

# Géologie et géochimie de la carrière de la Corderie (Marseille) : implications pour la caractérisation et la provenance des matériaux lapidaires antiques.

*Geological and geochemical study of La Corderie quarry (Marseille, SE France): implications for provenance analyses of lapidary materials used in Antiquity*

François Fournier<sup>1</sup>  
Philippe Mellinand<sup>2</sup>  
Michel Villeneuve<sup>3</sup>  
Lionel Marié<sup>1</sup>  
M. Nazim Kadri<sup>1</sup>

Géologie de la France, n° 2, 2022, p. 11-27, 11 fig.

Mots-clés : Oligocène, Archéologie, carrière grecque antique, calcaire lacustre, microfaciès, isotopes stables, Provence, Massalia.

Keywords: *Oligocene, Archaeology, ancient Greek quarry, lacustrine limestone, microfacies, stable isotopes, Provence, Massalia.*

## Résumé

La qualité des affleurements de calcaire oligocène mis au jour par les travaux réalisés dans la carrière antique de la Corderie (Marseille, Sud du Vieux-Port) en 2017 et 2018 a rendu possible la réalisation d'une étude géologique pluridisciplinaire du site (structure, sédimentologie, microfaciès, géochimie isotopique). Les calcaires exploités du VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C. jusqu'aux premiers siècles de notre ère sont localisés au contact d'une zone de faille bordant le massif de Notre-Dame-de-la-Garde. Le compartiment situé à l'Ouest de cette zone de faille présente une section continue (14 mètres) de sédiments lacustres oligocènes subdivisée en 3 unités lithostratigraphiques : 1) la base de la coupe est constituée de calcaires blancs beiges, grenus, massifs et crayeux représentant la partie sommitale de « l'unité des calcaires de Saint-Victor » exploités dans l'Antiquité autour de l'abbaye ; 2) la partie médiane est formée de brèches à matrice marneuse, de marnes et d'argiles (« unité des marnes et argiles de la Corderie ») ; 3) les calcaires beiges-orangés crayeux, dans la partie supérieure (« unité des calcaires de la Corderie »), constituent l'intervalle exploité à la Corderie. Sept lithofaciès ont été identifiés sur cette coupe. Les calcaires de la Corderie sont dominés par une association de 2 microfaciès incluant des stromatolites planaires et des microbialites à lamines discontinues en festons et alvéoles. Le sommet des calcaires de Saint-Victor est formé de grainstone à péloïdes et bioclastes micritisés à passées laminaires micritiques planes parallèles. Les résultats sédimentologiques permettent de reconstituer un modèle paléoenvironnemental,

commun pour l'ensemble de la série étudiée, de bordure de lac carbonaté peu profond soumis à des arrivées de sédiments gravitaires (éboulis de pied de pente) en provenance du massif de Notre-Dame-de-la-Garde. Les signatures isotopiques (carbone et oxygène) des carbonates suggèrent un lac hydrologiquement clos, à faible rapport surface/profondeur. Les signatures distinctes entre les deux unités carbonatées suggèrent une origine et possiblement une température différente des eaux alimentant le lac. Ce dernier critère pourrait s'avérer discriminant dans les études de provenance de matériaux archéologiques pour distinguer les calcaires de la Corderie et de Saint-Victor.

## Abstract

The archaeological excavations and the subsequent construction site carried on in 2017 and 2018 allowed an integrative geological study (structural geology, sedimentology, microfacies analyse, isotope geochemistry) of the Oligocene limestone from the ancient quarry of La Corderie (Marseille, south of the Vieux-Port) to be performed. The limestones exploited from the 6<sup>th</sup> century BC to the first centuries of our era are located in contact with a fault zone bordering the Notre-Dame-de-la-Garde massif. A continuous section (14 meters) of Oligocene lacustrine sediments, subdivided into 3 lithostratigraphic units, has been analyzed: 1) the base of the section is made up of white-beige, grainy, massive and chalky limestone representing the top part of the "Saint-Victor limestone unit" exploited in antiquity around the Saint-Victor abbey; 2) the middle part is made up of breccias with a marly matrix, marl and clay ("Corderie marl and clay unit"); 3) chalky beige-orange limestones, in the upper part ("Unit of limestones de la Corderie") constitute the interval exploited at the Corderie

<sup>1</sup> Aix-Marseille Univ., CNRS, IRD, INRA, Coll. France, CEREGE, 13545 Aix-en-Provence, France.

<sup>2</sup> Inrap, Aix Marseille Univ, CNRS, CCJ, 13097 Aix-en-Provence, France

<sup>3</sup> OSU Pytheas, Aix-Marseille Université, CNRS, 13013 Marseille, France

Article soumis le 14 septembre 2022, accepté pour publication le 10 octobre 2022

quarry. Seven lithofacies were identified on this section. The Corderie limestones are dominated by an association of 2 microfacies including planar stromatolites and laminar scalloped microbialites with alveolar structures. The top of the Saint-Victor limestones is made up of a grainstone with micritized peloids and bioclasts showing sparse plane-parallel micritic laminae. The sedimentological results enabled reconstructing a paleoenvironmental model, common for the whole studied section, of a shallow, marginal carbonate lake subjected to gravity-driven sediment influx from the Notre-Dame-de-la-Garde massif. The isotope signatures (carbon and oxygen) of the carbonates suggest a hydrologically closed lake with a low area/depth ratio. The distinct signatures between the two carbonate units suggest a different origin and possibly a different temperature of the waters feeding the lake. This last criterion could prove discriminating in the studies of provenance of archaeological materials, for distinguishing the la Corderie and Saint-Victor limestones.

## 1. Introduction

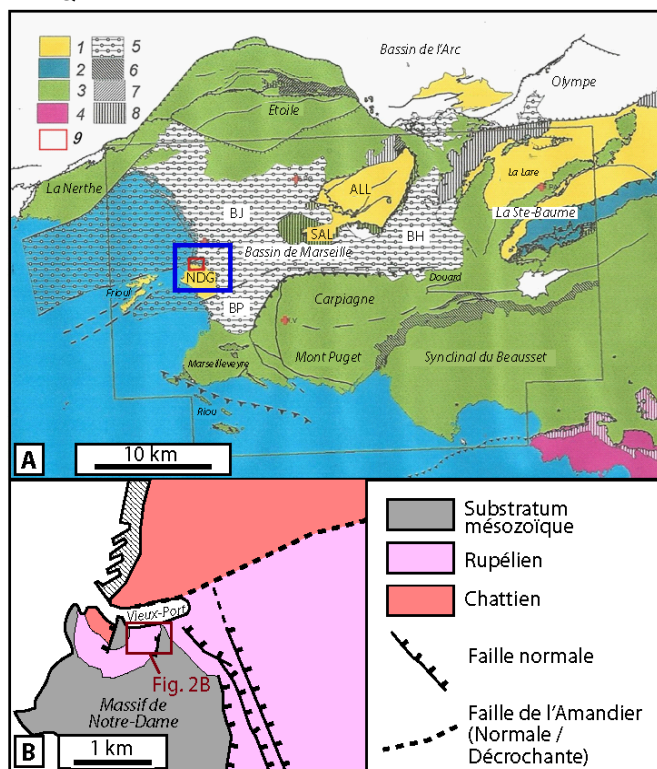
Des fouilles archéologiques réalisées entre avril et juin 2017 ont mis au jour, sur le boulevard de la Corderie, au Sud du Vieux-Port de Marseille, une carrière antique exploitant les calcaires oligocènes. La carrière a été exploitée à plusieurs reprises entre le VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C. et les premiers siècles de notre ère (Mellinand *et al.*, 2020). Elle était localisée dans une zone péri-urbaine, au Sud de la ville antique (localisée au Nord du Lacydon), occupée principalement par des nécropoles. Les calcaires tendres de l'Oligocène ont été exploités dans l'Antiquité en d'autres points de la rive sud du Lacydon (emplacement du Vieux-Port actuel), notamment au voisinage de l'Abbaye Saint-Victor (Gaudon *et al.*, 2009) et ont constitué pendant la période grecque le matériau de prédilection utilisé à Massalia pour la pierre de construction ou la sculpture jusqu'au II<sup>e</sup> siècle avant J.-C., lorsque les Massaliotes lui ont préféré le calcaire du Burdigalien de la Couronne (Pédini, 2013). L'analyse de la provenance des matériaux lapidaires (pierres de construction, sarcophages, statues...) mis au jour dans les fouilles archéologiques se heurte souvent à l'écueil d'une connaissance insuffisante de la géologie locale, en particulier dans les zones urbaines où les affleurements sont rares ou inexistantes et l'accès aux roches ne peut se faire qu'à la faveur de travaux d'urbanisme ou de sondages. C'est le cas des calcaires oligocènes du bassin de Marseille dont les sites d'extraction étaient localisés en grande partie voire en totalité dans des zones urbanisées de l'actuel centre-ville, en particulier sur les pentes du massif de Notre-Dame-de-la-Garde. L'analyse sédimentologique, microfaciologique, voire géochimique, de coupes de référence s'avère être un outil indispensable pour permettre une attribution robuste de provenance des matériaux lithiques mis au jour par les archéologues ou conservés dans les collections des musées. Le chantier de fouille archéologique réalisés en 2017 et les travaux d'urbanisme qui ont suivi en 2018 sur le boulevard de la Corderie ont mis au jour un affleurement exceptionnel pour l'étude des séries carbonatées lacustres de l'Oligocène du bassin de Marseille. Cette étude vise donc : 1) à caractériser les

lithofaciès, les microfaciès et les signatures isotopiques (carbone et oxygène) de ces dépôts oligocènes, en particulier les roches carbonatées, 2) à replacer la coupe du chantier de la Corderie dans le cadre d'une stratigraphie locale, 3) à proposer une reconstitution du contexte paléoenvironnemental de dépôt des sédiments oligocènes de la Corderie, 4) à fournir des éléments diagnostics utilisables pour l'identification de la provenance de matériaux lapidaires archéologiques.

Ce travail cherche ainsi à démontrer, ou tout au moins à confirmer la pertinence des sciences géologiques pour la résolution de problématiques archéologiques.

## 2. Localisation et cadre géologique

Le site de la Corderie se situe sur le flanc nord du massif de « la Garde » (Fig. 1) à la jonction du substratum calcaire et marneux d'âge Trias à Crétacé inférieur et du bassin de Marseille-Aubagne constitué de calcaires, de grès, de marnes et de conglomérats datés de l'Oligocène et au Quaternaire.

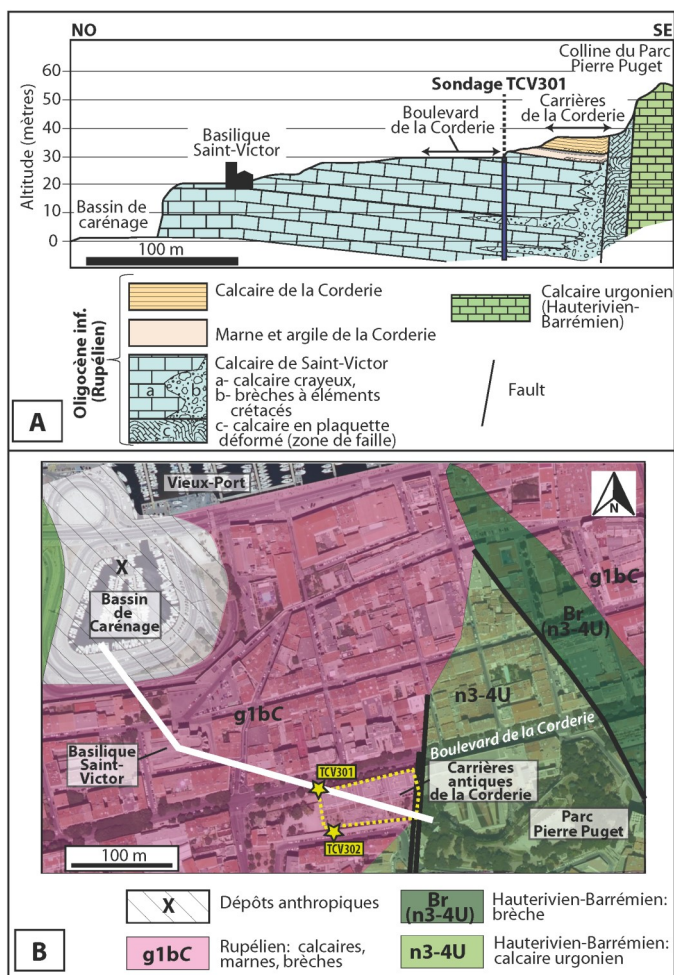


**Figure 1** - Schéma structural de la zone Aubagne-Marseille (d'après G. Guieu [1968], modifié) et localisation de la zone d'étude (dans l'encadré rouge). 1 : Autochtone durancien et para-autochtone ; 2 : Série renversée et blocs-klippes de la Sainte-Baume ; 3 : Unité allochtone du Beausset ; 4 : Unité allochtone de Bandol ; 5 : Oligocène ; 6 : Aptien faciès sud ; 7 : Aptien faciès nord ; 8 : Trias ; 9 : localisation du secteur de la Corderie. **Massifs** - ALL : Massif d'Allauch (Jurassique-Crétacé) ; NDG : Massif de Notre-Dame-de-la-Garde (Jurassique-Crétacé). **Bassins** - Bassin de Marseille (Oligocène à Quaternaire) ; B.J. : Bassin du Jarret ; B.P. : Bassin du Prado ; B.H. : Bassin de « l'Huveaune ». Le cadre bleu représente la zone cartographiée dans la Fig.1-B. **B** - Cadre structural simplifié du Sud-Ouest du bassin du Jarret, au Nord du Massif de Notre Dame.

**Figure 1** – Structural scheme of Aubagne-Marseille area (modified after G. Guieu [1968]) and location of the studied area (red square). 1: Durancian autochthonous and para-autochthonous terrains; 2: Reversed series and klippe from the Sainte-Baume Massif; 3: Le Beausset allochthonous unit; 4: Bandol allochthonous unit; 5: Oligocene; 6: southern Aptian facies; 7: northern Aptian facies; 8: Triassic; 9: location of La Corderie area. **Massifs** - ALL: Allauch Massif (Jurassic-Cretaceous), NDG: Notre-Dame-de-la-Garde Massif (Jurassic-Cretaceous). **Basins** - Marseille Basin (Oligocene to Quaternary); B.J: Le Jarret Basin; B.P.: Le Prado Basin; B.H.: L'Huveaune Basin. The blue rectangle represents the area mapped in Fig.1-B. **B**- Simplified structural scheme of the southwestern part of the Jarret Basin, North of Notre Dame Massif

Le site antique de la Corderie est encadré par le boulevard de la Corderie au Nord et par le mur de Vauban au Sud. À l'Ouest, il est limité par un terrain de boules jouxtant la rue d'Endoume et à l'Est par la falaise de l'école de la Corderie et du jardin public Pierre Puget.

Le schéma géologique de la **figure 1**, tiré du mémoire explicatif de la carte géologique Aubagne-Marseille (Villeneuve *et al.*, 2018) montre que le bassin de Marseille–Aubagne, rempli au Tertiaire et au Quaternaire, est encadré par un substratum montagneux constitué par des formations de l'ère secondaire. Une zone haute de ce substratum secondaire allant du massif d'Allauch aux Iles du Frioul en passant par le massif de la Garde, sépare le bassin du Jarret, au Nord du bassin du Prado, au Sud. Le bassin du Jarret est constitué par des calcaires sur sa bordure nord (calcaires de l'Estaque) et par des poudingues au centre et au sud. Ces sédiments sont attribués majoritairement au Chattien (Oligocène supérieur), tandis que le bassin du Prado présente une alternance de grès, de poudingues, de calcaires en plaquettes et de marnes attribués en majorité au Rupélien (Oligocène inférieur). Des travaux récents mettent en évidence une discordance tectonique entre le Rupélien déformé et le Chattien subhorizontal (Villeneuve *et al.*, 2016). Les dépôts du Quaternaire directement superposés ravinent les formations de l'Oligocène soulignant l'absence de dépôts du Miocène dans la partie terrestre de la zone Aubagne-Marseille. Hormis les poudingues du Pharo, l'ensemble de séries oligocènes localisées au Sud du Vieux-Port, entre le bassin de carénage et les contreforts mésozoïques du massif de Notre-Dame-de-la-Garde, ont été attribués au Rupélien (Fig. 2) dans la dernière édition de la carte géologique (Laville *et al.*, 2018).



**Figure 2** - Contexte géologique de la carrière de la Corderie. **A** : coupe géologique entre le bassin de carénage et le parc Pierre Puget (localisation sur la carte de la Fig. 2B) ; **B** : carte géologique de la rive sud du Vieux-Port de Marseille (d'après P. Laville, R. Monteau, M. Villeneuve *et al.* (2018), carte géologique Aubagne-Marseille 1/50 000, 3<sup>ème</sup> édition).

**Figure 2** – Geological setting of La Corderie quarry. **A**: geological cross-section between the boat refit basin and the Pierre Puget public garden (see location on Fig. 2B); **B**: geological map, south of the Vieux-Port of Marseille (after P. Laville, R. Monteau, M. Villeneuve *et al.* (2018), Aubagne-Marseille geological map 1/50,000 scale, 3<sup>rd</sup> edition).

### 3. Cadre archéologique

Le site archéologique du boulevard de la Corderie à Marseille se situe sur la rive sud du Vieux-Port, face à la ville antique. L'opération archéologique a été prescrite par le Service Régional de l'Archéologie (DRAC PACA), après un diagnostic réalisé par l'Inrap en octobre 2016 (Richier, 2016), dans le cadre d'un projet de construction d'immeuble. La fouille, réalisée d'avril à juin 2017 sur une emprise de 4 200 m<sup>2</sup>, a permis de mettre en évidence une carrière de calcaire exploitée durant l'Antiquité grecque puis romaine, conservée sur environ 1 000 m<sup>2</sup> (Mellinand, 2019).

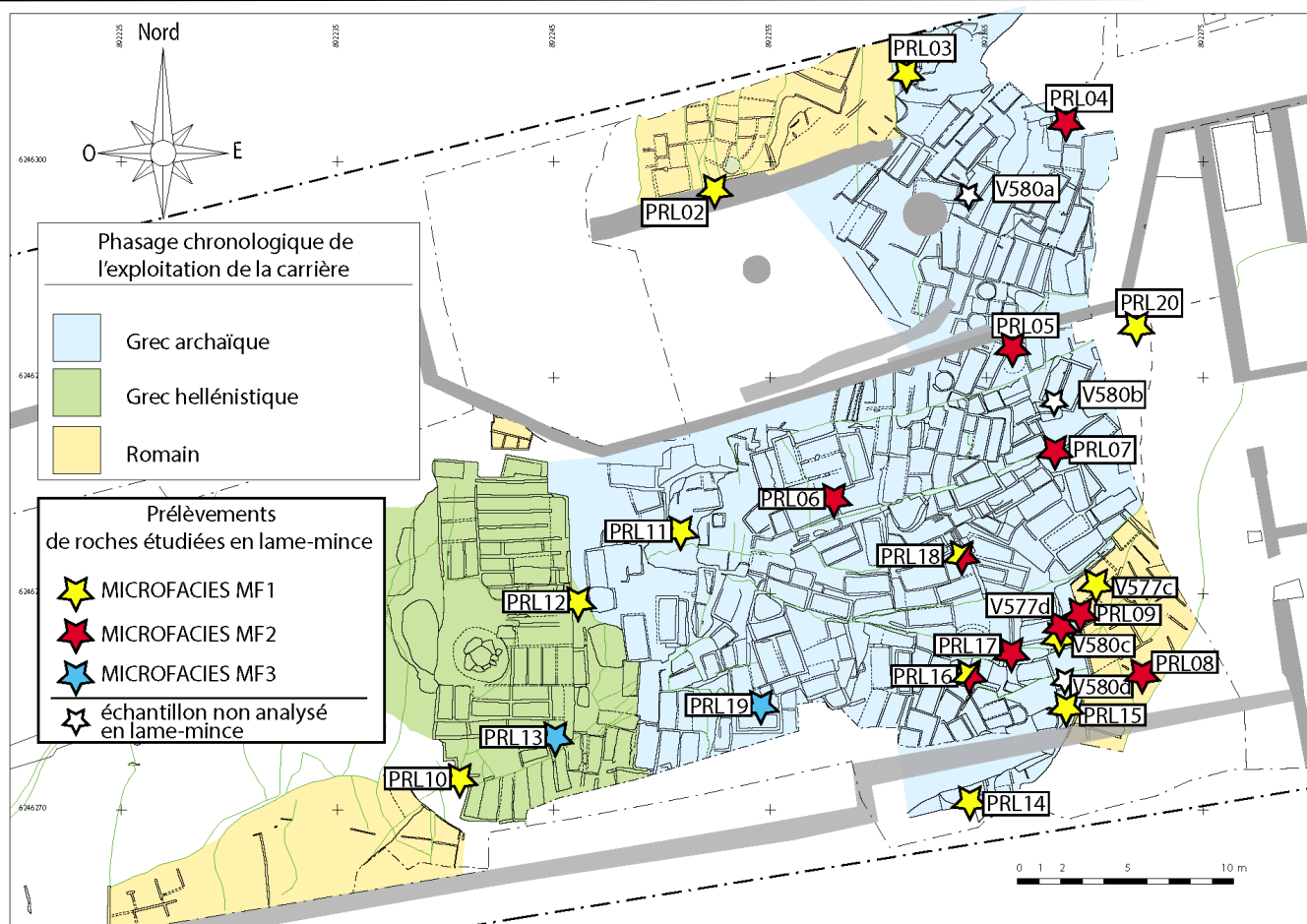


Figure 3 - Plan des fouilles de la Corderie, phasage chronologique de l'exploitation de la carrière, localisation des prélèvements de roche réalisés sur le front de taille et microfacies associés.

Figure 3 - Map of La Corderie excavations, chronological phasing of quarrying, location of rock samples and associated microfacies.

Sur le site de la Corderie, les sols de carrière et fronts de taille étaient entièrement comblés de déchets d'extraction et de taille dont la fouille minutieuse a livré de nombreux fragments d'amphores et de céramique. Leur étude a permis de distinguer trois phases d'exploitation de cet affleurement : 1) la période grecque archaïque, 2) la période grecque hellénistique, 3) la période romaine (Fig. 3). L'excellente conservation des fronts de taille, ainsi que leur grand intérêt scientifique et patrimonial, ont conduit, en janvier 2018, au classement au titre des monuments historiques d'une partie de cette carrière. La partie nord du site a été détruite par la construction de l'immeuble, tandis que les vestiges situés au Sud, conservés sur 735 m<sup>2</sup>, sont intégrés au jardin de la résidence et devraient faire l'objet de dispositifs d'accessibilité et de mise en valeur.

#### La carrière grecque archaïque

Comblée dans le premier quart du V<sup>e</sup> s. avant notre ère, la carrière la plus ancienne a été fouillée sur près de 700 m<sup>2</sup> et présente des fronts de taille hauts de 6 m. Elle a fourni une production variée, exploitant au mieux la diversité des bancs rocheux dont les qualités et les épaisseurs diffèrent. Les nombreuses diaclases ont également été mises à profit par les carriers et guident fréquemment l'implantation des blocs et la direction des enlèvements.

La production de cette première phase d'exploitation peut être identifiée grâce aux négatifs laissés par les blocs

extraits, mais également par plusieurs blocs, achevés ou encore en cours de taille, et abandonnés en raison de leurs défauts. Ainsi, outre les cuves et couvercles de sarcophages et les dalles de dimensions variables, dont certaines très certainement destinées à la confection de cistes funéraires, le site de la Corderie a produit des bases de pressoir à vin ou à huile, ainsi que des blocs circulaires dont la destination demeure inconnue. Les outils utilisés par les carriers grecs (puis romains) sont semblables à ceux encore utilisés il y a quelques décennies : pic et escoude, qui servaient à détourner les blocs au moyen de tranchées périphériques, puis coins métalliques, insérés sous l'arête frontale inférieure des blocs, pour les désolidariser du socle rocheux.

#### La carrière grecque hellénistique

À l'Ouest de cette carrière plus ancienne, de nouveaux fronts ont été ouverts aux IV<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> s. avant notre ère, sur une surface de 160 m<sup>2</sup>. Le banc de calcaire gréseux a été épuisé et les carriers ont ensuite entamé les brèches sous-jacentes, dont la piètre qualité les a contraints à rapidement abandonner ce secteur. Ici, la destination des blocs est toute autre : loin de la variété des productions archaïques, seuls des blocs de grand appareil ont été extraits. D'un module moyen de 161 x 60 x 61 cm, ils étaient vraisemblablement destinés aux fondations d'un ouvrage public. Leur extraction a été réalisée selon un calepinage régulier et une organisation rigoureuse : des bandes de



rocher longues de 3,30 m étaient détournées avant d'être recoupées en deux blocs égaux, puis, lorsque tous les blocs étaient individualisés, ils étaient, en série, détachés du rocher et sortis de la carrière. Un puits appareillé a été creusé dans la partie la plus profonde de la carrière hellénistique. Seule la partie supérieure de son comblement d'abandon a été fouillée et est datée des dernières décennies avant notre ère. La localisation particulière de cet ouvrage laisse penser qu'il a été aménagé à l'usage des carriers grecs et il constitue le seul témoin de leurs installations de vie.

### La carrière romaine

En périphérie des carrières grecques, quatre petits secteurs ont fait l'objet de reprises d'extraction durant la période romaine. Ces zones, parcourues de diaclases, avaient été négligées par les carriers grecs, cherchant à extraire des blocs de grandes dimensions. Les carriers romains, à l'inverse, produisent des moellons afin de les mettre en œuvre dans des ouvrages maçonnés. Dans l'angle sud-ouest du site, deux graffitis anépigraphes tracés à la pointe sur une paroi rocheuse ont été identifiés. L'un d'entre eux, constitué d'une succession de traits verticaux recoupant deux longues lignes horizontales, semble correspondre à un compte de carrier.

## 4. Données géologiques

### 4.1 Structure

La coupe géologique Est-Ouest (Fig. 4) réalisée entre la falaise de l'école de la Corderie à l'Est et le terrain de boules à l'Ouest, permet d'analyser le contact entre le substratum mésozoïque (calcaire urgonien) et les calcaires lacustres oligocènes.

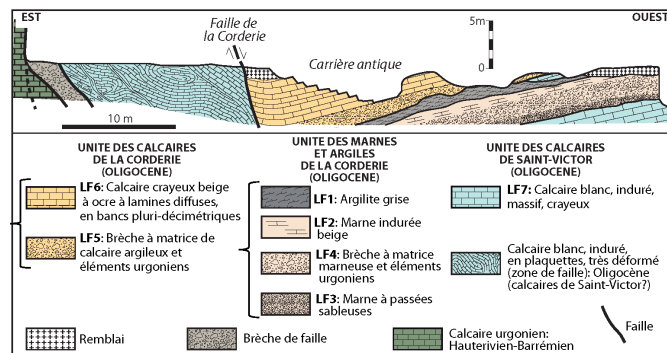


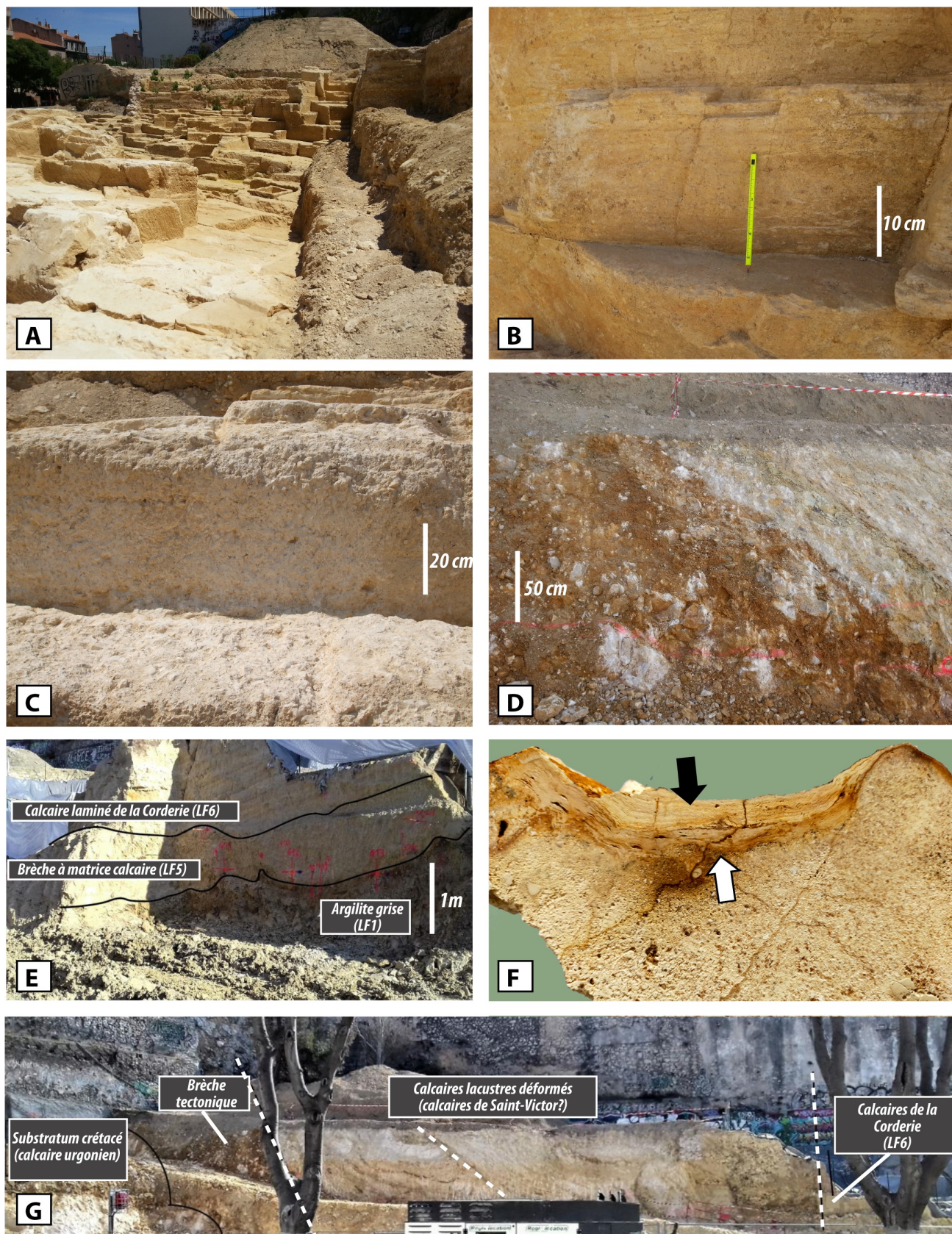
Figure 4 - Coupe géologique est-ouest à travers le chantier de la Corderie.

Figure 4 – East-West cross-section across La Corderie excavations.

D'Est en Ouest, on rencontre successivement : 1) les calcaires urgoniens blancs et massifs à rudistes d'âge hauterivien à barrémien (Crétacé inférieur) formant la colline du parc Pierre Puget, 2) une brèche à gros éléments anguleux (« brèches de l'école de la Corderie », Fig. 5D), constitués principalement par les calcaires de la colline Puget, et attribuable à une brèche de faille, 3) des calcaires blancs en plaquettes très déformées (Oligocène) interrompus vers l'Ouest par une faille (« faille de la Corderie », Fig. 5G), 4) des calcaires crayeux et laminés de couleur jaune-orangée (« calcaires de la Corderie », Fig. 5A-B), peu déformés qui constituent l'intervalle exploité par la

carrière antique et qui présentent à la base une brèche à éléments anguleux de calcaire urgonien et oligocène, 5) un ensemble composé d'argiles grises, de marnes et de brèches à éléments urgoniens (« argiles et marnes de la Corderie ») et enfin 5) un calcaire grenu, crayeux et massif (« calcaires de Saint-Victor », Oligocène).





**Figure 5** - Photographies des affleurements du chantier du boulevard de la Corderie : **A** - Aperçu de la carrière grecque entaillant le calcaire de la Corderie ; **B** - Détail montrant le caractère laminé du calcaire de la Corderie ; **C** - Brèche à éléments mixtes urgoniens et oligocènes et à matrice carbonatée crayeuse de la base de l'Unité des calcaires de la Corderie ; **D** - Contact entre la brèche de l'Ecole de la Corderie et les calcaires en plaquettes déformées de l'Oligocène ; **E** - Transition entre le sommet de l'Unité des marnes et argiles de la Corderie et l'Unité des calcaires de la Corderie ; **F** - Détail d'une section sciée de la surface sommitale des calcaires de la Corderie montrant des lamines microbiennes (flèche noire) drapant une surface irrégulière oxydée (flèche blanche) ; **G** - Panorama de la partie orientale du chantier de la Corderie (mars 2018).

**Figure 5** - Photographs of La Corderie outcrops : **A** - Overview of the Greek quarry digging the Corderie limestone ; **B** - Detail showing the laminated character of the Corderie limestone ; **C** - Breccia with mixed Urgonian and Oligocene elements encased in a chalky carbonate matrix at the base of the Corderie Limestone Unit ; **D** - Contact between the Ecole de la Corderie breccias and deformed Oligocene platy limestones ; **E** - Transition between the top of La Corderie Marl and Clay Unit and La Corderie Limestone Unit ; **F** - Detail of a polished section of the top surface of La Corderie limestones, showing microbial laminae (black arrow) draping an irregular oxidized surface (white arrow) ; **G** - Panorama of the eastern part of La Corderie site (March 2018).

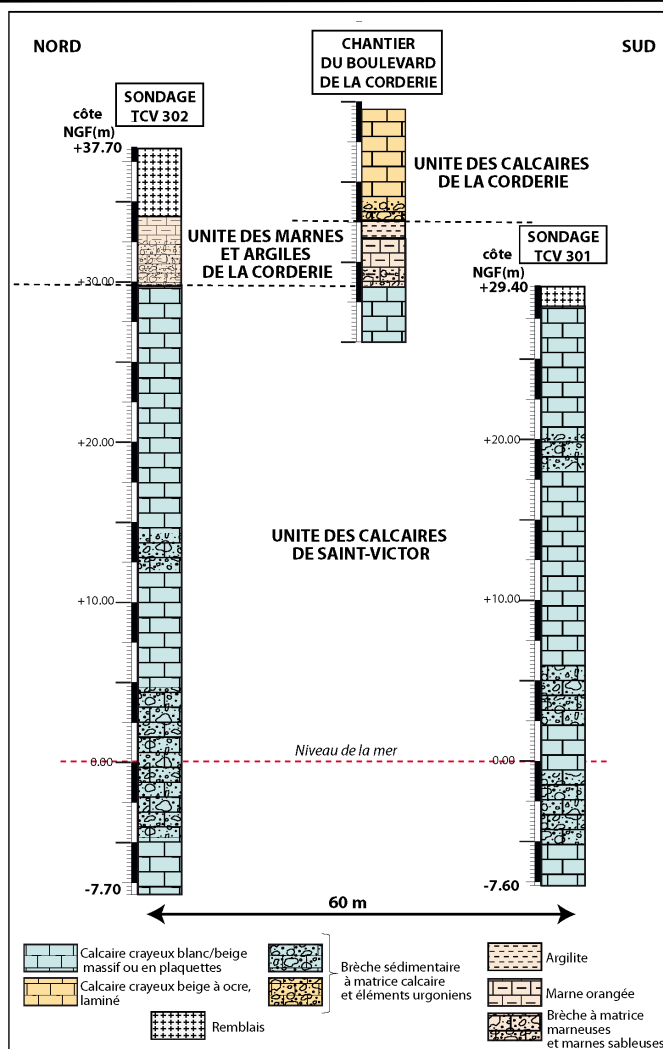


Le calcaire urgonien montre une stratification peu pentée à subhorizontale. Les « brèches de l'école de la Corderie » ont un pendage relativement fort vers l'Ouest tandis que les calcaires en plaquettes sont très déformés (aspect chiffonné) avec des pendages variables et des chevauchements. Les couches de cette formation ont des directions comprises entre N15 et N40° et des pendages entre 28 et 80° vers l'Ouest. Dans le compartiment occidental, les calcaires crayeux jaunâtres (« calcaire de la Corderie ») sont, au contraire, très peu déformés avec des pendages compris entre 10 et 20° vers l'Est. Enfin, les argiles et marnes sous-jacentes ainsi que les calcaires de base ont des pendages faibles, de 0 à 20 % vers l'Est. Seuls les calcaires en plaquettes du compartiment oriental présentent des plis internes. Le plan de la faille de la Corderie, principal élément cassant, est orienté à N42° avec une pente inclinée de 62 à 70° vers le NW. Les stries suggèrent une composante dextre. Le rejet vertical de cette faille, déduit de la succession stratigraphique de la figure 2A, serait donc supérieur à 30 mètres. En revanche, nous n'avons pu mesurer son déplacement horizontal.

## 4.2. Stratigraphie

### Position dans la stratigraphie locale

La corrélation de la coupe de la Corderie avec 2 logs de sondages (TCV301 et TCV302) réalisés de part et d'autre des carrières antiques (Fig. 6) permet de préciser la position stratigraphique de la série traversée dans le chantier de la Corderie. Ces sondages ont été réalisés en 1971 à la demande de la ville de Marseille pour servir à une étude géotechnique préliminaire à l'aménagement du tunnel Prado-Carénage (données disponibles dans la BSS, banque du sous-sol du BRGM : <https://infoterre.brgm.fr/page/banque-sol-bss>). Le sondage TCV302 a traversé un intervalle d'argile et de marnes jaunâtres graveleuses (4 m) surmontant une épaisse série de calcaire massif blanc-beige plus ou moins crayeux (37 m) à intercalations d'horizons de brèches à éléments urgoniens et matrice carbonatée crayeuse (brèche sédimentaire). Cette épaisse série carbonatée à intercalations de brèches a été également traversée par le forage TCV301 (36 m). Les 2 sondages n'ont pas atteint la base des calcaires. Ces résultats nous permettent de positionner l'unité argilo-marneuse (« argiles et marnes de la Corderie ») mise à jour par le chantier au-dessus d'une épaisse unité calcaire correspondant à celle exploitée dans l'Antiquité sous l'abbaye de Saint-Victor (Fig. 2A).



**Figure 6** – Corrélation des sondages TCV301 et TCV302 avec la coupe de la carrière antique du boulevard de la Corderie. Les lithologies et cotes des sondages sont tirées de la banque du sous-sol (BSS) du BRGM (<https://infoterre.brgm.fr/page/banque-sol-bss>).

**Figure 6** - Correlation of drill holes TCV301 and TCV302 with the section of the ancient quarry of La Corderie. The lithologies and elevations of the boreholes are taken from the BRGM subsurface database (BSS) (<https://infoterre.brgm.fr/page/banque-sol-bss>).

Trois unités lithostratigraphiques peuvent donc être mises en évidence localement sur la rive sud du Lacydon : 1) une unité inférieure (épaisseur > 37 m) de calcaire massif crayeux à intercalations de brèches sédimentaires : « unité des calcaires de Saint-Victor », 2) une unité médiane constituée d'argiles, de marnes et de brèches à matrice marneuse (~4 m) : « unité des marnes et argiles de la Corderie », 3) une unité supérieure de calcaire crayeux beige-orangé (> 7 m), exploitée dans la carrière antique de la Corderie : « unité des calcaires de la Corderie ».

Des échantillons de roche ont été prélevés pour des déterminations paléontologiques afin de connaître l'appartenance des couches qui les contiennent par rapport à la stratigraphie établie pour la troisième édition de la carte géologique Aubagne-Marseille (Villeneuve *et al.*, 2016, 2018). Deux échantillons prélevés dans des passées argileuses noirâtres de la base des « marnes et argiles de la Corderie » ont été examinés par J.-J. Châteauneuf pour des déterminations palynologiques. Ces deux échantillons se sont révélés initialement très pauvres, mais le résidu palynologique a été repris permettant la récupération d'une association de pollens un peu plus conséquente. Cinq

échantillons de calcaires crayeux beiges de la Corderie ont été envoyés à D. Nury pour la détermination de leur contenu coquillier. Ces déterminations sont encore en cours. Les recherches pour la détermination des charophytes, n'ont pas encore été entreprises.

La pauvreté des données paléontologiques ne permet pas, pour le moment, d'attribuer de manière certaine ces formations au Rupélien ou au Chattien. Cependant, l'association palynologique comprenant des conifères (dont un grain de *Tsuga*) et des essences tempérées (charme, bouleau, chêne, érable) cadreraient mieux avec un âge Chattien, mais qui demanderait à être confirmé par des analyses complémentaires.

### Description de la coupe du compartiment occidental

Le compartiment situé à l'Ouest de la faille de la Corderie, peu déformé, a permis de lever un log sédimentologique d'une épaisseur de 14 mètres dans la série oligocène (Fig. 7). Sept lithofaciès ont été identifiés : 1) argilite grise non structurée, riche en matière organique constituant le sommet de l'*Unité des argiles et marnes de la Corderie* (**Lithofaciès LF1**), 2) marne indurée beige à orangée (**Lithofaciès LF2**), 3) marne beige à passées gréseuses et micro-bréchiques, à éléments essentiellement carbonatés (**Lithofaciès LF3**), 4) brèche à matrice marneuse beige à éléments jointifs de calcaire urgonien (**Lithofaciès LF4**), 5) brèche à matrice carbonatée beige crayeuse à éléments urgoniens et oligocènes jointifs (**Lithofaciès LF5**, Fig. 5C), 6) calcaire crayeux beige à ocre à lamines cyanobactériennes, en bancs pluri-décimétriques (**Lithofaciès LF6**, Fig. 5A-B), 7) Calcaire blanc à beige, crayeux, massif (**Lithofaciès LF7**). Dans les lithofaciès bréchiques (**LF4** et **LF5**), les éléments sont de taille typiquement supérieure à 2 cm.

Le lithofaciès **LF7** constitue la partie sommitale (~3,5 m) de l'*Unité des calcaires de Saint-Victor*. L'unité se termine par une surface irrégulière, érosive, drapée par une croûte (épaisseur : 1 à 5 cm) de lamines stromatolitiques à cimentations d'oxyde de fer (Fig. 5F).

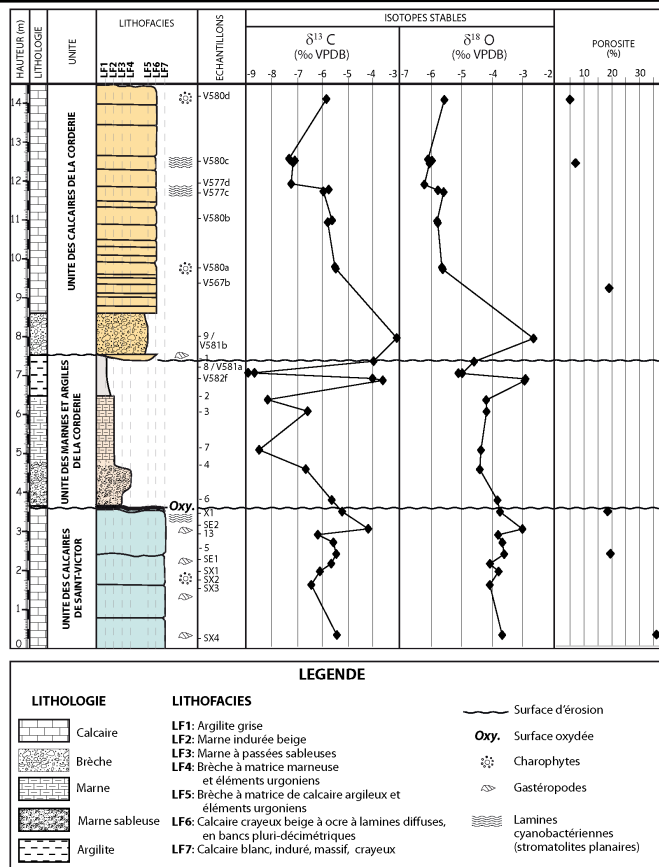


Figure 7 – Log synthétique présentant les variations verticales de lithofaciès, de  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  et de porosité.

Figure 7 – Synthetic log showing vertical variations of lithofacies,  $d^{13}\text{C}$  and  $d^{18}\text{O}$  and porosity.

Au-dessus, l'*Unité des marnes et argiles de la Corderie* est formée, de bas en haut, par des marnes beiges à passées gréseuses et micro-bréchiques (lithofaciès LF3, ~0,60 m), des brèches à matrice marneuse beige (lithofaciès LF4, ~0,80 m), des marnes indurées beiges-orangées (lithofaciès LF3, ~1,20 m) puis des argilites grises (lithofaciès LF1, ~1 m).

La base de l'*Unité des calcaires de la Corderie* est une surface d'érosion, entaillant les argilites sous-jacentes (Fig. 5E). La base de l'unité est constituée d'un intervalle de brèches à matrice carbonatée beige crayeuse et à éléments urgoniens jointifs (lithofaciès LF5, ~1 m, Fig. 5C). Une lentille de calcaire blanc, massif à gastéropodes (lithofaciès LF7) se situe à la base de cette brèche et pourrait constituer un bloc remanié de l'*Unité des calcaires de Saint-Victor*. Les calcaires crayeux beiges à ocre (lithofaciès LF6, ~6 m) exploités dans la carrière antique reposent en conformité sur les brèches.

### 4.3. Analyse des microfaciès carbonatés

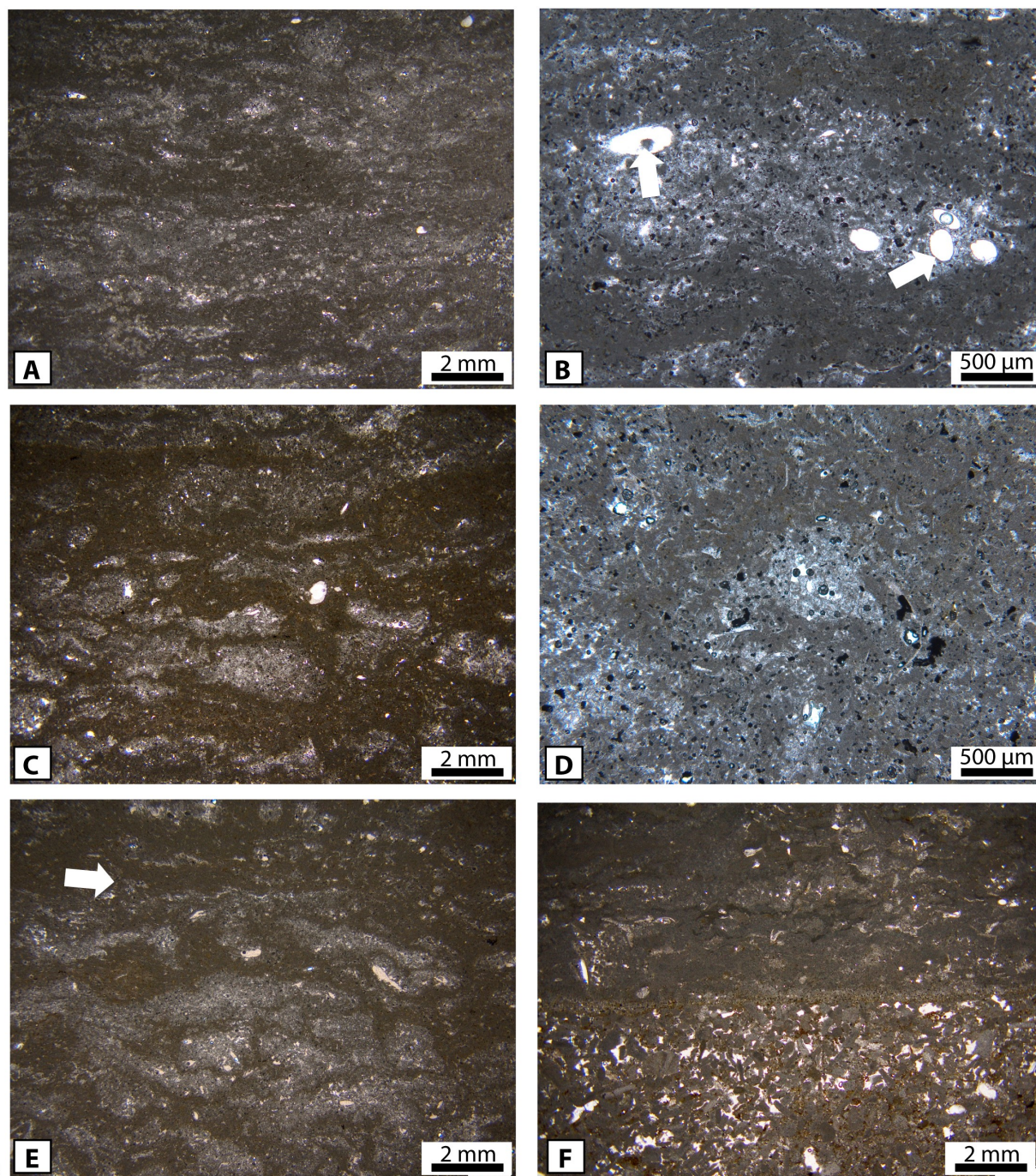
#### 4.3.1. Définition des microfaciès

##### Calcaires de la Corderie (lithofaciès LF6)

Les observations microscopiques en lames minces ont montré que les calcaires de la Corderie sont constitués, de manière largement dominante (20 échantillons sur 22, Fig. 3), par un continuum de micro-fabriques microbiennes



caractérisé par un pôle à lamines continues (microfaciès MF1, Fig. 8A-B) et un pôle à lamines discontinues en festons ou en alvéoles (microfaciès MF2, Fig. 8C-D). Une co-existence des microfaciès MF1 et MF2 peut se retrouver à l'échelle d'une même lame-mince (Fig. 8E), traduisant ainsi des variations spatiales très rapides des micro-fabriques carbonatées. Ces 2 microfaciès sont donc indissociables à l'échelle des observations de terrain et ne présentent pas d'organisation spatiale particulière à l'échelle de la carrière (Fig. 3).



**Figure 8** – Microfaciès du calcaire de la Corderie. **A** : stromatolite à lamines planes parallèles (MF1), échantillon PRL10 ; **B** : Détail du microfaciès MF1 montrant des cellules corticales de charophytes (flèches blanches) piégées dans une lamine microsparitique à micropéloïdes diffus, échantillon V580c ; **C** : microbialite à lamines discontinues formant des festons et des alvéoles (MF2), échantillon PRL8 ; **D** : détail d'une cavité à remplissage microsparitique entouré d'une crôte micritique (trace de racine ?), échantillon V577d ; **E** : Micro-fabrique mixte (MF1-MF2) montrant des lamines planes continues dans la partie supérieure de la lame (flèche blanche) et des lamines discontinues en alvéoles dans la partie inférieure, échantillon PRL18 ; **F** : alternance de grainstone péloïdal et de lamines micritiques planes parallèles (Microfaciès MF3), échantillon PRL13.

**Figure 8** - Microfacies of La Corderie limestone. **A**: stromatolite with flat parallel laminae (MF1), sample PRL10; **B**: Detail of the MF1 microfacies showing cortical cells of charophytes (white arrows) trapped in a microsparitic lamina with diffuse micropeloids, sample V580c; **C**: microbialite with discontinuous laminae forming scallops and alveolar structures (MF2), sample PRL8; **D**: detail of a cavity with microsparitic infill surrounded by a micritic crust (trace of root?), sample V577d; **E**: Mixed micro-fabric (MF1-MF2) showing continuous planar laminae in the upper part of the blade (white arrow) and discontinuous laminae forming alveolar structures in the lower part, sample PRL18; **F**: alternation of peloidal grainstone and plane parallel micritic laminae (Microfacies MF3), sample PRL13.



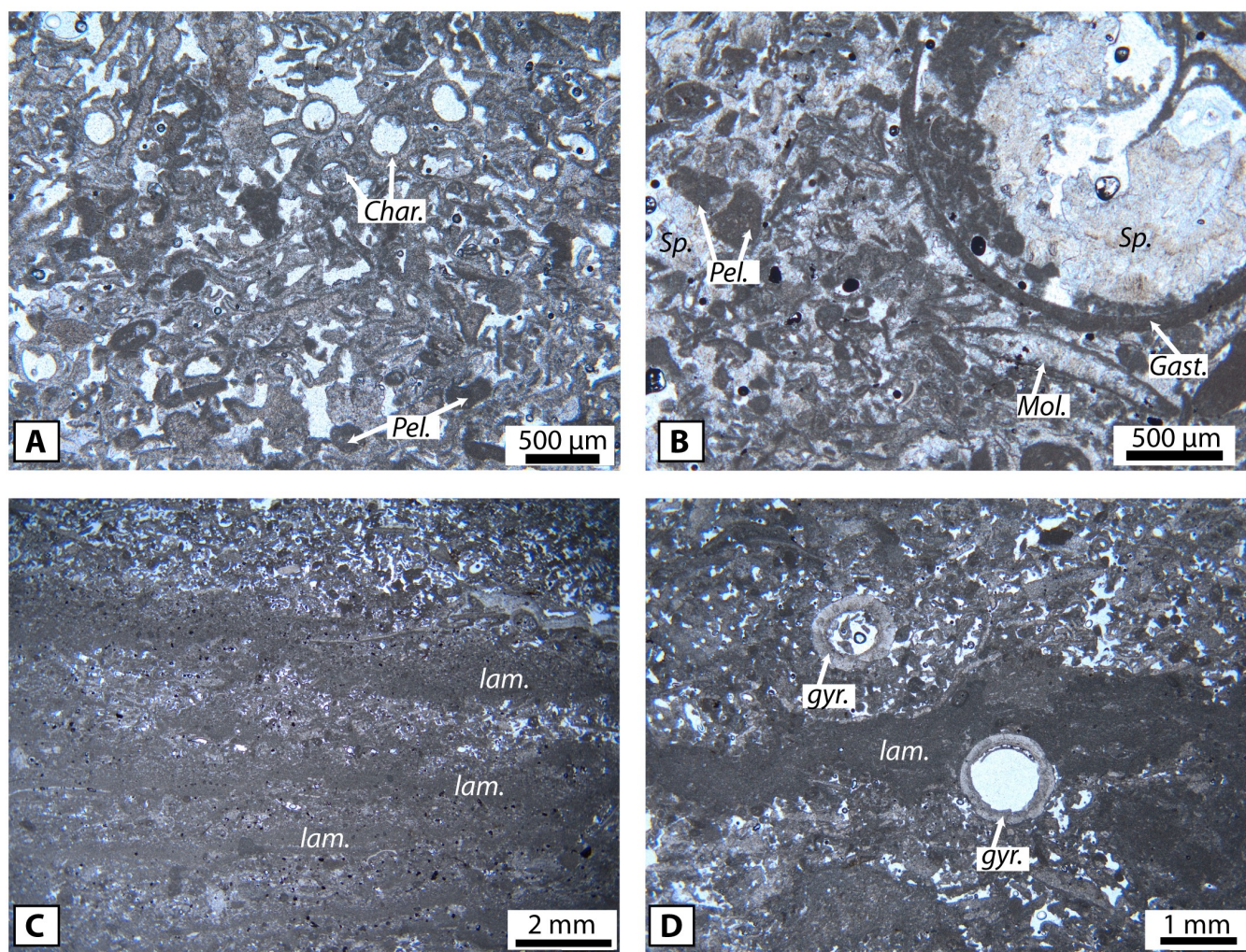
Le **microfaciès MF1** est une microbialite calcitique à lamines planes parallèles, subhorizontales (« *planar stromatolites* »). Celles-ci présentent une alternance de lamines micritiques sombres en lumière polarisée et de lamines claires constituées de microsparite englobant des micro-péloïdes (diamètre < 5 µm) (Fig. 8A-B). Des tiges et gyrogonites de characées ainsi que des valves d'ostracodes sont fréquentes au sein des lamines microsparitiques (Fig. 8B).

Le **microfaciès MF2** est une microbialite calcitique à lamines discontinues formant des festons ou des alvéoles (Fig. 8C). Les segments de lamine micritique sont souvent de forme incurvée et orientés de manière quelconque, et composés de micrite péloïdale grumeleuse. L'espace compris entre ces segments micritiques est constitué de microsparite et de micro-péloïdes, englobant parfois des tiges de characées et des ostracodes. Des sections micritiques sub-circulaires à remplissage de microsparite et associées à des micro-craquelures de forme courbe (Fig. 8D) sont attribuables à des traces de racine.

Le **microfaciès MF3**, plus rare (rencontré dans 2 échantillons) est un grainstone à péloïdes et bioclastes micritisés alternant avec de rares lamines micritiques microbiennes (Fig. 8F). Les péloïdes sont assez fins (en général < 250 µm). Quelques grains de quartz ont été observés dans les 2 échantillons étudiés.

#### **Calcaires de Saint-Victor** (lithofaciès LF7)

Un seul microfaciès (**MF3**) a été identifié en microscopie optique dans la partie sommitale de l'Unité de Saint-Victor, mise au jour par le chantier du boulevard de la Corderie. Le **microfaciès MF3** est un grainstone à péloïdes et bioclastes micritisés à passées laminaires micritiques planes parallèles. Ce microfaciès est similaire à celui rencontré dans les 2 échantillons de grainstone à lamines micritiques (échantillons PRL13 et PRL19) du calcaire de la Corderie. Les péloïdes sont de taille très variée (entre 50 µm et 500 µm) et de forme assez quelconque (Fig. 9A). Ces péloïdes peuvent correspondre à des fragments débris de bioclastes micritisés ou bien à des fragments remaniés de croûtes cyanobactériennes. Les gastéropodes (Fig. 9A-B) sont assez fréquents ainsi que les gyrogonites de characées



**Figure 9** – Microfaciès du calcaire de Saint-Victor (MF3). **A** : Grainstone à péloïdes (Pel.) et cellules corticales de characée (Char.) ; **B** : Grainstone à péloïdes et mollusques micritisés (Mol.) et montrant une section de gastéropode (Gast.). L'espace intergranulaire et intra-squelettique est partiellement comblé de ciments de calcite sparitique (Sp.) ; **C** : Lamines micritiques (lam.) éparées au sein du grainstone MF3 ; **D** : Détail d'une lamine micritique drapant une gyrogonite (gyr.) de characée.

**Figure 9** – Microfacies of Saint-Victor limestone (MF3). **A**: Grainstone with peloids (Pel.) and cortical cells of charophytes (Char.). **B**: Grainstone with peloids and micritized molluscs (Mol.) and showing a section of gastropod (Gast.). The intergranular and intra-skeletal space is partially filled with sparry calcite cements (Sp.); **C**: Micritic laminae (lam.) scattered within the MF3 grainstone; **D**: Detail of a micritic lamina draping a characean gyrogonite (gyr.).



(Fig. 9B & D). Les observations microscopiques ont permis d'observer quelques lamines microbiennes constituées de micrite péloïdale intercalées au sein des grainstones (Fig. 9C-D).

### 4.3.2 Diagenèse et porosité

L'observation des lames minces au microscope optique en lumière polarisée permet de préciser certaines transformations diagénétiques subies par les sédiments carbonatés lacustres. En complément de ces observations, des mesures de porosité par pycnométrie à hélium (CEREGE) ont été réalisées afin d'estimer l'impact de la diagenèse sur l'évolution de l'espace poreux.

Dans les calcaires de la Corderie, l'espace macroporeux est extrêmement réduit et consiste essentiellement en des cavités intra-bioclastiques (par exemple, la cavité des gyrogonites ou des cellules corticales de characée). Les variations importantes de porosité au sein de l'unité (de 5 à 19 %, Fig. 7) sont ainsi essentiellement liées à des variations de microporosité (taille des pores < 5 µm) au sein des lamines microbiennes micritiques ou des grains micritiques (péloïdes, bioclastes micritisés) ou de mésoporosité (5 µm < taille des pores < 20 µm) intercrystalline au sein des lamines microsparitiques. Le développement d'une forte microporosité au sein de calcaires lacustres est un phénomène commun attribué à des processus néomorphiques affectant la micrite (Volery *et al.*, 2010 ; Semmani *et al.*, 2022). Cette microporosité est à l'origine du caractère crayeux des calcaires de la Corderie.

Dans les calcaires de Saint-Victor, les fortes porosités mesurées (de 18,5 à 36 %, Fig. 7) résultent à la fois du développement d'une microporosité intragranulaire (grains micritisés, péloïdes) et de la préservation de la porosité intergranulaire. Un seul échantillon (SE1) présente une occlusion partielle de l'espace intergranulaire et intra-squelettique (Fig. 9B) par des ciments de calcite sparitique.

### 4.4 Géochimie

Les rapports isotopiques  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  des carbonates de 33 échantillons de roche prélevés sur le chantier de la Corderie ont été mesurés à l'Université Friedrich-Alexander (Erlangen-Nuremberg). La poudre de carbonate a été dissoute par de l'acide phosphorique 100 % et le gaz dégagé a été analysé par un chromatographe Gasbench II connecté à un spectromètre ThermoFisher Delta V Plus. Toutes les mesures sont reportées en ‰ relativement au standard V-PDB. La répétabilité des mesures est de +/- 0,03 et +/- 0,04 ‰ pour  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  respectivement.

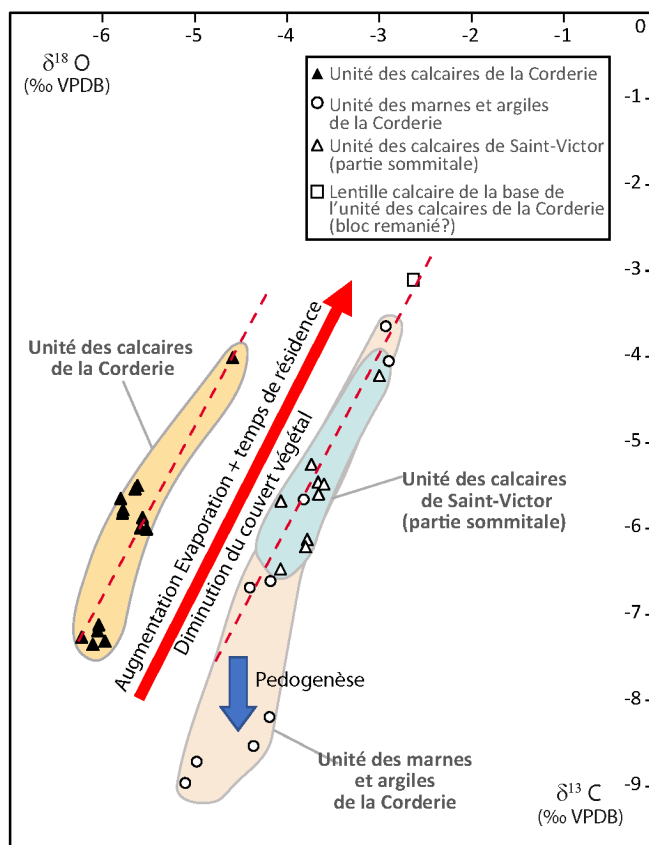


Figure 10 – Diagramme croisé  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  des carbonates de la coupe du chantier de la Corderie.

Figure 10— $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  cross-plot of carbonate samples from La Corderie quarry.

Ces mesures présentent le double intérêt de permettre une reconstitution des conditions paléohydrologiques du lac dans lequel se sont formés les sédiments carbonatés (Li et Ku, 1997), et également de fournir un paramètre de caractérisation des matériaux calcaires pouvant être discriminant pour les études de provenance (Malfilatre *et al.*, 2012). Les résultats sont présentés en Annexe.

Dans l'Unité des calcaires de la Corderie le  $\delta^{13}\text{C}$  et le  $\delta^{18}\text{O}$  varient respectivement de -4,0 à -7,3‰ et de -4,6 à -6,2‰. De plus, une tendance covariante  $\delta^{13}\text{C}$  et le  $\delta^{18}\text{O}$  est mise en évidence (Fig. 10).

Les mesures réalisées dans l'Unité des calcaires de Saint-Victor et celles de l'Unité des marnes et argiles de la Corderie s'alignent le long de la même tendance covariante avec des valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  et le  $\delta^{18}\text{O}$  variant respectivement de -3,6 à -8,9‰ et de -2,9 à -5,1‰ (Fig. 10).

L'appartenance à une même tendance covariante d'échantillons à lithologie calcaire et d'autres à lithologie argilo-marneuse plaide pour une origine essentiellement primaire de ces signatures isotopiques, puisque les interactions carbonates-fluides et les transformations diagénétiques qui en découlent (néomorphisme, cimentation...) se manifestent généralement de manière distincte dans des milieux aux propriétés réservoirs initiales drastiquement différentes. Cependant, les rares figures de pédogenèse observées dans le microfaciès MF2 du calcaire de la Corderie pourraient suggérer l'existence d'une

altération du signal originel lacustre lors de phases d'émersion précoces et de courte durée, se manifestant par une légère diminution du  $\delta^{13}\text{C}$  (Allan et Matthews, 1982). De même l'échantillon V581a, localisé sous la surface érosive majeure de la base de l'Unité des calcaires de la Corderie et correspondant à la valeur la plus négative en  $\delta^{13}\text{C}$  de la série étudiée, a vraisemblablement été affecté par des processus de pédogenèse lors d'une émersion du lac, au sommet de l'Unité des marnes et argiles de la Corderie. Les ciments sparitiques, présents en faible quantité sur de rares échantillons du calcaire de la Corderie (Fig. 9B) ont probablement affecté de manière marginale les signatures isotopiques et la structure générale du nuage de valeurs sur le diagramme croisé  $\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$ .

En dehors de ces points, les tendances covariantes identifiées suggèrent que les sédiments carbonatés lacustres oligocènes mis au jour dans le chantier de la Corderie se sont formés dans un lac hydrologiquement clos (Liu et Ku, 1997). Les valeurs les moins négatives en  $\delta^{13}\text{C}$  et le  $\delta^{18}\text{O}$  correspondant à une formation dans une eau plus évaporée et temps de résidence plus long. En revanche, les valeurs les plus positives sont indicatrices d'apports d'eau météorique plus forts, de moindre évaporation et de couvert végétal plus dense sur les berges du lac. L'échantillonnage relativement lâche réalisé dans cette étude, ainsi que le manque de cadre chronostratigraphique précis ne permettent pas de préciser la fréquence des cycles hydrologiques (bilan apport hydrique/évaporation) à l'origine des tendances covariantes identifiées. De plus, la forte pente des tendances covariantes pourrait indiquer un lac à faible rapport surface/profondeur (Talbot, 1990).

Il est important de noter que, bien que les tendances covariantes soient globalement parallèles entre les deux unités calcaires, les valeurs de  $\delta^{18}\text{O}$  sont décalées d'environ 2‰ vers des valeurs plus négatives dans les calcaires de la Corderie, comparativement aux calcaires de Saint-Victor. Ces deux tendances bien distinctes suggèrent une origine des eaux alimentant le lac et/ou un contexte climatique (température) différents pendant le dépôt des calcaires de la Corderie de ceux prévalant au cours de la sédimentation de l'ensemble *Unité des calcaires de Saint-Victor-Unité des marnes et argiles de la Corderie*. Cette observation supporte l'hypothèse d'un hiatus significatif à la base des calcaires de la Corderie. Enfin, la surface irrégulière du sommet des calcaires de Saint-Victor, indurée par des encroutements d'oxydes de fer et drapée par une couche stromatolitique (Fig. 5F) ne présente pas de diminution significative de  $\delta^{13}\text{C}$  pouvant indiquer une surface d'émersion. Cette surface pourrait plutôt représenter une surface durcie sous-aquatique (*hard-ground*) indiquant un hiatus sédimentaire et une induration précoce.

## 5. Discussion

### 5.1 Modèle de dépôt des calcaires de la Corderie et de Saint-Victor.

Les calcaires de la Corderie (lithofaciès **LF6**) sont

dominés par une association de microfaciès incluant des stromatolites planaires (MF1) et des microbialites à lamines discontinues en festons (MF2). Les stromatolites planaires des bassins tertiaires du Sud-Est de la France ont été interprétés comme se formant dans des environnements lacustres d'eau très peu profonde pouvant connaître des émerSIONS occasionnelles de faible durée (Wattine *et al.*, 2003 ; Lettéron *et al.*, 2017). Cette interprétation de bordure peu profonde de lac est soutenue par la présence récurrente de gyrogonites et de tiges de characées dans le microfaciès MF1 (Fig. 8B). La présence de gyrogonites indique une colonisation du substrat lacustre par des algues charophytes au voisinage de l'aire de formation des stromatolites et suggère des conditions d'eau douce à légèrement saumâtre. Dans les dépôts lacustres du Priabonien du bassin d'Issirac (SE France), les stromatolites planaires sont interprétées comme se formant dans les parties les plus marginales du lac tandis que les charophytes se seraient développer à des profondeurs comprises entre 0,5 m et 10 m (Lettéron *et al.*, 2017). La microfabrique microbienne identifiée dans le microfaciès MF2 (lamines discontinues en festons et alvéoles) est comparable à celle reconnue en environnement lagunaire sur les marges de la Baie des Requins en Australie (« *laminar scalloped microbialite* », Logan *et al.*, 1974 ; Jahnert et Collins, 2013) qui se forme dans un domaine soumis à des émerSIONS répétées. Cette interprétation est supportée par la présence, bien que rare, de traces de racines au sein de MF2 (Fig. 8D). L'association de microfaciès (MF1-MF2) caractérisant les calcaires de la Corderie suggère ainsi un environnement de bordure de lac soumis temporairement à des émerSIONS.

Les calcaires de la partie sommitale de l'Unité de Saint-Victor (lithofaciès **LF7**) et de deux échantillons du calcaire de la Corderie (PRL13 et PRL19) sont caractérisés par des grainstones à péloïdes et bioclastes micritisés à passées stromatolitiques (microfaciès MF3). La présence de lamines de stromatolites planaires intercalées dans les grainstones et l'abondance des oogones de charophytes (Fig. 9A&D) suggèrent, comme pour les microfaciès MF1 et MF2, un environnement lacustre peu profond. L'absence de boue carbonatée indique une certaine agitation de la tranche d'eau et l'absence de figure pédogénétique montre que ces sédiments n'ont probablement pas été émergés précocement. Le microfaciès MF3 pourrait donc traduire un dépôt dans une zone peu profonde du lac, mais non soumise à émersion, à hydrodynamisme modéré, adjacente à la ceinture marginale dominée par les stromatolites.

La série sédimentaire carbonatée du chantier de la Corderie est interrompue par un intervalle argilo-marneux (lithofaciès **LF1**, **LF2**, **LF3**) et par 2 intercalations principales de brèches à matrice calcaire (**LF5**) ou marneuse (**LF4**). Les argiles grises (**LF1**) sont dépourvues de communauté benthique préservée (absence de mollusques et de charophyte, absence de cyanobactéries), mais la matière organique y est en partie préservée. Ces argiles pourraient donc s'être déposées sur un fond lacustre peu oxygéné et à faible luminosité. Les marnes **LF2**, enrichies en carbonate et dépourvues de matière organique, pourraient représenter un environnement lacustre, oïque, mais non suffisamment éclairé pour que les prairies de charophytes ou les voiles



cyanobactériens puissent se développer. Les intervalles bréchiques à gros éléments anguleux (> 2 cm) de calcaire urgonien et à matrice carbonatée lacustre (LF4 et LF5) suggèrent des processus de transport gravitaire de courte distance (chute de blocs et coulée de débris) amenant des éléments érodés d'un relief voisin vers une aire de sédimentation sous-aquatique (Kernif *et al.*, 2022). Les éléments de calcaire urgonien proviennent probablement du démantèlement des escarpements formés par le jeu de failles normales bordant le massif de Notre-Dame-de-la-Garde transgressé par les dépôts lacustres de l'Oligocène.

Les calcaires lacustres d'âge oligocène du bassin de Marseille sont connus pour avoir été utilisés dès l'Antiquité comme matériaux de construction ou pour la réalisation de sculptures et de sarcophages. Avant l'urbanisation intensive du bassin, ils affleuraient largement sur les bordures du massif de Notre-Dame-de-la-Garde, à l'Estaque et plus à l'Est, sur les contreforts du massif d'Allauch (Depéret, 1889 ; Nury, 1988 ; Nury *et al.*, 2016 ; Villeneuve *et al.*, 2018). Ces calcaires ont été désignés par les archéologues sous l'appellation de « calcaire de Saint-Victor » (Tréziny, 2009 ; Mellinand *et al.*, 2019), en référence aux calcaires lacustres

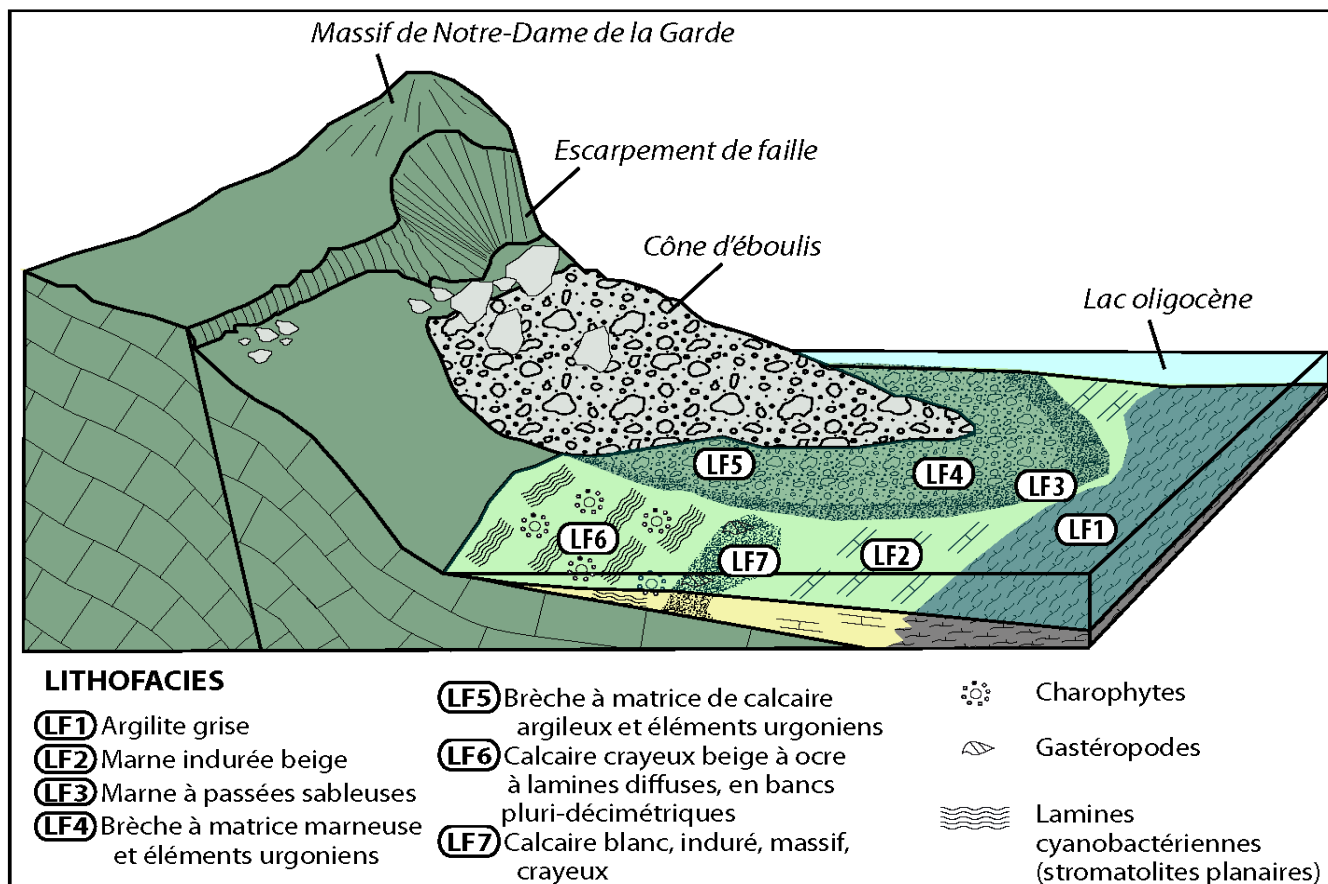


Figure 11 – Distribution paléoenvironnementale des lithofacies (modèle de dépôt) de la série oligocène du chantier de la Corderie.

Figure 11 – Palaeoenvironmental distribution of lithofacies (depositional model) of the Oligocene series from La Corderie.

L'ensemble des observations et interprétations sédimentologiques réalisées sur la coupe de la Corderie permet ainsi de reconstituer un modèle de dépôt commun aux trois unités sédimentaires traversées (Fig. 11). Une sédimentation autochtone à dominante carbonatée (LF6 et LF7) prévaut sur les bordures du lac oligocène. Des cônes d'éboulis se forment au pied d'escarpements de faille bordant le massif de Notre-Dame-de-la-Garde et atteignent les berges du lac, induisant la formation de brèches à matrice calcaire (LF5), sur la bordure du lac, et de brèche à matrice marneuse (LF4) puis de marnes sableuses ou micro-conglomératiques (LF3) en position plus distale ou externe du lobe de brèches. Les argilites (LF1) et marnes (LF2) représentent une sédimentation sur un fond lacustre situé en position distale par rapport aux bordures carbonatées et non-soumis aux apports terrigènes gravitaires.

## 5.2 Implications pour les études de provenance de matériaux lithiques archéologiques

affleurant dans la crypte de l'abbaye de Saint-Victor. La basilique repose en effet sur une ancienne carrière grecque, réutilisée en nécropole sur laquelle s'est installée ensuite une chapelle funéraire (Tréziny, 2009). Une utilisation très précoce, dès la période grecque archaïque, des calcaires oligocènes pour la sculpture a été révélée par la découverte des stèles (*naïskoi*) de la rue Négrel, datées de la 2<sup>e</sup> moitié du VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C. (Rohaut et Bromblet, 2019). Une partie importante du matériel lapidaire (sarcophages, orthostates, dalles de couvertures, parements, bassin) du site de l'Alcazar (cours Belsunce), également de la période grecque archaïque puis classique, est constituée de « calcaire Saint-Victor » (Vacca-Goutoulli, 2020). On le trouve également dans le soubassement des remparts du IV<sup>e</sup> siècle avant J.-C. du site de la Bourse (Tréziny, 2009). Enfin, un chapiteau ionique archaïque en « calcaire de Saint-Victor », découvert en réemploi dans un quai du port au pied de la butte Saint-Laurent, représente le seul vestige d'un grand temple de la période archaïque

(VI<sup>e</sup>-V<sup>e</sup> siècle avant J.-C.) dont la localisation reste inconnue (Tréziny, 2009). La pierre restera encore assez fréquemment utilisée jusqu'à l'époque romaine impériale, mais son usage deviendra plus sporadique au cours du Moyen-Age.

La présente étude montre que les calcaires exploités dès la période grecque archaïque (VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C.) sur le site de la Corderie appartiennent à une unité stratigraphiquement sus-jacente à l'épaisse unité calcaire sur laquelle repose la basilique de Saint-Victor et discordante sur celle-ci. L'analyse géochimique a de plus démontré des conditions paléo-hydrologiques (origine et/ou température des eaux) distinctes lors du dépôt des deux unités calcaires. L'analyse sédimentologique a montré en revanche que les faciès composant les deux unités pouvaient s'intégrer dans un même modèle général de dépôt correspondant à une bordure de lac carbonaté assez peu profond soumis à des apports d'éléments crétacés provenant du massif de Notre-Dame-de-la-Garde et amenés dans le lac par des processus de transport gravitaires (coulées de débris, chutes de blocs). Ainsi, même si les microfaciès carbonatés dominants des deux unités se distinguent aisément sur le site de la Corderie (MF1-MF2 pour les calcaires de la Corderie et MF3 pour les calcaires de Saint-Victor), des similitudes pourraient apparaître pour d'autres sites d'extraction. Même s'ils n'ont pas été rencontrés sur le site de la Corderie, les microfaciès microbiens MF1 et MF2 pourraient localement être présents, voire dominants, au sein des calcaires de Saint-Victor latéralement et/ou dans des horizons sous-jacents. Les résultats de cette étude tendent cependant à montrer que les signatures isotopiques du carbone et de l'oxygène des carbonates pourraient permettre de discriminer les deux unités. La gamme extrêmement restreinte de microfaciès carbonatés, ainsi que la signature isotopique des calcaires de la carrière antique de la Corderie constituent ainsi des marqueurs robustes d'identification de la provenance de matériaux lapidaires archéologiques. Le microfaciès des *naïskoi* de la rue Négrel (Rohaut et Bromblet, 2019) caractérisé par une microstructure péloïdale grumeleuse à lamines discontinues en festons, est tout à fait similaire au microfaciès MF2 de la carrière de la Corderie. Afin de trancher sur la provenance exacte de ces matériaux, une étude sédimentologique et géochimique détaillée des roches de la crypte de Saint-Victor ou des futurs chantiers d'urbanisme sur la rive sud du Vieux-Port devra être conduite afin de permettre de mieux évaluer la diversité faciologique et des signatures isotopiques des calcaires oligocènes exploités aux abords immédiats de la cité antique.

## 6. Conclusions

Les affleurements de calcaire oligocène mis au jour par les travaux réalisés en 2017 et 2018 à la suite d'un projet de construction, constituent une coupe de référence permettant de caractériser les micro- et macrofaciès carbonatés ainsi que les signatures géochimiques (isotopes du carbone et de l'oxygène) de la carrière antique de la Corderie dont les formations sédimentaires sont attribuées à l'Oligocène. La fouille du boulevard de la Corderie a offert

l'occasion, pour l'instant unique, d'étudier de façon scientifique et extensive un des gisements antiques de calcaire oligocène du bassin de Marseille. Cette carrière de calcaire, en raison de son ancienneté, ne trouve que très peu d'éléments de comparaison dans le monde grec, où les exploitations de marbre ont généralement été l'objet de toutes les attentions. Cette étude a permis d'établir que le calcaire exploité dans l'Antiquité à la Corderie appartient à une unité lithostratigraphique distincte du calcaire de l'abbaye de Saint-Victor et sus-jacente à celle-ci. Cependant, les deux unités carbonatées identifiées au Sud du Lacydon (« unité des calcaires de la Corderie » et « unité des calcaires de Saint-Victor ») se sont formées dans des systèmes sédimentaires lacustres marginaux d'eau douce comparables et des similitudes de faciès de dépôt peuvent ainsi exister. Seule une étude approfondie et exhaustive des micro- et macrofabriques carbonatées des différents sites d'extraction antiques mis en évidence dans les calcaires oligocènes au Sud du Lacydon et plus largement dans le bassin de Marseille pourrait permettre à terme d'établir des critères robustes d'identification des provenances des pierres de construction et mobiliers lapidaires. Les signatures isotopiques des calcaires de la Corderie et de la partie sommitale des calcaires de Saint-Victor montrent, par l'information paléohydrologique qu'elles portent, qu'elles pourraient permettre de discriminer les deux unités lithostratigraphiques.

Enfin, cette étude démontre le rôle primordial des géosciences en archéologie, notamment pour les problématiques de provenance, mais également la nécessité pour les géologues de réaliser des bases de données pétrographiques et géochimiques régionales détaillées des matériaux lithiques carbonatés utiles pour l'Homme, qui soient suffisamment détaillées pour reproduire la diversité des faciès de dépôt, des caractères diagénétiques et des signatures géochimiques. En retour, une telle approche collaborative conduit le géologue à se pencher sur des données locales en milieu urbain, par nature peu favorable à l'observation directe, et à renforcer ainsi nos connaissances de la géologie régionale.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allan J.R. et Matthews R.K.** (1982) - Isotope signatures associated with meteoric diagenesis. *Sedimentology*, 29, pp. 797–817.
- Depéret C.** (1889) - Notes stratigraphiques sur le bassin tertiaire de Marseille. *Bull. Service Carte Géol. France*, 5, 19 p.
- Gaudon P., Nury D., Tréziny H.** (2009) - Les calcaires de Saint-Victor et leur utilisation dans Marseille antique et médiévale. In : M. Fixot et J.-P. Pelletier Eds., Saint-Victor de Marseille, étude archéologique et monumentale, Bibliothèque de l'Antiquité tardive, 12, Turnhout, Brepols, pp. 9-16.
- Guieu G.** (1968) - Etude tectonique de la région de Marseille. Thèse Etat Sciences, Université d'Aix-Marseille, Marseille, 603 p.
- Jahnert R. J. et Collins L.B.** (2013) - Controls on microbial activity and tidal flat evolution in Shark Bay, Western Australia. *Sedimentology*, 60, 4, pp. 1071-1099.
- Kernif T., Nalpas T., Gautier P., Bourquin S., Poujol M. et al.** (2022) - Formation and preservation of colluvial sedimentary breccias during early extension: processes and facies organization. *C. R. Géoscience*, Acad. Sc. Paris, 354 (G2), pp. 205-231.
- Laville P., Monteau R., Villeneuve M. et al.** (2018) - Carte géologique Aubagne-Marseille à 1/50 000 (1044), 3<sup>ème</sup> éd., BRGM, Orléans.
- Lettéron A., Fournier F., Hamon Y., Villier L., Margerel J.-P., Bouche A., Feist M., Joseph P.** (2017) - Multi-proxy paleoenvironmental reconstruction of saline lake carbonates: Paleoclimatic and paleogeographic implications (Priabonian-Rupelian, Issirac Basin, SE France). *Sed. Geol.*, 358, pp. 97–120.
- Liu H.C. et Ku T.-L.** (1997) -  $d^{13}C$ - $d^{18}O$  covariance as a paleohydrological indicator for closed-basin lakes. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 133, pp. 69-80.
- Logan B.W., Read J.F., Hagan G.M., Hoffman P., Brown R.G., Woods P.J., Gebelein C.D.** (1974) - Evolution and diagenesis of quaternary carbonate sequences, Shark Bay, Western Australia. *AAPG Mem.*, 22, 358 p.
- Malfilatre C., Boulvais P., Dabard M.-P., Bourquin S., Hallot E., Pallix D., Gapais D.** (2012) - Petrographical and geochemical characterization of Comblanchien limestone (Bourgogne, France): A fingerprint of the building stone provenance. *C. R. Géoscience*, Acad. Sc. Paris, 344, 1, pp. 14-24.
- Mellinand P.** (2019) - Boulevard de la Corderie à Marseille, rapport final d'opération de fouille archéologique. Inrap, Nîmes, 2 vol., 413 et 177 p.
- Mellinand P., Frangin E., Paone F., Saget-Basseuil E., Scherrer N. et al.** (2020) - La carrière de calcaire du boulevard de la Corderie à Marseille. In : H. Aurigny et V. Gaggadis-Robin Eds., Nouvelles recherches sur la sculpture en calcaire en Méditerranée, Centre Camille Jullian, pp. 43-52.
- Nury D.** (1988) - L'Oligocène de Provence méridionale. Documents du BRGM, 163, 411 p.
- Nury D., Villeneuve M., Arlhac P., Linnemann U., Gärtner A., Châteauneuf J.J., Riveline J., Hippolyte J.-C.** (2016) - New insights on the Marseille-Aubagne Oligocène basins (France). *Boletín Geológico y Minero*, 127 (2/3), pp. 483-498.
- Pédini C.** (2013) - Les carrières de la Couronne de l'Antiquité à l'époque contemporaine. Errance, Centre Camille Jullian, 316 p.
- Richier A.** (2016) - Marseille, boulevard de la Corderie : rapport final d'opération de diagnostic archéologique, Inrap, Nîmes.
- Rohaut L. et Bromblet P.** (2020) - Sculpter le calcaire à Marseille dans l'Antiquité : Les naïskoi de la rue Négrel et la " stèle d'Attis ". In : H. Aurigny et V. Gaggadis-Robin Eds., Nouvelles recherches sur la sculpture en calcaire en Méditerranée, Centre Camille Jullian, p. 53-65.
- Semmani N., Fournier F., Léonide P., Feist M., Boularand S., Borgomano J.** (2022) - Transgressive-regressive cycles in saline lake margin oolites: paleogeographic implications (Priabonian, Vistrenque basin, SE France). *BSGF - Earth Sciences Bulletin*, 2022, 193, 8.
- Talbot M.R.** (1990) - A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. *Chem. Geol.*, 80, pp. 261–279.
- Tréziny H.** (2009) - La pierre de construction à Marseille de l'Antiquité aux Temps modernes. In : Ph. Jockey Ed., Λευκος λίθος : marbres et autres roches de la Méditerranée antique, études interdisciplinaires, actes du VIII<sup>e</sup> colloque international de l'Association for the Study of Marble and Other Stones used in Antiquity (ASMOSIA), Aix-en-Provence, 12-18 juin 2006, Collection l'Atelier méditerranéen, Paris, pp. 203-212.

**Vacca-Goutoulli M.** (2020) - L'approvisionnement des matériaux de la sculpture en calcaire à Marseille dans l'Antiquité : l'origine et la pertinence de ce choix à travers l'étude des caractéristiques physiques des différents calcaires régionaux. Leur interprétation dans le rendu plastique de l'œuvre. *In* : H. Aurigny et V. Gaggadis-Robin Eds., Nouvelles recherches sur la sculpture en calcaire en Méditerranée, Centre Camille Jullian, pp. 15-42.

**Villeneuve M., Nury D., Arlhac P., Gärtner A., Linnemann U., Pantaine L.** (2016) - Evidence for an intra-Oligocene compressive event in the Marseille-Aubagne basins (SE France). *Boletín Geológico y Minero*, 127 (2/3): 499-512

**Villeneuve M. et al.** (29 co-auteurs) (2018) - Mémoire explicatif de la carte géologique Marseille-Aubagne au 1/50,000 (feuille 1044), 3<sup>ème</sup> Edition. BRGM, Service Géologique National, 315 p. *Géol. France*, 1, 3.

**Villeneuve M. et al.** (2019) - Notice explicative de la carte géologique Aubagne-Marseille à 1/50 000 (1044), 3<sup>ème</sup> éd., BRGM, Orléans, 140 p.

**Volery C., Davaud E., Foubert A., Caline B.** (2010) - Lacustrine microporous micrites of the Madrid Basin (Late Miocene, Spain) as analogues for shallow-marine carbonates of the Mishrif reservoir Formation (Cenomanian to Early Turonian, Middle East). *Facies*, 56, pp. 385–397.

**Wattine A., Vennin E., De Wever P.** (2003) - Evolution d'un environnement carbonaté lacustre à stromatolithes, par l'approche paléo-écologique (Carrière de Montaigu-le-Blin, bassin de Limagne, Allier, France). *Bull. Soc. Géol. France*, 174, (3), pp. 243-260.



## ANNEXE

	Échantillon	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ VPDB	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ VPDB
Unité des calcaires de Saint-Victor	Sx 4	-5,46	-3,66
	Sx 3	-6,47	-4,07
	Sx 2	-6,12	-3,78
	Sx 1	-5,68	-4,07
	SE 1	-5,48	-3,60
	5	-5,60	-3,66
	13	-6,21	-3,80
	SE 2	-4,22	-3,00
	X 1	-5,25	-3,74
Unité des calcaires des marnes et argiles de la Corderie	6	-5,66	-3,82
	4	-6,68	-4,40
	7	-8,53	-4,36
	3	-6,61	-4,18
	2	-8,19	-4,19
	V 582 f 2	-3,65	-2,93
	V 582 2	-4,05	-2,90
	V 581 a2	-8,95	-5,10
	8	-8,71	-4,98
Unité des calcaires de la Corderie	1	-4,01	-4,59
	9	-3,10	-2,63
	V 580a	-5,50	-5,62
	10	-5,54	-5,65
	V 580 b 3	-5,82	-5,78
	V 580b 1	-5,65	-5,80
	V 577 c F	-6,00	-5,59
	V 577 c	-5,78	-5,78
	V 577 d	-7,26	-6,23
	V 580 c *	-7,19	-6,05
	V 580 c 2	-7,12	-6,04
	V 580 c 2 F	-7,31	-5,97
	V 580 c *2 F	-7,35	-6,11
	V 580d*	-5,87	-5,57
	V 580d	-6,00	-5,52

**Annexe:** Analyses isotopiques (carbone et oxygène) des carbonates du chantier du boulevard de la Corderie