierre de taille et les carrières de marès. Anna Gutiérrez Garcia-Moreno; Pierre Rouillard. Lapidum natura restat: canteras antiguas de la península ibérica en su contexto (cronología, técnicas y organización de la explotación) = carrières antiques de la péninsule Ibérique dans leur contexte (chronologie, techniques et organisation de l'exploitation), Casa de Velázquez; Institut Català d'Arqueologia Clàssica, pp.173-184, 2018, 78-84-9096-170-4. hal-02297857

HAL Id: hal-02297857

<https://hal.science/hal-02297857>

Submitted on 26 Sep 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Lapidum natura restat

Canteras antiguas de la península ibérica en su contexto
(cronología, técnicas y organización de la explotación)

Carrières antiques de la péninsule Ibérique dans leur contexte
(chronologie, techniques et organisation de l'exploitation)

Anna Gutiérrez Garcia-M. y Pierre Rouillard (editores)

D O C U M E N T A 31

COLLECTION DE LA CASA DE VELÁZQUEZ 170

INSTITUT CATALÀ D'ARQUEOLOGIA CLÀSSICA
CASA DE VELÁZQUEZ

Tarragona-Madrid, 2018

Canteras antiguas de la Península Ibérica (Congrés) (2016 : Madrid, Madrid), autor

Lapidum natura restat : canteras antiguas de la península ibérica en su contexto (cronología, técnicas y organización de la explotación) = carrières antiques de la péninsule Ibérique dans leur contexte (chronologie, techniques et organisation de l'exploitation). – Primera edició. – (Documenta ; 31) (Collection de la Casa de Velázquez ; 170)

Edició de les actes el col·loqui internacional «Canteras antiguas de la península ibérica / Carrières antiques de la péninsule Ibérique», celebrat a Casa de Velázquez (Madrid) els dies 8 i 9 de febrer del 2016. – Bibliografia. – Textos en castellà i francès

I. Gutiérrez García-Moreno, Anna, editor literari II. Rouillard, Pierre, editor literari III. Institut Català d'Arqueologia Clàssica IV. Casa de Velázquez V. Títol VI. Títol: Canteras antiguas de la península ibérica en su contexto VII. Títol: Carrières antiques de la Péninsule Ibérique dans leur contexte VIII. Col·lecció: Documenta (Institut Català d'Arqueologia Clàssica) ; 31 IX. Col·lecció: Collection de la Casa de Velázquez ; 170

1. Pedreres – Ibèrica, Península – Congressos 2. Ibèrica, Península – Arqueologia romana
904(46):553.5(37)(063)

Edició de les actes el col·loqui internacional “Canteras antiguas de la península ibérica / Carrières antiques de la péninsule Ibérique”, celebrat a Casa de Velázquez (Madrid) els dies 8 i 9 de febrer del 2016 i organitzat per aquesta mateixa institució amb el suport de l'Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC), la Universitat d'Alacant, la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) i el LabEx Sciences Archéologiques de Bordeaux (LaScArBx - programa finançat per l'ANR n°ANR-10-LABX-52).

Aquesta publicació s'emmarca dins dels projectes “*Lapides et marmora Hispaniae: exploitation, usages et distribution des ressources lithiques de l'Espagne romaine*” i “*Graver dans le marbre: Routes et Origines des Marbres Antiques d'Aquitaine et d'Espagne (ROMAE)*” del LaScArBx.

La Casa de Velázquez ha gestionat l'avaluació d'experts d'aquesta obra mitjançant un sistema de doble cec.

© d'aquesta edició

Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC)
Plaça d'en Rovellat, s/n, 43003 Tarragona
Telèfon 977 24 91 33 – Fax 977 22 44 01
info@icac.cat – www.icac.cat

Casa de Velázquez
C/ Paul Guinard, 3, 28040 Madrid
Telèfon 914 551 580 – Fax 915 497 250
www.casavelazquez.org

Durant els nou primers mesos de publicació, qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només es pot fer tenint l'autorització dels seus titulars, amb les excepcions previstes per la llei. Adreceu-vos a CEDRO (Centre Espanyol de Drets Reprogràfics, www.cedro.org) si heu de fotocopiar o escanejar fragments d'aquesta obra.

A partir del desè mes de publicació, aquest llibre està subjecte –llevat que s'indiqui el contrari en el text, en les fotografies o en altres il·lustracions– a una llicència Reconeixement-No comercial-Sense obra derivada 3.0 de Creative Commons (el text complet de la qual es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>). Així doncs, s'autoritza el públic en general a reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i les entitats que la publiquen i no se'n faci un ús comercial, ni lucratiu, ni cap obra derivada.

© del text, els autors; del material gràfic, els autors.

Primera edició: novembre del 2018

Coordinació editorial: Publicacions de l'ICAC

Correcció: Samuel Robineau (francès) i Ramon Vidal Muntaner (castellà)

Imatge de la coberta: Pedrera del Mèdol (Tarragona). Foto: Anna Gutiérrez García-M.

Disseny de la col·lecció i de la coberta: Mireia Prats

Maquetació i impressió: Indústries Gràfiques Gabriel Gibert

Dipòsit Legal: T. 1081-2018

ISBN: 978-84-946298-6-0 (ICAC) i 978-84-9096-170-4 (Casa de Velázquez)

LE CASTELLUM DE CAN BLAI (FORMENTERA, ÎLES BALÉARES)

LA PIERRE DE TAILLE ET LES CARRIÈRES DE MARÈS

Ricardo González Villaescusa
Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM

Jordi H. Fernández
Ancien directeur du Musée Archéologique d'Ibiza et Formentera

Gilles Fronteau et Patricia Vázquez
Université de Reims Champagne-Ardennes, GEGENA, EA 3795

Résumé

Les fouilles menées à terme dans le fortin tardo-antique de surveillance côtière de Can Blai (Formentera, Îles Baléares) ont permis de caractériser la pierre de taille qui a servi pour la construction de cette forteresse. Les prospections et la reconnaissance des carrières de *marès* de l'île de Formentera suggèrent que les carrières qui ont servi pour sa construction se trouvaient proches du *castellum* ; toutefois, les gisements plus proches d'un point de vue pétrographique ne sont pas suffisants pour construire le bâtiment dans sa hauteur totale.

Mots clés : Formentera, Antiquité tardive, fortin, carrières, *marès*.

Resumen

Las excavaciones realizadas en el fortín tardoantiguo de vigilancia costera de Can Blai (Formentera, Baleares) han permitido caracterizar la piedra de talla utilizada en la construcción de esta fortaleza. Las prospecciones y la caracterización de las canteras de *marès* de la isla de Formentera sugieren que las canteras que suministraron de piedra la construcción se encontraban en las inmediaciones del *castellum*, aunque los yacimientos más próximos desde un punto de vista petrográfico no son suficientes para elevar el edificio a su altura máxima.

Palabras clave: Formentera, antigüedad tardía, fortín, canteras, *marès*.

Le site de Can Blai

Le site de Can Blai (connu aussi comme Can Pins) est situé sur le « roc peu accessible de Formentera » d'après F. Braudel¹.

Ce fortin de surveillance de la côte se trouve approximativement au centre de l'île, sur l'isthme qui relie les deux reliefs, le cap de Barbaria et la Mola, à 500 m de la côte nord et à 800 m de la côte sud de l'isthme. Il occupe le point plus élevé de cette partie de l'île, 24 m au-dessus du niveau de la mer. Depuis cet endroit, il est possible de contrôler la côte nord de Formentera et la côte orientale d'Ibiza, ainsi que les côtes méridionales de Formentera, zones invisibles depuis l'île majeure.

La fouille partielle du site a été faite en deux campagnes menées en 1979 et 1980 sous la direction de J. H. Fernández. L'état général du site, dont seulement quelques vestiges construits étaient visibles, ne permettait pas de se faire une idée de sa taille ni de sa structure, même si quelques vestiges de surface suggéraient qu'il s'agissait d'un bâtiment carré. Au terme de ces deux campagnes, les travaux de terrain ont bien montré qu'il s'agit d'un *burgi*, une petite fortification dénommée par la recherche archéologique « *quadri-burgium* », un type architectural de fortin, fréquente entre la fin du II^e siècle et le VI^e siècle après J.-C.² Il s'agit d'une enceinte quadrangulaire de petites dimensions (34 x 34 m, soit un peu plus de 1 000 m² de surface intérieure) avec les angles orientés aux points cardinaux. Cette structure est munie de quatre tours d'angle ainsi que d'une cinquième tour (nord-ouest). Une petite poterne ouverte dans le mur nord-ouest est protégée par la tour nord et la tour nord-ouest.

Entre 2013 et 2016, l'Université Nice Sophia Antipolis et l'UMR 7264 du CNRS ont repris les travaux de terrain. Les nombreuses questions sans réponse autour de la chronologie, la structure et la fonction de cette fortification, et le soutien financier d'un groupe de partenaires permettant de relancer un véritable programme de recherche³, ont permis de reprendre les travaux de recherche pour achever la fouille de la totalité des couches sédimentaires qui restaient sur place depuis 1980 et d'intégrer le site dans son contexte régional et dans la Méditerranée occidentale.

Toute la construction est implantée directement sur la couche calcaire du substrat naturel, assez hori-

zontale, mais dans certains secteurs, en raison des irrégularités, il a fallu à ses constructeurs aplanir le terrain pour installer les fondations, tandis que dans d'autres zones, les fondations étaient plus profondes. Ces dernières ont une largeur variable comprise entre 97 et 100 cm environ ; elles sont formées de deux rangées de pierres taillées liées au mortier ; par endroits, une seule rangée de pierres a été nécessaire tandis que dans d'autres, il en a fallu trois pour permettre d'obtenir un niveau horizontal. Celui-ci s'avère être d'ailleurs tout-à-fait imparfait, puisque dans certains endroits, en particulier dans le cas du mur nord-ouest, la structure s'adapte à la pente de la roche naturelle. Sur ces fondations reposent les pierres taillées qui composent l'élévation des murs de la fortification.

Dans la partie centrale du mur sud-est, sur une distance de neuf mètres, il n'existe aucune trace de fondations ni de rangées de moellons. C'est précisément cette circonstance qui permet à Gordillo et à Ramón⁴ de formuler l'hypothèse que cette partie n'a jamais été terminée et que le *castellum* n'a donc jamais été opérationnel. Même si cette idée est plausible et qu'elle est renforcée par la très faible quantité de restes trouvés au cours des fouilles, d'autres facteurs doivent être pris en compte. La chronologie et la durée d'occupation sont donc des points d'interrogation qui commencent à peine à être élucidés à partir des derniers travaux, mais ce n'est pas le but de cette contribution qui est plutôt centrée sur la caractérisation de la pierre de taille utilisée dans la construction et sur les gisements de ce type de pierre qui se trouvent sur l'île afin de mettre en rapport la pierre de taille et les éventuelles carrières.

La technique de construction est très originale. Les près de 200 mètres du périmètre de la forteresse, y compris les murs des tours, sont construits avec un coffrage de pierres de taille qui laisse la place à un espace central rempli par un *opus caementicium* constitué de pierres calcaires et de mortier à la chaux. Les différents « coffres » communiquent entre eux de sorte que le mortier se répand à l'intérieur de toute la structure en conférant une forte cohérence à la construction. Au-dessus des dalles de fondation, le parement intérieur et extérieur est constitué de pierres de *marès* taillées en parallélépipède, toutes disposées de chant, en alternant boutisse et panneresse. Le mur de parement étant installé de part et d'autre, il peut alors être rempli par le blocage intérieur en *caementicium*, comme cela

1. BRAUDEL, 1966, p. 137.

2. REDDÉ, 1995, p. 100-101.

3. Le programme de recherche *Can Blai. Un fortin tardo-romain de surveillance côtière en Méditerranée occidentale*, est inscrit dans le CEPAM en collaboration avec le Musée archéologique d'Ibiza et de Formentera et comme programme associé à la Casa de Velazquez. Le financement de cette opération est assuré par une contribution privée de T. Kern et de la Fondation UNICE de l'Université Nice Sophia Antipolis, le soutien du *Consell Insular de Formentera* ainsi que la collaboration du Musée d'Art classique de Mougins (2015 et 2016) et de la Fondation Abel Matutes (2016).

4. GORDILLO COURCIÈRES, 1981, p. 122 ; RAMÓN, 1985, p. 138 ; 1986, p. 20.

a été dit. Vu de l'extérieur, le mur d'enceinte devait donner une image d'une solide forteresse construite en grand appareil avec des blocs de pierre de taille.

Pour l'élévation des murs du fortin avec cette technique de construction, il a fallu l'utilisation de deux modules de blocs en pierre de taille : d'une part, les grands blocs (0,82 x 0,45 x 0,13 m environ) et les petits blocs (0,31 x 0,45 x 0,13 m environ). Avec une estimation prudente d'une hauteur totale de six mètres, cette technique constructive limite à un besoin de 381 m³ en pierre de taille. Celle-ci correspond à du *marès*, un calcaire local dont on connaît plusieurs gisements dans l'île de Formentera, exploités jusqu'à la fin des années 50 au xx^e siècle.

La pierre taillée utilisée à Can Blai : le marès

Les *marès* sont des pierres de construction très utilisées aux Îles Baléares et pour lesquelles de nombreuses carrières sont référencées sur les différentes îles de l'archipel, pour des raisons patrimoniales ou touristiques : piscines naturelles, beauté des paysages, etc. L'emploi du *marès* est attesté à Ibiza en époque historique récente pour la construction des remparts du xvi^e siècle de la ville d'Ibiza, ainsi que pour la construction domestique, jusqu'au xx^e siècle⁵. Les entrepôts du Musée Archéologique d'Ibiza et Formentera gardent plusieurs témoins de l'utilisation historique de ce type de pierre, depuis la colonisation phénicienne et punique pour la taille de certains sarcophages, bétyles et brule-parfums de cette chronologie. Plus tardives sont les inscriptions funéraires d'époque islamique (x^e-xi^e siècles) originaires de différents endroits de Formentera⁶.

Les *marès* sont des roches calcaires tendres, généralement de couleur pâle, rosé, gris-beige à blanc, d'aspect assez sableux, géologiquement d'âges très jeunes puisque datant entre le Miocène et le Quaternaire récent. Correspondant à des dépôts dunaires assez peu cimentés, ils ont fréquemment un aspect sableux, mais n'en sont pas moins essentiellement calcaires et ne contiennent qu'une très faible proportion de quartz. Quand ils sont composés de débris d'organismes calcaires, dont de nombreux fragments d'algues rouges, allant jusqu'à un ou deux millimètres, ils seront désignés sous le terme de biocalcarénites, mais ils peuvent être associés à des calcaires blancs plus oolitiques ou à des faciès éoliens (éolianite). Exploités comme pierre de taille jusqu'à nos jours, plusieurs qualités et types de *marès* sont différenciés selon s'ils sont fins ou grossiers, riches en coquilles ou homogènes, compacts ou très

tendres et de mauvaise qualité : *acopinyat, brescat, brevol, brossenc, granat...*

L'étude géologique

L'objectif de l'étude géologique était de préciser la nature lithologique du *marès* utilisé comme pierre de taille à Can Blai, puis de le comparer à ceux des carrières de l'île de Formentera, connues ou redécouvertes lors de la prospection de terrain, afin d'essayer d'identifier le site de provenance des matériaux du site archéologique. Pour cela, nous avons procédé à plusieurs séries de petits échantillonnages, à la fois sur une même zone de carrière et au sein d'une même carrière.

Nous avons ensuite réalisé différentes études et analyses sur les échantillons, une fois nettoyés et remis en conditions homogènes d'humidité et de température. Des mesures de couleur ont été réalisées à l'aide d'un colorimètre Minolta CR-400 afin d'obtenir des comparaisons fiables entre ces teintes parfois relativement proches et peu aisées à décrire. Les résultats des mesures de couleurs ont été exprimées en fonction de l'espace chromatique CIE LAB⁷. Celui-ci est défini par L* la clarté (de 0, parfaitement noir, à 100, parfaitement blanc) ainsi que par les paramètres colorimétriques a* (axe a- vert et a+ rouge) et b* (axe b- bleu et b+ jaune), par des valeurs complémentaires C*_{ab} et h_{ab} (C*_{ab} : chromaticité ou chroma -intensité de la couleur, h_{ab} : angle de teinte) et par l'écart de couleur (ΔE*) calculé à partir des paramètres précédents. Des mesures géochimiques ont été réalisées à l'aide d'un appareil portable de fluorescence X, mais les échantillons se sont révélés trop proches et avec trop de contaminations salines pour être réellement exploitables. À l'inverse, les analyses pétrographiques réalisées soit à l'aide d'une loupe binoculaire sur des cassures fraîches, soit avec un microscope optique polarisant sur des lames-minces, ont été plus concluantes. Pour compléter les descriptions pétrographiques, des comptages et des mesures de longueur de sections de grains ont été réalisées manuellement à l'aide d'un logiciel d'analyse d'images (*Saisam de Microvision Instruments*).

Description des lieux d'extraction et sites de prélèvements

Sur Formentera, les principales carrières connues de *marès* se trouvent à l'ouest de l'île, entre Punta

5. FERRER MAYANS, MARÍ TORRES, TOSTÓN CALLE, 2004, p. 113-114.

6. ROSSELLÓ BORDOY, 1985, n^{os} 2-5, p. 54-58.

7. AFNOR, 2011.

Pedrera et Punta Gavina, ainsi que dans le secteur d'Es Pujols (fig. 1). Mais les cartes géologiques de Formentera⁸ montrent qu'il existe de nombreux autres gisements répartis sur toutes les parties basses de l'île, directement en bord de mer ou un peu dans les terres. Parmi ces gisements, nous nous sommes particulièrement intéressés à ceux qui étaient les plus proches du site archéologique. La détection des petites carrières n'a été possible qu'en suivant au plus près la ligne de rivage, car pour les secteurs de *marès*, la morphologie de la côte est très découpée et masque très facilement les sites d'extraction, parfois localisés dans des replis de relief. C'est ainsi que deux petites carrières ont été redécouvertes au nord du site archéologique dans le secteur d'Es Carnatge, alors que les précédentes prospections n'avaient permis d'y repérer qu'une seule carrière, située un peu plus en retrait dans les terres.

Carrières de Punta Pedrera (PPD1 à PPD4, fig. 1)

Les principales carrières de Formentera se trouvent sur le trait de côte entre Punta Pedrera et Punta Gavina (secteur de Can Marroig). Les petits sites d'exploitations y sont très nombreux et complètent une série de grandes carrières situées directement en bord de mer, qui comprennent à la fois des extractions en souterrain et à ciel ouvert. Cette zone d'exploitation est probablement polyphasée et mériterait une étude approfondie ainsi qu'une valorisation appropriée car elle est désormais située dans le secteur classé « Ibiza, biodiversité et culture », sous le n° 417 de la liste du patrimoine mondial de l'Unesco⁹.

Carrières d'Es Pujols (ES1 et ES2 Racó des Cingles, fig. 1)

La plus importante carrière fut exploitée à l'aide de méthodes de l'ère industrielle, mais ce secteur carrier contient aussi des sites plus anciens. Désormais abandonnés et cernés par l'urbanisation importante de ce secteur de Formentera, les carrières sont parfois peu accessibles (Sa Pedrera d'es Pujol - la Cantera de la Colina).

Ses Clotadas - carrières au sud de Can Blai (sc, fig. 1)

Sur la carte géologique, le secteur de Ses Clotadas est le gisement de *marès* le plus proche du site archéologique. Exploité comme sablière¹⁰, le *marès* se présente sous la forme de roches meubles (sables calcaires) et de calcarénites très peu cimentées, non utilisables comme pierre de taille.

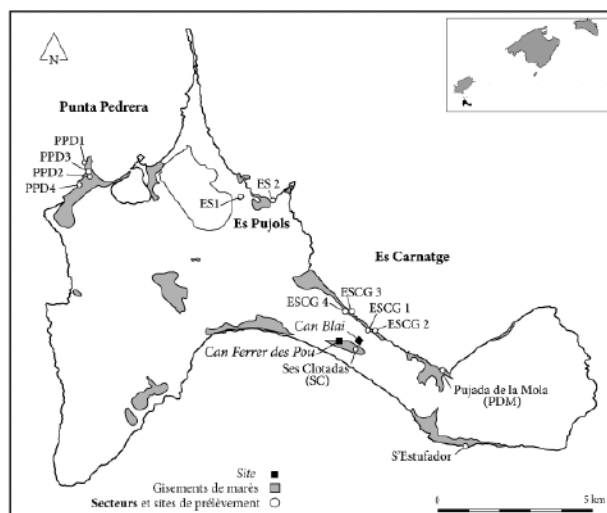


Figure 1. Carte et localisation des prélèvements (gisements de marès d'après Rangheard 1969).

Carrières dispersées d'Es Carnatge (ESCG1 et ESCG4, fig. 1)

Ce secteur comprend deux carrières de calcaire blanc situées à quelques centaines de mètres à l'intérieur des terres (ESCG1 et ESCG4) et une large bande de *marès* située immédiatement sur le rivage. C'est dans celle-ci qu'ont été localisées des petites carrières situées au plus près de la limite actuelle de la mer (ESCG2 et ESCG3).

Les différentes fouilles et prospections de 2014 à 2016 ont conduit à l'échantillonnage d'une trentaine de prélèvements géologiques dans les carrières de Ses Clotadas, Es Carnatge, Punta Pedrera, Es Pujols, complétés d'échantillons de plusieurs autres *marès* de l'île (Pujada de la Mola - Racó de ses Pedreres ou de S'Estufador, fig. 1). Ils ont été comparés à une dizaine de prélèvements réalisés sur Can Blai ou sur le site archéologique de Can Ferrer des Pou. Ce site islamique, à 600 m vers l'ouest depuis Can Blai, pourrait être à l'origine de la récupération de la pierre de taille datant de cette époque (XII^e - XIII^e siècles), comme documenté par les fouilles réalisées dans le fortin. Parmi ces prélèvements, une vingtaine ont fait l'objet d'un litho-lame pour l'observation en microscopie optique.

Analyses pétrographiques

Les faciès de tous les échantillons correspondent à des calcarénites : de calcaires composés d'éléments entre 63 µm et 2 mm qui montrent trois variétés :

8. RANGHEARD, 1969.

9. MORALES, 1999. Autorisation de prélèvement d'échantillons par arrêté du *Govern de les Illes Balears* du 28 juillet 2015.

10. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1975, p. 23-33.

des calcaires oolitiques, des calcaires bioclastiques (biocalcarénites), et des calcaires intermédiaires oo-bioclastiques. Selon la classification de Dunham¹¹, tous les échantillons sont de type *grainstone* : un calcaire dont les grains sont jointifs, avec un liant correspondant à un ciment s'étant développé après le dépôt sédimentaire. Tandis que selon la classification de Folk¹², il s'agit soit de biopelsparite et d'oosparite ou, pour les faciès intermédiaires, d'oobiopelsparite et de bioopelsparite. Les préfixes *bio-* (bioclastes), *oo-* (ooïdes), *pel-* (pellets, ici majoritairement des pellets fécaux de crustacés) sont classés dans l'ordre décroissant de leur abondance. Quant au suffixe *sparite*, il correspond à la phase de liaison – qui ici est d'ailleurs parfois plutôt de type microsparite. Les faciès présentent tous une macro-porosité intergranulaire résiduelle très importante, car la cimentation (de microsparitique à sparitique) n'est que très peu développée.

Les grains présentent des tris et des aspects parfois très différents d'un prélèvement à l'autre. Dans certains faciès, les éléments arrondis montrent un bon tri granulométrique alors que dans d'autres, des éléments millimétriques (jusqu'à 1,5 mm) côtoient des éléments à peine supérieurs à 100 µm. Considérant que cet aspect de tri granulométrique pouvait servir à différencier les gisements, nous avons procédé à des mesures systématiques de 100 longueurs de grains par lame-mince.

Dans presque tous les échantillons de *marès* étudiés, la phase silicoclastique est totalement absente : ces calcaires ne contiennent aucun grain de quartz. Seuls les prélèvements très peu cimentés de Ses Clotadas semblent contenir des grains de quartz. Mais ils peuvent provenir de contaminations secondaires du faciès sableux, où indiquer que le *marès* correspond plutôt à un faciès d'éolianite en partie remaniée qu'à des faciès marins comme ceux observés dans les autres gisements. Et, parmi les échantillons cohérents, un prélèvement du Racó de ses Pedreres a montré la présence de deux sous-faciès dans la même lame-mince avec, d'un côté, un *marès* bioclastique sans oolites à nombreux foraminifères brisés et, de l'autre, un faciès un peu plus compact avec quelques quartz.

Le faciès de référence de Can Blai correspond majoritairement à un *marès* bioclastique à grands fragments d'algues rouges (fig. 2, A), peu à pas oolitique : la proportion d'oolites est de l'ordre de 1 pour 20 grains environ (5 %). Ce qui permet d'exclure les carrières de calcaires blancs d'Es Pujols ou d'Es Carnatge 1 (la carrière située dans les terres), où plus de 75 % des grains sont des ooïdes (fig. 2, B).

Dans les faciès bioclastiques, certains comprennent une proportion non négligeable d'oolites, parfois un tiers des grains, tandis que d'autres sont uniquement composés de débris de macro-organismes : coquilles, algues rouges, échinodermes et microfossiles : de nombreux genres et formes de foraminifères avec à la fois des formes benthiques (*Rotaliina*) et des planctoniques globigérinoïdes. Le tout est accompagné de pellets de crustacés, parfois entiers, parfois en fragments ou oolitisés.

En comparant les faciès de Punta Pedrera et de Can Blai, nous avons observé des différences dans les abondances respectives de foraminifères et de fragments d'algues rouges, ainsi que dans les degrés de préservation ou de fragmentation des bioclastes. Les débris sont assez peu cassés ou roulés dans le faciès de référence archéologique tandis qu'à Punta Pedrera, le *marès* est surtout composé d'éléments cassés. Le *marès* de Punta Pedrera est riche en foraminifères alors que celui utilisé sur le site de Can Blai contient nettement plus de fragments d'algues rouges que de foraminifères. Nous avons donc procédé à des comptages de ces deux types de grains sur plusieurs séries de vues au microscope afin de corroborer ces premières observations par des semi-quantifications.

Ainsi, d'après la caractérisation qualitative réalisée au microscope optique, il semble possible de différencier les carrières entre elles et de rapprocher ou d'éliminer certains sites des faciès observés dans les échantillons prélevés sur le site archéologique.

Bilan des observations sous loupe binoculaire et lames-minces dans les différents secteurs :

Ses Clotadas. *Marès* sableux essentiellement non cimenté (éolianite quaternaire ?). Éléments grossiers à très grossiers. Présence de grains de quartz assez nombreux (non observés dans les échantillons de *marès* de Can Blai), alors qu'à l'inverse, les fragments d'algues rouges sont assez rares.

Es Carnatge. Carrières en retrait dans les terres, ESCG1 et ESCG4 : le calcaire est uniquement oolitique (fig. 2, B). Il ne correspond donc pas au faciès de *marès* bioclastique recherché.

Es Carnatge. Carrières de bord de mer ESCG2 et ESCG3 : les deux faciès des deux carrières semblent proches, avec une hétérogénéité à l'intérieur d'une carrière supérieure aux différences entre les deux sites. Les échantillons contiennent tous plus d'ooïdes (oolites et éléments à cortex peu développé) que le faciès archéologique de référence ; entre 25 et 50 % des éléments. Les grains sont parfois très roulés et bien triés. Les fragments d'algues rouges sont très nombreux et

11. DUNHAM, 1962, p. 108-121.

12. FOLK, 1959, p. 1-38.

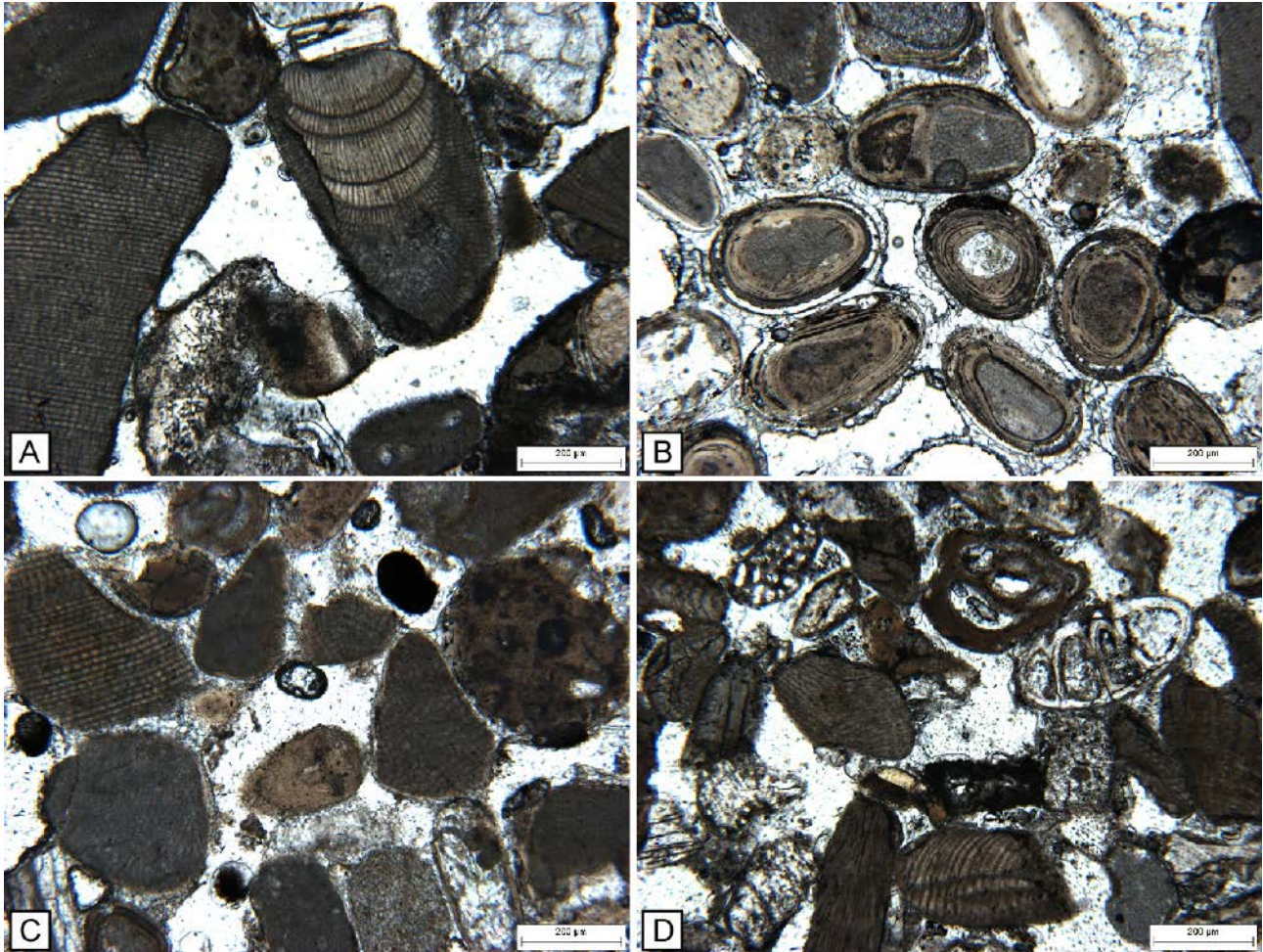


Figure 2. Photographies des microfaciès vus en lames-minces (lumière polarisée non analysée). A : Can Blai Mur S2, B : Escarnatge carrière ESCG 1, C : Escarnatge carrière ESCG 2, D : Punta Pedrera carrière PPD 1.

nettement plus abondants que les foraminifères (fig. 2, C). Certains prélèvements, dans la partie en bord de mer de la carrière ESCG2, montrent un faciès moins trié et moins oolitique qui correspond un peu mieux à celui du site archéologique.

Punta Pedrera (4 sites de prélèvements). Les faciès sont totalement bioclastiques, sans aucune oolite. Les éléments sont généralement très fragmentés et les faciès peuvent être plutôt fins ou au contraire hétérométrique avec des éléments millimétriques. Dans tous les fragments observés, les proportions entre fragments d'algues rouges et foraminifères sont égales (fig. 2, D), ou les foraminifères sont plus abondants que les algues, ce qui n'est le cas dans aucun échantillon du site archéologique.

Es Pujols (ES1 et ES2 Racó des Cingles). Le calcaire banc est très fortement oolitique, les oolites représentent environ 90 % des éléments. Les foraminifères sont assez nombreux. Quant aux rares algues rouges présentes, elles sont très recristallisées en micrite et leur microstructure n'est quasiment jamais visible. Ce *marès* ne correspond donc pas au faciès bioclastique recherché.

Pujada de la Mola (Racó de ses Pedreres), faciès presque totalement bioclastique, presque sans oolites (entre 5 % et 10 %). Les éléments sont très arrondis et assez bien triés, avec une assez forte proportion d'algues rouges par rapport aux foraminifères. Le faciès correspond assez bien à celui du site archéologique. À noter la présence d'un sous-faciès un peu plus compact et contenant des grains de quartz dans l'un des prélèvements.

Analyses colorimétriques

Nous avons représenté sous forme graphique (fig. 3, A et B) les projections des différentes mesures réalisées sur les échantillons (entre 5 et 15 mesures en fonction de la taille des prélèvements). Les données étant quantifiées, elles peuvent aussi permettre de calculer des moyennes, des différences standards, etc. À partir de ces données ou graphiques, il est aussi possible de caractériser qualitativement les différences observées ou de montrer des corrélations entre les différents paramètres qui composent les couleurs.

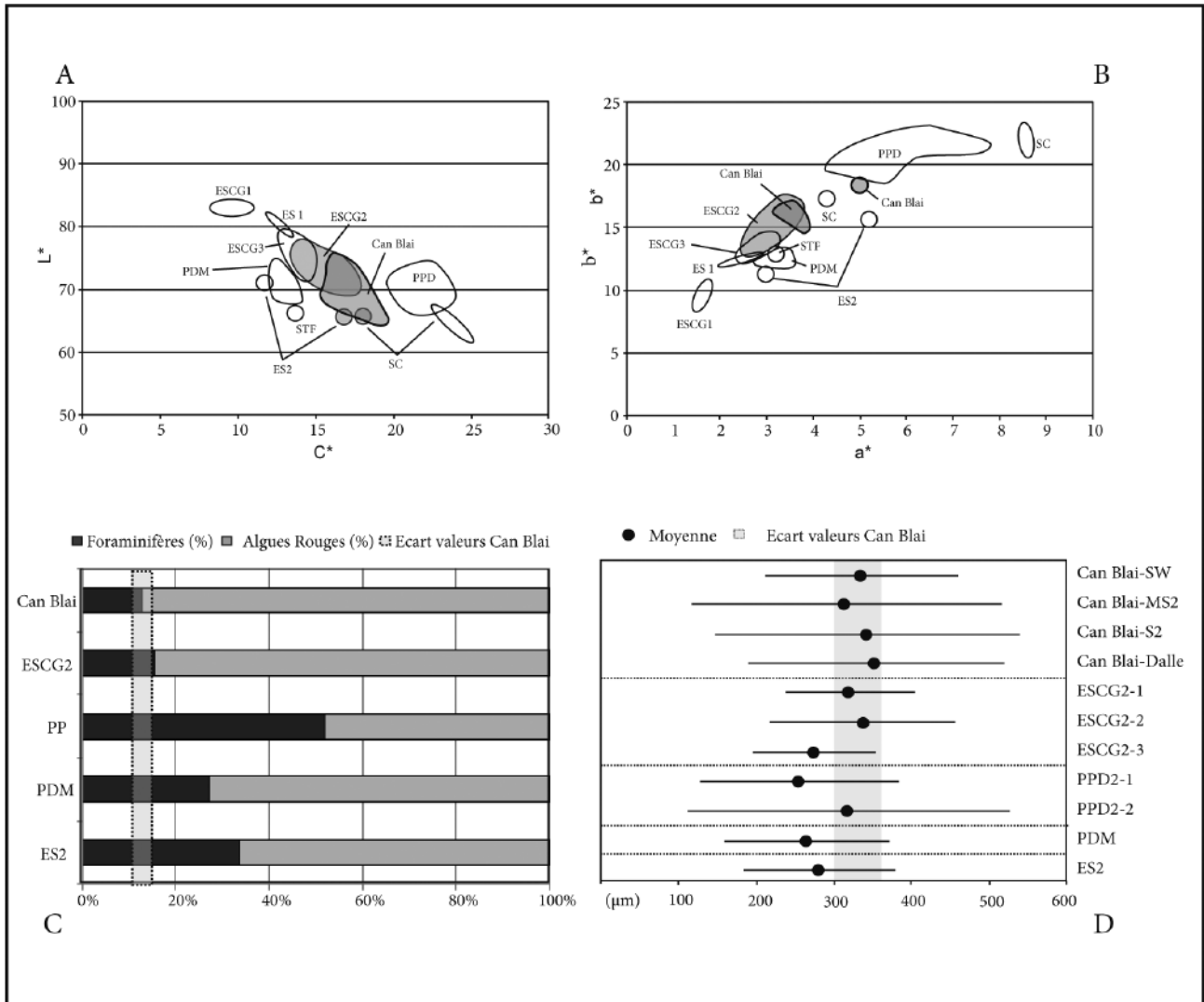


Figure 3. Résultats des analyses quantifiées réalisées sur les différents prélèvements de marès de Formentera. A et B : données de colorimétrie. C et D : quantifications réalisées en microscopie optique (comptage des bioclastes et longueurs moyennes des sections de grains).

Can Blai. Le *marès* du site archéologique est d'une couleur beige assez peu marquée, avec des clartés entre 65 et 75 et une chromaticité entre 15 et 20. Les échantillons occupent une position relativement centrale dans le diagramme entre les faciès nettement gris à blancs (ESCG1, ES1) et ceux plus colorés à teintes rougeâtres (PPD et SC).

Ses Clotadas (sc). Les prélèvements issus du gisement situé immédiatement au sud de Can Blai montrent deux types de signatures colorimétriques. En effet, ils comprennent d'une part des prélèvements de sables gris, de *marès* meuble, dont la couleur se rapproche du matériau de Can Blai (un prélèvement se situe dans la zone de référence du faciès de Can Blai, fig. 3 A), mais aussi des fragments de croûtes rougeâtres qui sont nettement différents du faciès de *marès*.

Es Carnatge. Carrière en retrait dans les terres (ESCG1) : ces calcaires oolitiques sont nettement plus blancs que les tous autres prélèvements, ce qui se ma-

térialise par des clartés fortes (L* entre 80 et parfois supérieur à 85) et des indices chromatiques faibles (chromaticité C* inférieure à 10). Aucun prélèvement n'a une signature colorimétrique recoupant l'aire définie par les *marès* du site archéologique.

Es Carnatge. Carrières de bord de mer (ESCG2 et ESCG3) – les *marès* de bord de mer de l'ESCG2 sont en partie légèrement plus clairs et plus gris que ceux du site archéologique mais, pour l'autre moitié, ils entrent dans l'aire définie par les *marès* de Can Blai. Ceux de l'ESCG3 sont encore un peu plus gris et plus clairs, et leurs aires chromatiques ne recoupent pas celle des *marès* de Can Blai.

Punta Pedrera - 4 sites de prélèvements (PPD). Les *marès* des différentes carrières échantillonnées entre Punta Pedrera et Punta Gavina ont tous des teintes plus colorées, plus rougeâtres ou plus jaunes que les échantillons de Can Blai. Les deux aires chromatiques ne se recoupent pas.

Es Pujols (ES1) et Racó des Cingles (ES2). Les calcaires oolitiques d'Es Pujols sont nettement plus blancs et moins colorés que ceux de Can Blai. Un échantillon de Racó des Cingles entre dans l'aire chromatique L*C* de Can Blai (fig. 3, A), mais sa signature a*b* est différente (fig. 3, B). Cela veut dire que même si la clarté et l'intensité de la couleur sont semblables, la tonalité est différente.

Pujada de la Mola - Racó de ses Pedreres (PDM). Ces *marès* de bord de mer sont légèrement plus gris que ceux du site archéologique.

Les données colorimétriques s'avèrent très parlantes et conformes à nos impressions visuelles concernant les différents prélèvements. L'existence d'aires colorimétriques relativement distinctes pour les différents gisements permet de retenir ce critère de caractérisation. Sur la base de ce critère, les sites localisés au nord de Can Blai montrent d'assez bonnes correspondances. Il serait d'ailleurs intéressant de voir si les différences colorimétriques entre Can Blai et ces sites ne seraient pas liées à des processus taphonomiques ou d'altérations qui aurait modifié la couleur des matériaux du site archéologique par rapport aux affleurements de bord de mer.

Comptages de grains (algues rouges versus foraminifères)

Lors des descriptions pétrographiques, nous avons constaté des différences d'une lame-mince à une autre dans la diversité des bioclastes et des microfossiles. Afin de valider cette hypothèse, nous avons réalisé quelques comptages de l'abondance relative des fragments d'algues rouges et de foraminifères (entiers ou en fragments). Pour ces comptages, seuls les faciès de *marès* bioclastiques ont été utilisés (fig. 3, C).

Les trois échantillons du site archéologique de Can Blai montrent tous moins de 20 % de foraminifères. À l'inverse, parmi les sept échantillons de prélèvements géologiques, les pourcentages sont très variables d'un site à l'autre.

Es Carnatge 2 (ESCG2). Les trois prélèvements ayant fait l'objet de comptages ont tous montré moins de 20 % de foraminifères. C'est-à-dire une proportion très proche de celle calculée pour les échantillons du site archéologique.

Punta Pedrera (PPD). Les trois prélèvements montrent plus de 40 % de foraminifères, l'un d'eux présente même plus de foraminifères que de fragments d'algues rouges.

Pujada de la Mola (PDM) et Es Pujols 2 (ES2). Les prélèvements montrent entre 20 et 40 % de foraminifères. Ils sont donc un peu plus riches en algues rouges que ceux de Punta Pedrera, mais moins que ceux du site de bord de mer d'Es Carnatge et du site archéologique.

Dans une première approche, ce critère semble montrer la très grande similitude entre le *marès* du

site archéologique et celui des carrières de bord de mer d'Es Carnatge, une différence notable entre le *marès* utilisé à Can Blai et celui présent sur le site de Pujada de la Mola et une très nette différence avec le *marès* de Punta Pedrera. À la différence de la granulométrie, qui semble varier davantage pour un même site qu'entre les différents gisements de *marès*, les proportions relatives entre les différents types de bioclastes, et notamment le ratio foraminifère/algues rouges, semblent donc relativement spécifiques pour chacun des secteurs de prélèvements. Ce critère paraît donc très discriminant et nous prévoyons d'étendre ces premiers comptages à l'ensemble des lames-minces et de le rationaliser en augmentant le nombre de grains dénombrés afin de le rendre plus fiable sur le plan statistique.

Mesures granulométriques

Les mesures granulométriques réalisées sur 100 sections de grains montrent que les *marès* utilisés à Can Blai sont plutôt composées de grains moyens de 250 à 500 µm, avec des proportions moindres de grains fins et gros (fig. 3, D). Aucun élément inférieur à 63 µm (classe des lutites) ou supérieur à 2 mm (classe des rudites) n'y a été observé. Deux sous-faciès pourraient être distingués : l'un un peu mieux trié que l'autre, et dont les éléments sont plus hétérométriques et un peu plus gros.

Les échantillons prélevés dans les affleurements et les carrières montrent aussi ces deux types de faciès, notamment à Punta Pedrera. Certains prélèvements issus de Punta Pedrera ont des signatures granulométriques très proches des échantillons de Can Blai, mais d'autres en diffèrent plus nettement. Par contre, les échantillons d'Es Carnatge sont des faciès à éléments mieux triés où l'écart type est inférieur à 100 µm et où il n'existe presque aucun élément de plus de 500 µm.

Ainsi, en tenant compte uniquement de la granulométrie, il faudrait différencier les *marès* fins, bien triés, des *marès* légèrement plus gros et un peu moins bien triés et enfin des *marès* nettement hétérométriques (mal triés), qui contiennent parfois des particules plus grosses. Mais comme ces différentes granulométries semblent exister au sein d'un même secteur, voire au sein d'une même carrière, il est impossible de retenir ce critère pour différencier les provenances. Par contre, si ces granulométries sont dues à des différences de porosité ou de résistance à l'altération, elles pourraient correspondre à différentes qualités de pierre de taille au sein des gisements.

Conclusions de la caractérisation géologique

L'étude des principaux gisements de *marès* de l'île de Formentera a permis de montrer des différences de faciès ou de granulométrie entre les sites mais aussi à

l'intérieur d'un même site ou d'un même ensemble de carrières avec, par exemple, l'existence de carrières voisines ayant exploité les calcaires oolitiques et les *marès* bioclastiques ou la présence de variations granulométriques au sein d'un même affleurement. L'étude des échantillons en laboratoire permet de tester la validité de différents critères de caractérisation. Lors de cette étude, la pétrographie et la colorimétrie se sont avérées être les modes d'analyses les plus discriminants.

Les résultats montrent que les *marès* utilisés sur le site de Can Blai sont différents de ceux des carrières d'Es Pujols et de Punta Pedrera. À l'inverse, les deux petites carrières situées au nord du site archéologique montrent des faciès qui, même s'ils ne sont pas totalement identiques, donnent des résultats de caractérisation très proches. Il pourrait exister des carrières encore non échantillonnées ou recouvertes par la mer, voire érodées, dont les faciès correspondraient parfaitement à ceux du site. Mais il faut aussi envisager l'existence d'une certaine variabilité à l'intérieur d'un même gisement (de granulométrie ou de microfaciès) ou d'évolutions taphonomiques et d'altérations différentes entre les matériaux du site archéologique ou du bord de mer (couleur, géochimie), ce qui expliquerait les légères différences observées dans nos analyses.

Les carrières et le peuplement

Punta Pedrera

Dans l'étude sur le peuplement de Formentera, ce site avait été interprété avec une fonction portuaire¹³. Aujourd'hui, il est possible d'affirmer qu'il existe un ensemble d'occupations qui plaiderait pour une petite agglomération portuaire avec une superficie d'un hectare, occupée pendant toute la période antique

de l'île, entre le III^e siècle av. J.-C. et le VII^e siècle ap. J.-C. sans solution de continuité. Le site est entouré d'exploitations de pierre de taille qui ont fonctionné jusqu'au milieu du XX^e siècle mais il est fort probable que l'origine de cette activité d'extraction remonte à l'Antiquité.

Es Pujols

Il s'agit d'une carrière utilisée intensivement jusqu'au milieu du XX^e siècle. Le lieu d'extraction a été réutilisé comme bassin régulateur d'eau potable (fig. 1). Lors de notre visite, nous avons pu identifier des restes céramiques en position primaire, sur le sommet de la petite élévation qui surplombe le creux où se trouve le bassin d'approvisionnement d'eau. Ces restes céramiques offrent une chronologie comprise entre les V^e et III^e siècles av. J.-C. : mortier (fig. 4.1), amphore ibérique (fig. 4.2) et amphores punico-ébusitaines PE-12 (fig. 4.3) et PE-13.

Es Carnatge

Le site antique d'Es Carnatge est connu depuis les prospections réalisées entre 1989 et 1990¹⁴. Il se situe à 400 m au sud-ouest de la carrière d'Es Carnatge 2. Zone traditionnelle de mouillage jusqu'à nos jours, une densité anormalement grande d'amphores sur le côté de la mer ainsi que les restes trouvés en prospection sous-marine¹⁵ ont permis d'interpréter l'existence d'un débarcadère depuis l'Antiquité. Toutefois, une sépulture rupestre et la dispersion de mobilier domestique (vaisselle de cuisine et de table) peuvent être interprétées comme l'existence d'un habitat d'une exploitation rurale. Les recherches réalisées depuis 2013 ont permis d'identifier un grand site sur une superficie d'une quarantaine d'hectares

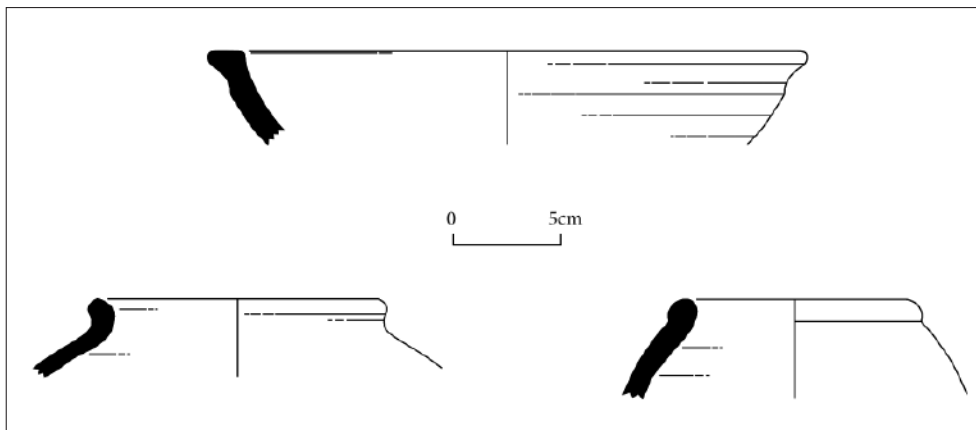


Figure 4. Mobilier de surface provenant de la carrière de Es Pujols (A. Quevedo).

13. GONZÁLEZ VILLAESCUSA, DÍES CUSÍ, 1993, p. 351.

14. GONZÁLEZ VILLAESCUSA, DÍES CUSÍ, 1993, p. 352.

15. Nous tenons à remercier la communication de J. Rodríguez Pandozi, auteur des prospections sous-marines qui confirment l'existence d'amphores antiques, ainsi que d'une épave d'époque moderne (XVII^e - XVIII^e siècles), au large de cette ligne côtière.

qui englobe celui de Can Blai. Le matériel de surface récolté sur cet espace date entre le v^e siècle av. J.-C. et le vii^e ap. J.-C.

La carrière d'Es Carnatge 2 se trouve au bord de la mer (fig. 1), à 550 m en direction nord-est de l'angle est de Can Blai. De sorte que le fond de la carrière (à peine 0,5 m au-dessus du niveau de la mer) est très souvent inondé par l'eau, et l'érosion marine marque les vestiges de l'ancienne exploitation. La carrière adopte la forme d'un polygone orthogonal¹⁶, en gros par addition d'un carré et d'un rectangle creusés dans le rocher avec des parois verticales dont la partie ouest atteint un dénivelé de plus de 2,2 m (fig. 5). Les fronts de taille montrent les marques laissées par les coups des escoudes, ce qui permet de supposer tout du moins une extraction traditionnelle. Le front de carrière, plus élevé dans la partie intérieure, laisse supposer qu'il s'agit d'une exploitation en paliers en bordure de falaise.

La surface du fond qui atteint la côte de 0,5 m, s'étend sur 44 m², tandis que dans la partie supérieure,

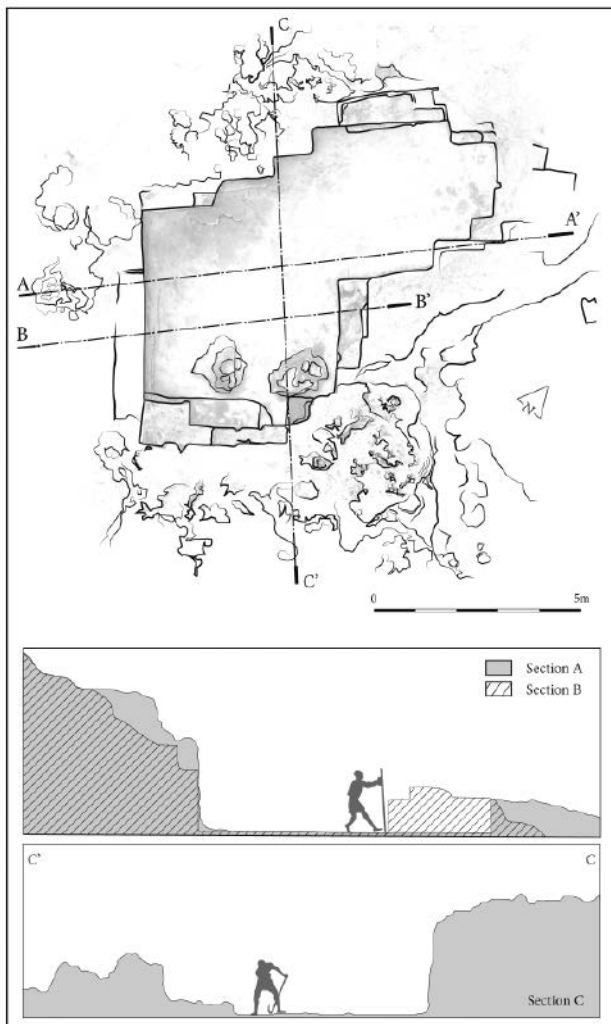


Figure 5. Es Carnatge 2. Plan et sections.

les traces de taille et les différents gradins permettent d'estimer une superficie maximale d'environ 73 m². Ces dimensions définissent une extraction minimale de 88 m³ et un maximum prévu d'exploitation d'environ 146 m³ de marès.

	Hypothèse 1	Hypothèse 2
Superficie m ²	44	73
Volume m ³	88	146
Volume utile 50 %	44	73
Volume utile 55 %	49	80

Tableau 1 : Es Carnatge 2. Dimensions et volume exploitable de pierre

De son côté, Es Carnatge 3 se trouve aussi en bord de mer, à 610 m au nord de l'angle nord du fortin de Can Blai (fig. 1). Il s'agit d'une carrière moins profonde et un peu plus élevée par rapport

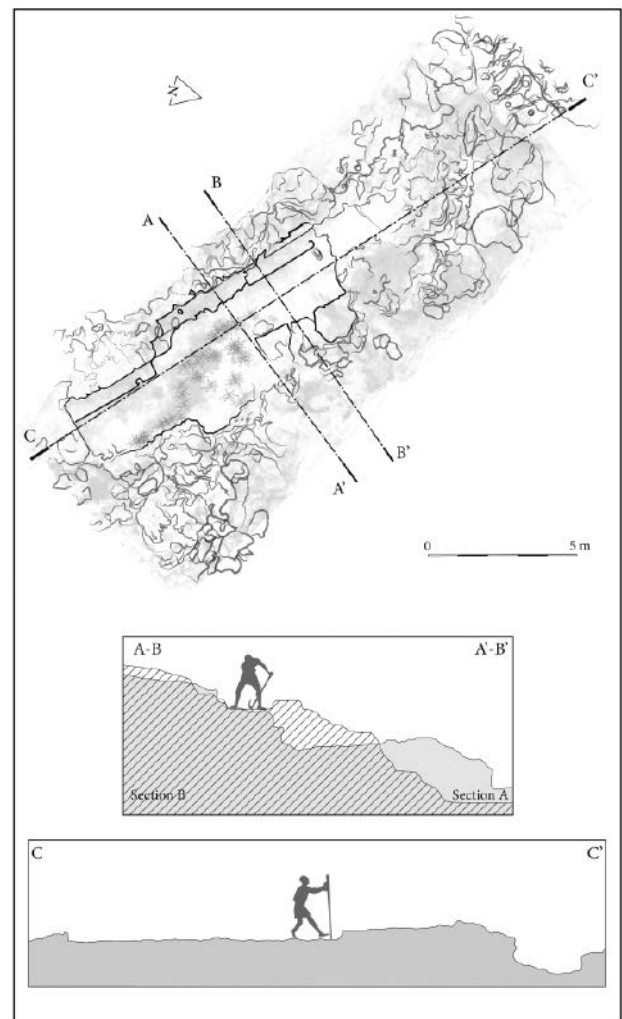


Figure 6. Es Carnatge 3. Plan et sections.

16. Un polygone orthogonal est celui avec tous ses côtés parallèles à l'axe x ou à l'axe y.

à la mer que la précédente car le sol de carrière est à + 2,5 m au-dessus du niveau de la mer actuel. On peut distinguer deux paliers incisés sur la pente du relief préalable au début de l'exploitation. Le premier à une cote de 3,7 m et le deuxième à 3 m, tous deux d'une largeur d'environ 1,5 m. La forme de l'excavation montre une nette tendance rectangulaire avec les côtés plus longs parallèles à la ligne de la côte (fig. 6). Au milieu de ce rectangle, on peut distinguer le fond de carrière et deux fronts d'extraction, un de chaque côté, ainsi que quelques trous d'engins percés dans la pierre.

Pour cette carrière, nous avons fait des calculs en fonction de trois hypothèses. Une première hypothèse en tenant compte de l'extraction minimale observée à partir des fronts d'extraction sur 47 m² ; une deuxième hypothèse sur la base de l'extension maximale de 78 m² ; enfin, une dernière hypothèse sur la base de cette même superficie mais avec une profondeur comparable à celle d'Es Carnatge 2, qui atteint le niveau de la mer. Les différents paramètres nous donnent des volumes d'extraction compris entre un peu moins de 40 m³ et un peu plus de 200 m³, c'est-à-dire, des volumes utiles entre 19 m³ et 120 m³.

	Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 3
Superficie m ²	47	78	78
Volume m ³	37	62	218
Volume utile 50 % m ³	19	31	109
Volume utile 55 % m ³	21	34	120

Tableau 2 : Es Carnatge 3. Dimensions et volume exploitable de pierre

Conclusion

La pierre de taille utilisée pour la construction de Can Blai est originaire de l'île de Formentera. Ce qui est assez logique si l'on tient compte de la présence locale d'une ressource à la fois disponible et adaptée pour la technique constructive utilisée. Ainsi, malgré la variable extérieure et militaire de la décision de construction du fortin, on peut se demander si l'originalité de la technique de construction n'est pas due à un savoir-faire local. Cependant, cette manière de construire n'a jamais été documentée dans les Îles Baléares ni nulle part ailleurs.

L'étude géologique met en évidence l'utilisation probable des gisements de *marès* les plus proches du chantier de construction. La pétrographie (ratio foraminifères/algues rouges) et la colorimétrie plaident pour une identification des carrières d'Es Carnatge 2 et 3 comme source possible d'extraction.

Les deux carrières paraissent toutefois insuffisantes si l'on tient compte du volume total de pierres utiles nécessaire pour construire la forteresse de Can Blai, soit, rappelons-le, 381 m³ de pierre. Le volume maximal, résultat de l'addition des deux lieux d'extraction (200 m³), est inférieur au volume total nécessaire. Ce constat oblige à considérer l'existence d'autres carrières probables, comme il en existe dans le secteur proche de Pujada de la Mola (Racó de ses Pedreres). Cependant, l'érosion littorale ainsi que l'intensité, jusqu'à

une époque très récente, de l'exploitation de ce secteur, peuvent avoir détruit les vestiges de ces carrières antiques.

Bibliographie

- AFNOR (2011), *Colorimétrie - Partie 4 : Espace chromatique L*a*b* CIE 1976, Norme européenne - Norme française, NF EN ISO 11664-4, Juillet 2011*, Saint-Denis.
- BRAUDEL, Fernand (1966), *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, vol. 1, 2^e édition, Paris.
- DUNHAM, Robert J. (1962), « Classification of carbonate rocks according to depositional texture », dans William E. HAM, *Classification of carbonate rocks, American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1, pp. 108-121.
- FERRER MAYANS, Vicent, MARÍ TORRES, Toni, TOSTÓN CALLE, Alberto (2004), « Marès », dans *Enciclopèdia d'Eivissa i Formentera*, vol. 8, Ibiza, pp. 113-114. [Consulté le 30 novembre 2016 : <<http://www.eif.es/veus/marès/>>]
- FOLK, Robert L. (1959), « Practical petrographical classification of limestones », *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43, 1, pp. 1-38.
- GONZÁLEZ VILLAESCUSA, Ricardo, DÍES CUSÍ, Enrique (1993), « Evolución de la ocupación del suelo de

- Formentera : épocas púnica y romana », *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonenses*, 15, 1991-1992 [1993], pp. 335-373.
- GORDILLO COURCIÈRES, José Luis (1981), *Formentera: historia de una isla*, Valencia.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1975), *Mapa de Rocas Industriales. E. 1: 200 000. Ibiza. Hoja y Memoria. 65, 9/8*, Madrid.
- MAS GORNALS, Guillem (2011), « El marès a Mallorca. Concepte, caracterització i tipologia », *Estudis Baleàrics*, 100-101, pp. 179-200.
- MATEOS, Rosa M., DURÁN, Juan J., ROBLEDO, P. A. (2011), « Marès Quarries on the Majorcan Coast (Spain) as Geological Heritage Sites », *Geoheritage*, 3, pp. 41-54.
- MORALES, Javier (dir.) (1999), *Demande d'inscription sur la liste du patrimoine de l'humanité des biens culturels et naturels de l'Île d'Ibiza. Tome 1 : Introduction générale et biens culturels (première partie)*. [Consulté le 2 novembre 2016 : <http://whc.unesco.org/fr/list/417/documents/>]
- RAMON TORRES, Joan (1985), *Els monuments antics de les illes Pitiüses*, Ibiza.
- RAMON TORRES, Joan (1986), *El Baix Imperi i l'època bizantina a les illes Pitiüses*, Ibiza.
- RANGHEARD, Yves (1969a), *Mapa Geològic y Minero de España, Nuestra Señora del Pilar - Faro de Formentera 825 - 850, 1: 50 000*, Madrid.
- RANGHEARD, Yves (1969b), *Mapa Geològic y Minero de España, San Francisco Javier y Cabo de Berbería, 824-849, 1: 50 000*, Madrid.
- REDDÉ, Michel (1995), « Dioclétien et les fortifications militaires de l'antiquité tardive », *Antiquité tardive*, 3, pp. 91-124.
- ROSSELLÓ BORDOY, Guillermo (1985), *Notas para un estudio de la Ibiza musulmana*, Trabajos del Museo Arqueológico de Ibiza, 14, Ibiza.
- SÁNCHEZ-CUENCA, Ramón (2011), « El manuscrito inédito de Agustí Frau sobre las canteras mallorquinas conservado en el archivo de la Societat Arqueològica Lul·liana », *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana. Revista d'Estudis Històrics*, 67, pp. 269-277.