



HAL
open science

Vade-mecum pour la caractérisation pétroarchéologique des silicites

Paul Fernandes, Vincent Delvigne, Michel Piboule, Médard Thiry, Christophe Tufféry, Jean-Paul Raynal, Blandine Nouvel, Stéphane Renault

► **To cite this version:**

Paul Fernandes, Vincent Delvigne, Michel Piboule, Médard Thiry, Christophe Tufféry, et al.. Vade-mecum pour la caractérisation pétroarchéologique des silicites. *Préhistoires Méditerranéennes*, 12, 122 p., 2024, 10.4000/12zm6 . hal-04847589

HAL Id: hal-04847589

<https://hal.science/hal-04847589v1>

Submitted on 8 Jan 2025

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.

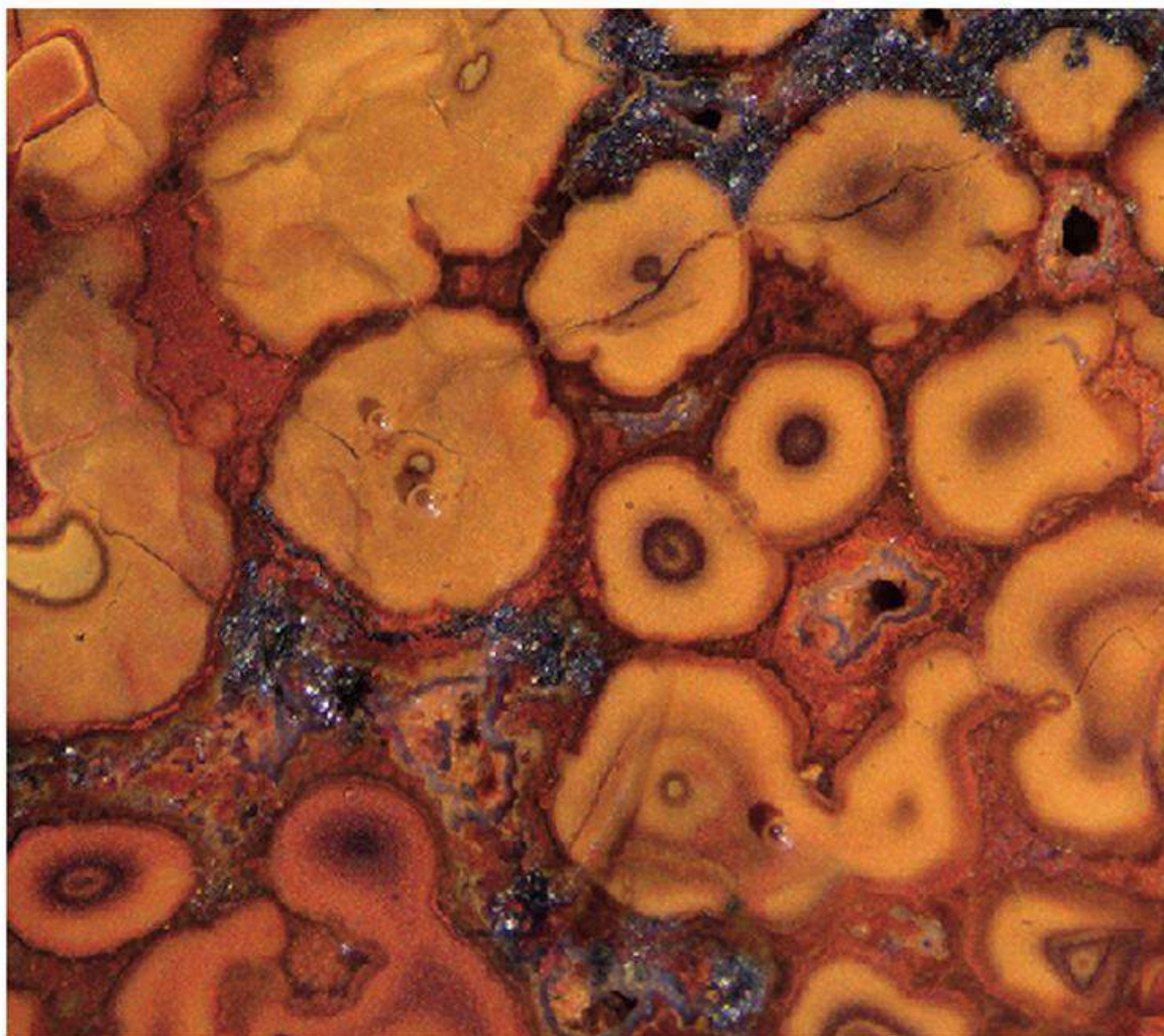


Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Vade-mecum pour la caractérisation pétroarchéologique des silicites

De l'inventaire sur le terrain à l'analyse naturaliste en laboratoire

Paul Fernandes, Vincent Delvigne, Michel Piboule,
Médard Thiry, Christophe Tufféry, Jean-Paul Raynal,
Blandine Nouvel, Stéphane Renault



APPAM Éditions
Aix-en-Provence
2024
12

12 | 2024

Vade-mecum pour la caractérisation pétoarchéologique des silicites

De l'inventaire sur le terrain à l'analyse naturaliste en laboratoire

Vade-mecum for the petroarchaeological characterisation of silicites. From field inventory to naturalistic laboratory analysis



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/pm/4253>

DOI : 10.4000/12zm6

ISSN : 2105-2565

Éditeur

Association pour la promotion de la préhistoire et de l'anthropologie méditerranéennes

Édition imprimée

Date de publication : 6 décembre 2024

ISSN : 2118-8211

Référence électronique

Préhistoires Méditerranéennes, 12 | 2024, « Vade-mecum pour la caractérisation pétoarchéologique des silicites » [En ligne], mis en ligne le 02 octobre 2024, consulté le 22 décembre 2024. URL : <https://journals.openedition.org/pm/4253> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/12zm6>



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

INTRODUCTION DE LA PUBLICATION

Initié depuis une vingtaine d'années par deux d'entre nous dans le Massif central français, le travail d'harmonisation sémantique pour la caractérisation des matériaux siliceux utilisés lors des temps préhistoriques a pour vocation de jeter les bases d'un vocabulaire commun à tous les acteurs de la pétroarchéologie. Il est à l'origine des démarches lancées depuis plusieurs années dans le cadre de projet en cours (notamment les atlas départementaux) qui aujourd'hui rassemblent plusieurs dizaines de chercheurs autour des notions d'inventaire et d'évolution des silicites. Cette approche collective de l'étude des roches - nécessairement fondée sur un vocabulaire commun - s'appuie sur un échantillonnage raisonné des différentes formations à silicites et une caractérisation qui se veut adaptée au matériau en question.

Ce vade-mecum regroupe une sélection de termes et expressions appartenant à différents champs disciplinaires, particulièrement ceux qui étudient les matériaux, leur transformation et leur dégradation, mais également ceux qui permettent de les replacer, dans leurs contextes géologiques initiaux. Outre la diffusion des concepts mis en place ces dernières années et l'adoption d'un vocabulaire unifié nécessaire à la construction disciplinaire, ce document a vocation à être utilisé comme support aux formations initiales en pétroarchéologie.

Préhistoires méditerranéennes - *Mediterranean Prehistories*

Revue à comité de lecture international, librement accessible en ligne : <https://journals.openedition.org/pm/>
International peer reviewed journal available in open access on line: <https://journals.openedition.org/pm/>

Éditeur - *Publisher*

APPAM Éditions Association (loi 1901) pour la Promotion de la Préhistoire et de l'Anthropologie
Méditerranéenne MMSH - 5 rue du Château de l'Horloge, CS 90412 - 13097 Aix-en-Provence

Comité de rédaction de la revue - *Journal Board* (<https://journals.openedition.org/pm/415>)

RÉDACTRICE EN CHEF - *Editor in chief*

Yaramila Tchérémissinoff Inrap/UMR 7269 LAMPEA, Nîmes, France

MEMBRES EXPERTS - *Experts members*

Armelle Gardeisen CNRS, UMR 5140 ASM, Montpellier, France
Guillaume Porraz CNRS, UMR 7269 LAMPEA, Aix-en-Provence, France
Guillaume Robin University of Edinburgh/UMR 5608 TRACES, Édinbourg, Scotland
Hélène Salomon Université de Savoie Mont Blanc/UMR 5204 Edytem, Chambéry, France
Samuel van Willigen InSitu-Archéologie SA/UMR 7269 LAMPEA, Sion, Suisse

RESPONSABLE ÉDITORIAL - *Editorial manager*

Stéphane Renault CNRS/UMR 7269 LAMPEA, Aix-en-Provence, France

BIBLIOGRAPHIE & DIFFUSION - *Bibliography processing, Diffusion & Exchanges*

Dominique Commelin (retraîtée) CNRS/UMR 7269 LAMPEA, Aix-en-Provence, France

Numéro thématique - *Thematic issue* 12|2024

DIRECTION SCIENTIFIQUE - *Scientific directory*

Paul Fernandes Paleotime, Villars-de-Lans, France

COORDINATEUR SCIENTIFIQUE - *Scientific Coordinator*

Stéphane Renault CNRS/UMR 7269 LAMPEA, Aix-en-Provence, France

COMITÉ ÉDITORIAL - *Editorial board*

Didier Binder CNRS/UMR 7264 CEPAM, Nice, France
Guillaume Porraz CNRS/UMR 7269 LAMPEA, Aix-en-Provence, France

Maquette, mise en page et encodage XML-TEI - *Design, layout and XML-TEI encoding*

Martin Dulong Prestataire indépendant, Paris, France
Stéphane Renault CNRS/UMR 7269 LAMPEA, Aix-en-Provence, France

Couverture - Structure orbiculaire de silicite. Photo : Vincent Delvigne CNRS
Cover - *Orbicular structure of silicite. Photo: Vincent Delvigne CNRS*

Toute correspondance est à adresser à / *All correspondence should be addressed to* : Stéphane Renault, Secrétariat de Préhistoires méditerranéennes - MMSH / LAMPEA, 5 rue du Château de l'Horloge, CS 90412 - 13097 Aix-en-Provence - Tél. : 04 42 52 92 91
e-mail : stephane.renault@univ-amu.fr

© APPAM Éditions, Aix-en-Provence, 2024

ISSN - 2118-8211

ISBN - 978-2-9581289-6-8

Vade-mecum pour la caractérisation pétroarchéologique des silicites

De l'inventaire sur le terrain à l'analyse naturaliste en laboratoire

Paul Fernandes, Vincent Delvigne, Michel Piboule,
Médard Thiry, Christophe Tufféry, Jean-Paul Raynal,
Blandine Nouvel, Stéphane Renault



AFFILIATION DES AUTEURS

Vincent DELVIGNE

CNRS, Université de Nanterre, UMR TEMPS,
Maison des sciences de l'homme Mondes, 21 allée
de l'université, 92023 Nanterre cedex, France.
Chercheur associé Service de Préhistoire,
Université de Liège, place du XX août,
4000 Liège, Belgique.
vincent.delvigne@cnrs.fr

Paul FERNANDES

SARL Paléotime, 6173 rue Jean Séraphin Achard
Picard, 38250 Villard-de-Lans, France |
Chercheur associé Université de Nanterre,
UMR TEMPS, Maison des sciences de l'homme
Mondes, 21 allée de l'université, 92023 Nanterre
cedex, France.
paul.fernandes@paleotime.fr

Blandine NOUVEL

CNRS, Aix Marseille Université, UMR 7299 Centre
Camille Jullian, Maison Méditerranéenne des
Sciences de l'Homme, 5, rue du Château de
l'Horloge, 13097 Aix-en-Provence cedex 2.
blandine.nouvel@univ-amu.fr

Michel PIBOULE

Sans rattachement
piboulemichel@gmail.com

Jean-Paul RAYNAL

CNRS, Université Bordeaux, UMR PACEA,
Bâtiment B 18, allée Geoffroy Saint Hilaire
CS50023, 33615 Pessac, France.
jpraynal@wanadoo.fr

Médard THIRY

MINES Paris - PSL, Centre de Géosciences, 35 rue
St Honoré 77305 Fontainebleau cedex, France.
medard.thiry@free.fr

Christophe TUFFÉRY

Ingénieur d'étude, ministère de la Culture.
Chercheur associé, Université de Nanterre,
UMR TEMPS, Maison des sciences de l'homme
Mondes, 21 allée de l'université, 92023 Nanterre
cedex, France.
christophe.tuffery@culture.gouv.fr

Stéphane RENAULT

CNRS, Aix Marseille Université, UMR 7269
LAMPEA, Maison Méditerranéenne des Sciences
de l'Homme, 5, rue du Château de l'Horloge,
13097 Aix-en-Provence cedex 2.
stephane.renault@univ-amu.fr

SOMMAIRE

9	Introduction
11	Historique
13	Un vade-mecum pour la fiche de collecte sur le terrain et les trois fiches de caractérisation dynamique : pétrographie, gîtologie et taphonomie
17	Du terrain à la lithothèque - Grille 0 <i>Valeurs et champs pour la fiche de collecte sur le terrain ou le récolement de lithothèques</i>
23	Les caractéristiques génétiques - Grille 1 <i>Valeurs et champs du tableau de données pétrographiques</i>
77	Les caractéristiques gîtologiques - Grille 2 <i>Valeurs et champs du tableau de données d'altérologie</i>
95	Les caractéristiques archéologiques - Grille 3 <i>Valeurs et champs du tableau de données taphonomiques</i>
101	Index
109	Remerciements
111	Sources et bibliographie

RÉSUMÉ

Initié depuis une vingtaine d'années par deux d'entre nous dans le Massif central français, le travail d'harmonisation sémantique pour la caractérisation des matériaux siliceux utilisés lors des temps préhistoriques a pour vocation de jeter les bases d'un vocabulaire commun à tous les acteurs de la pétroarchéologie. Il est à l'origine des démarches lancées depuis plusieurs années dans le cadre de projets en cours qui aujourd'hui rassemblent plusieurs dizaines de chercheurs autour des notions d'inventaire et d'évolution des silicites. Cette approche collective de l'étude des roches – nécessairement fondée sur un vocabulaire commun – s'appuie sur un échantillonnage raisonné des différentes formations à silicites et une caractérisation qui se veut adaptée au matériau en question.

Riche de plus de 360 définitions, ce vade-mecum est divisé en plusieurs parties qui recouvrent les différents aspects de l'analyse pétrographique des silicites. Il est organisé sous forme de grilles de lecture, chacune d'elles comportant un certain nombre de champs descripteurs eux-mêmes associés à un ensemble de valeurs. Ce sont ces valeurs qui sont ici définies. La grille 0 « Terrain » contient 52 descripteurs qui permettent de renseigner les conditions de collecte, ainsi que le contexte géologique et géographique dans lequel l'échantillon a été prélevé. La grille 1 « Pétrographie » contient 44 descripteurs ayant trait aux principaux critères descriptifs des microfaciès, à l'environnement de formation et à l'âge de la silicite. La grille 2 « Gîtologie » permet de déchiffrer les types d'actions physiques et les processus chimiques portés par les silicites. Ces phénomènes, contrôlés entre autres par le positionnement des surfaces – c'est-à-dire la polarité gîtologique – se chevauchent, formant un ordre qui permet de comprendre la séquence des transformations prédépositionnelles, elles-mêmes caractéristiques d'un type de formation. Enfin, la grille 3 « Taphonomie » est composée de 38 descripteurs informant sur le type et l'intensité des processus post-dépositionnels. Ces éléments donnent des indications sur les processus édaphiques qui se sont produits depuis l'abandon de l'objet par l'homme.

Ce vade-mecum regroupe une sélection de termes et expressions appartenant à différents champs disciplinaires, particulièrement ceux qui étudient les matériaux, leur transformation et leur dégradation, mais également ceux qui permettent de les replacer dans leurs contextes géologiques initiaux. Outre la diffusion des concepts mis en place ces dernières années et l'adoption d'un vocabulaire unifié nécessaire à la construction disciplinaire, ce document a vocation à être utilisé comme support aux formations initiales en pétroarchéologie.

Mots-clés : pétrographie, pétroarchéologie, silicites, altération, érosion, lexique

ABSTRACT

Started about twenty years ago by two of us in the French Massif Central, the semantic harmonization work for the characterization of siliceous materials used during prehistoric times aims to lay the foundations for a common vocabulary for all actors in petroarchaeology. It underpins initiatives launched over several years as part of ongoing projects which now bring together dozens of researchers around the concepts of inventory and evolution of silicites. This collective approach – necessarily based on a common vocabulary – relies on reasoned sampling of different silicite formations and a characterization adapted to the studied material.

Enriched by more than 360 definitions, this handbook is divided into several parts that cover the different aspects of petrological analysis of silicites. It is organized in the form of reading grids, each containing a number of descriptive fields themselves associated with a set of values. It is these values that are defined here. Grid 0 "Terrain" contains 52 descriptors that provide information on collection conditions, as well as the geological and geographical context in which the sample was collected. Grid 1 "Genetic" contains 44 descriptors related to the main criteria for defining microfacies, the formation environment, and the age of the silicite. Grid 2 "Géologie" deciphers the types of physical actions and chemical processes carried by the silicites. These phenomena, controlled among other things by the positioning of surfaces – that is, the geological polarity – overlap, forming an order that allows understanding the sequence of pre-depositional transformations, themselves characteristic of a type of formation. Finally, Grid 3 "Taphonomy" is composed of 38 descriptors informing about the type and intensity of post-depositional processes. These elements provide indications about the edaphic processes that have occurred since the object was abandoned by humans.

This handbook groups a selection of terms and expressions from different disciplinary fields, particularly those studying materials, their transformation, and degradation, but also those that allow them to be placed in their initial geological contexts. In addition to disseminating the concepts established in recent years and establishing a common vocabulary necessary for disciplinary construction, this document is intended to be used as support for initial training in petroarchaeology.

Keywords: *petrography, petroarchaeology, siliceous rock, erosion, lexicon*

Introduction

De nombreux acteurs s'intéressent à la détermination de la provenance des matériaux lithiques retrouvés dans les sites préhistoriques et s'impliquent de plus en plus dans l'inventaire, la description, la caractérisation ou la valorisation des échantillons présents dans les lithothèques régionales. Ces acteurs sont issus d'organismes publics, tels que des établissements de recherche à caractère administratif ou d'enseignement, de sociétés privées d'archéologie préventive, d'associations, ou même parfois nous rejoignent à titre individuel.

Pour tous, de nombreuses questions restent sans réponse faute de disposer d'une grille de lecture partagée, permettant d'unifier/harmoniser les démarches et l'exposé des résultats. C'est pour combler cette lacune que la rédaction du présent vade-mecum a été entreprise en parallèle avec l'inventaire national des formations à silicites¹ dans le cadre des Programmes de recherches (PCR) dédiés et du groupement de recherche GDR 2059 CNRS SILEX. Ce document n'est pas un atlas, ni un manuel, ni un dictionnaire, c'est un guide méthodologique qui regroupe une sélection de termes et expressions utilisés pour remplir une grille d'inventaire pour le terrain et trois autres grilles de caractérisation pour les échantillons géologiques des lithothèques et les objets archéologiques.

Les termes que définit et commente ce vade-mecum, ainsi que les significations auxquelles il confère un ordre, dépassent les langages imposés par les disciplines dont ils sont issus, nécessitant, bien souvent, une adaptation aux matériaux étudiés (*i.e.* les silicites). C'est la diversité des connaissances mobilisées (en géologie, minéralogie, physique et chimie des matériaux, paléontologie, tribologie, archéologie, tracéologie, etc.) impliquée par la notion de chaîne évolutive qui nous a encouragés dans l'idée d'établir un lexique transdisciplinaire et simplifié. Simplifié certes, il n'en demeure pas moins un outil efficace et adapté à la description et la compréhension des silicites et de leur évolution.

Les compétences nécessaires à la constitution d'un tel ouvrage ont été acquises et développés au cours des vingt dernières années ; un travail lexicographique au fil du temps, repris lors de nombreuses réunions et formations, le tout conforté par le soutien de plusieurs chercheurs qui ont permis de franchir les nombreuses étapes vers la rigueur indispensable à un tel projet. Un réseau informel s'est ainsi mis en place, nous permettant de bénéficier de renseignements auxquels nous n'aurions pas eu accès individuellement. La collecte des définitions s'est faite au travers de l'avancement de nos recherches, d'abord en France dans le Massif central, puis dans les bassins sédimentaires qui l'environnent mais également en différents points du globe : Maroc, Australie, Antilles, Chili, Bulgarie, Israël, Allemagne, Italie, Espagne, etc., toujours dans un souci d'ouverture pluridisciplinaire sans cesse renouvelé. L'accès aux documents primaires (dictionnaires, lexiques, glossaires,

¹ Le terme de silicite désigne l'ensemble des roches ayant subi une silicification d'origine chimique, biochimique ou diagénétique (silex, *chert*, silcrète et silice hydrothermale). Il permet de s'affranchir du terme silex (ou *flint*), dont le sens est sujet à controverse et à des incompréhensions selon qu'il est employé par les géologues, les pétrographes, les sédimentologues ou les archéologues. Nous employons donc le terme de silex uniquement pour désigner les roches ayant subi une diagenèse initiale suivie d'une épigénèse siliceuse et portant un cortex. Voir définition complète p. 66.

livres, articles, thésaurus) en vue de leur dépouillement systématique a été rendu possible par la constitution, par chacun des auteurs, d'archives spécialisées ; les définitions proviennent principalement des sources suivantes : (Cuvillier 1956, Plaisance & Cailleux 1958, Duchaufour 1983, David 1984, Bates & Jackson 1987, Miskovsky 1987, Leroi-Gourhan 1988, Slansky 1992, Salvador 1994, Moureau & Brace 2000, Campy & Macaire 2003, Michel *et al.* 2004, Dewolf & Bourrié 2008, Mathieu & Lozet 2011, Foucault *et al.* 2020). Le choix des termes est principalement issu des grands travaux terminologiques du Bureau de recherches géologiques minières (BRGM), du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et de l'institut français du pétrole (l'IFP). C'est à partir de leurs efforts de normalisation du vocabulaire que nous avons structuré cet ouvrage. Les termes ont ainsi été sélectionnés sur la base de leurs occurrences et de leur pertinence aux problématiques pétroarchéologiques dans les ouvrages de référence et les articles scientifiques écrits et publiés en langue française ou anglaise. Ils appartiennent à différentes disciplines, particulièrement celles qui étudient les roches, leur transformation et leur dégradation, mais également celles qui permettent de les replacer dans leurs contextes géologiques et paléoenvironnementaux successifs.

Ce vade-mecum est avant tout destiné aux étudiants et aux chercheurs en sciences humaines et/ou naturelles. En complément de différents articles de synthèse ayant trait aux mécanismes d'évolution des silicites (Fernandes & Raynal 2006, Fernandes *et al.* 2007, Thiry *et al.* 2014, Delvigne *et al.* 2020), il a pour objectif de favoriser la reproductibilité des caractérisations des silicites, qu'il s'agisse d'échantillons géologiques ou d'objets archéologiques. Il constitue ainsi une base sémantique indispensable à la réalisation d'atlas de descriptions des silicites selon un vocabulaire normalisé. Cette étape, longtemps différée faute de plein consensus scientifique, semble aujourd'hui franchissable. Nous estimons que la pétroarchéologie dispose dorénavant d'un outil permettant d'exprimer des notions à la hauteur des questionnements exprimés par la communauté des chercheurs et souhaitons que ce premier document soit approprié et augmenté par ses utilisateurs dans les années à venir.

Historique

Au milieu des années 2000, un groupe de chercheurs - avec l'aide de M.-R. Séronie-Vivien - s'est créé par cooptation libre avec le soutien de l'association Archéo-logis/CDERAD. Son objectif a été d'adapter l'approche sédimentologique classique utilisée par A. Masson (Masson 1981) et M. & M.-R. Séronie-Vivien (Séronie-Vivien & Séronie-Vivien 1987) pour l'étude des « silex » et de leurs altérations. Lors de la mise en place d'une lithothèque pour l'étude des industries lithiques moustériennes du sud du Massif central français par deux d'entre nous (Fernandes & Raynal 2006, 2007, Fernandes *et al.* 2008), nous avons remarqué que des silicites présentaient des états d'altération différents de leur matrice et de leurs surfaces selon l'endroit où elles étaient récoltées ; qui plus est, plusieurs états pouvaient coexister sur le même échantillon. Il était clair que les différents stigmates acquis dans différents lieux de résidence sédimentaire témoignaient d'une histoire à décrypter (ce que nous avons appelé « l'approche gîtologique ») tandis que les seuls microfaciès sédimentaires ne définissaient que le matériau de départ dans sa roche porteuse (le « type génétique »). Testée d'abord dans le Massif central, puis au Maroc (Fernandes *et al.* 2016), notre approche s'avéra applicable à tous les types de silicites, quel que soit l'espace de diffusion pris en compte.

De nouveaux outils de diagnose ont alors été intégrés aux approches pétro-archéologiques des silicites (Fernandes & Raynal 2006, Fernandes *et al.* 2007, 2008, 2020, Fernandes 2012, Thiry *et al.* 2014, Delvigne *et al.* 2020, 2021). En effet, ces matériaux ont subi, pour la plupart, des déplacements ou transports plus ou moins importants depuis leurs formations géologiques d'origine (gîtes primaires) qui ont transformé leur aspect, leur composition, leur minéralogie (e.g. Stapert 1976, Lavin & Prothero 1992, Williams-Thorpe *et al.* 1999, Turq 2003, 2005, Coutard & Ouzouf 2008, Hughes *et al.* 2010, Parish & Durham 2015, Delvigne *et al.* 2019). Les modifications des compositions minéralogiques et les évolutions morphologiques acquises dans les sites de résidence successifs sont donc autant de traceurs utiles pour la détermination des gîtes de silicites exploitées par les préhistoriques. En reconstruisant pas à pas l'itinéraire parcouru par les silicites avant leur collecte, nous cherchons à préciser leur origine géographique. En reconstituant la chronologie des mécanismes d'altération des objets qui président à la sédimentation du dépôt archéologique et à son évolution, les capacités de leur analyse taphonomique (sensu Bertran *et al.* 2017) sont considérablement améliorées.

Si cette démarche commence à faire école en France et diffuse désormais dans l'espace européen (Scharl *et al.* 2021, Jordão & Pimentel 2021), elle reste encore peu pratiquée dans la vaste communauté d'utilisateurs potentiels que sont les archéologues. Une des raisons à l'origine de ce constat était l'absence d'un vocabulaire interdisciplinaire et d'un vade-mecum adaptés au travail de caractérisation dynamique des silicites. En 1969, M. Foucault notait qu'une discipline scientifique se construit autour d'une communauté qui partage un langage de référence. Si ce vocabulaire est voué à s'enrichir au fur et à mesure des connaissances, la construction d'une discipline passe donc obligatoirement par une structuration lexicale, reflet de la structuration de la discipline elle-même. Ce document illustre pleinement ce raisonnement.

Un vade-mecum pour la fiche de collecte sur le terrain et les trois fiches de caractérisation dynamique : pétrographie, gîtologie et taphonomie

Afin de décrire, de caractériser, d'expliquer et de communiquer dans de bonnes conditions, il faut user de termes appropriés. C'est tout l'enjeu de ce vade-mecum qui réunit dans un même volume 360 définitions, une centaine de photos et des figures synthétiques ayant trait à la pétroarchéologie. Ce document de synthèse se veut didactique et à des fins pratiques lors du travail de caractérisation des silicites, qu'il s'agisse d'échantillons géologiques ou d'objets archéologiques. Pour faciliter la démarche, il respecte un protocole logique et dynamique de l'étude des silicites suivant quatre grilles de lecture.

Ce vade-mecum est donc organisé en quatre parties répondant aux quatre grilles d'inventaire et de caractérisation ; il regroupe une sélection de termes et expressions utilisés et développés depuis plusieurs années par les membres du GDR SILEX et des PCR « Réseau de lithothèques » en région Auvergne-Rhône-Alpes, Centre-Val de Loire, Nouvelle-Aquitaine et Île-de-France (voir *infra*). Les définitions ne sont donc pas présentées dans l'ordre alphabétique, mais dans l'ordre logique d'observation et de remplissage des grilles. En revanche, et pour en faciliter l'accès, tous les termes définis sont rassemblés par ordre alphabétique dans un index placé en fin de volume.

L'objectif est de donner une définition adaptée aux différents critères pris en compte dans les grilles d'analyse pétrologique des silicites :

- La grille 0 « Terrain » permet de renseigner le contexte de prélèvement de l'échantillon,
- La grille 1 « Pétrographie » contient les informations relatives à la genèse des silicites,
- La grille 2 « Gîtologie » décrit les processus liés à la phase prédépositionnelle,
- La grille 3 « Taphonomie » est liée aux mécanismes ayant trait à la phase post-dépositionnelle.

Ces grilles permettent d'organiser les processus acquis lors des phases suivantes : la phase prédépositionnelle (ou phase pré-anthropique) qui est relative à la période de temps « vécu » par la silicite depuis la fin de la diagénèse, jusqu'à sa collecte par les humains préhistoriques. La phase anthropique qui correspond à la période de temps comprise entre la collecte de la silicite et son abandon par les humains (collecte, taille, utilisation) ; c'est le domaine de la technologie lithique, de la techno-économie et de la tracéologie. Enfin, la phase post-dépositionnelle (ou post-anthropique) qui concerne la période de temps située entre le moment où l'objet est abandonné et le moment de son étude par le pétroarchéologue. À noter que plusieurs phases post-dépositionnelles/et anthropiques peuvent se succéder, notamment dans le cas du recyclage de certains objets. Le but de notre démarche est donc de lire l'ensemble des transformations portées par les silicites afin de reconstituer leur histoire pré- et post-dépositionnelle.

Cette perspective dynamique de l'étude des roches s'appuie sur un échantillonnage raisonné des différentes formations à silicites.

La grille 0 « Terrain » contient 52 champs qui permettent de renseigner les conditions de collecte, ainsi que le contexte géologique et géographique dans lequel l'échantillon a été prélevé. L'ensemble des données et métadonnées enregistrées vient qualifier la valeur de l'échantillonnage et permet d'envisager l'étude pétrologique (*i.e.* l'étude des mécanismes de transformation des roches) des silicites.

La grille 1 « Pétrographie » contient 82 champs décrivant les principaux critères de définition des microfaciès, l'environnement de formation et l'âge de la silicite qui permettent de caractériser le type. Nous nous concentrons principalement sur les éléments figurés en termes de répartition, d'abondance, de tri, d'émoussé, de sphéricité, de taille et de nature. Si nous considérons que la fraction bioclastique des éléments figurés est importante, nous n'oublions pas que les informations sur les éléments non organiques et détritiques peuvent s'avérer très précieuses pour distinguer les variations de types. Ces éléments peuvent être définis par analyse à la loupe binoculaire à fort grossissement (x80 à x200), par spectroscopie Raman et par microscopie optique (lorsque des lames minces sont disponibles).

La grille 2 « Gîtologie » contient 44 champs et vise à identifier les différents états gîtologiques de chaque type tels que définis dans la grille 1. Les 44 champs descriptifs sont synthétisés en sept principaux points :

- le rapport couleur héritée/couleur acquise de la phase de liaison ;
- le rapport couleur héritée/couleur acquise des allochèmes ;
- le type de (néo)cortex et/ou de surface non anthropique ;
- le type de porosité et de poronécrose acquises ;
- la composition minéralogique acquise de la phase de liaison ;
- la description de la zone sous corticale ;
- la couleur et l'intensité de la patine et du lustré prédépositionnel.

Il s'agit de déchiffrer les types d'actions physiques (telles que la fissuration ou la fragmentation) et les processus chimiques dont la cinétique est plus lente (telles que les altérations ou la diffusion des oxydes dans la phase de liaison). Ces phénomènes, contrôlés entre autres par le positionnement des surfaces – c'est-à-dire la polarité gîtologique – se chevauchent, dans un ordre qui permet de comprendre la séquence des transformations prédépositionnelles, elles-mêmes caractéristiques d'un type de formation (*e.g.* primaire, sub-primaire, colluvial, alluvial, alluvial ancien, marin...).

La grille 3 « Taphonomie » est composée de 38 champs, elle a pour objectif de décrire le type et l'intensité des processus post-dépositionnels : patine, chocs et modifications portés par les nervures, les bordures et les surfaces (selon la microtopographie), lustrés et phénomènes thermiques. Ces éléments donnent des indications sur les processus édaphiques qui se sont produits depuis l'abandon de l'objet par les humains. Cette troisième grille nous informe sur l'intégrité des niveaux archéologiques et apporte des informations complémentaires à l'étude taphonomique des sites.

Les termes mentionnés sont d'ordre géographique, géologique, sédimentologique, pédologique, géomorphologique, minéralogique, pétrographique, paléontologique, zoologique, botanique, bioécologique, tribologique et tracéo-

logique. Ils comprennent également quelques termes empruntés à la physique et à la chimie qui sont utiles pour préciser certains mécanismes fondamentaux qui transforment les matériaux siliceux à différentes étapes de leur évolution. Dans la plupart des cas les définitions sont à utiliser telles quelles. Toutefois, lorsque différentes définitions coexistent nous avons précisé de quel(s) champs disciplinaires elles étaient issues. Dans ce cas, la définition à prendre en compte est celle indiquée (pétroarchéologie). Certains mots rappellent des significations usuelles ; celles-ci ont parfois été précisées, voire légèrement modifiées pour être adaptées dans leur emploi à la pétroarchéologie.

Ce document a l'ambition de rapprocher les points de vue des géologues, des minéralogistes, des archéologues technologues et des tracéologues en traitant les aspects théoriques sans s'éloigner des aspects pratiques. Il repose sur une importante recherche bibliographique prenant en compte de nombreux ouvrages et dictionnaires spécialisés. Des indications étymologiques ont été données seulement lorsqu'elles peuvent faciliter la compréhension ou la mémorisation du mot. Quelques termes ou expressions en langue anglaise ont été inclus sans être traduits, car d'usage assez fréquent en géologie sédimentaire. Le signe* après les valeurs renvoie à des définitions exposées dans le lexique. Enfin, la valeur « absent/absente absent.e.s » signifie qu'il ne reste pas de traces de ce critère. La valeur « non observé/observé » signifie que l'observation n'est pas suffisante pour caractériser le critère, la valeur « RAS » (Rien à signaler) signifie qu'il n'est pas possible d'établir cette valeur car le critère est manquant (par exemple : taille moyenne des allochèmes dans une silicite sans élément figuré) et la valeur « indéterminable(s) » signifie que l'observation ne permet pas une détermination précise du critère.

Des planches photographiques et des abaques ponctuent les principales définitions ; sauf mentions contraires ces illustrations sont le fait des auteurs. Elles présentent des exemples archétypaux des définitions, notamment des principales catégories de fossiles, mais elles n'ont vocation ni à être exhaustives, ni à servir de référentiel (pour cela nous renvoyons le lecteur aux atlas départementaux). À cet égard, nous avons choisi de ne pas indiquer l'origine géographique et géologique des silicites illustrées, pensant que cela viendrait nuire au discours.

Dans ce guide sont donc successivement traitées les notions adaptées à la recherche de la provenance des silicites. Il s'agit d'une avancée épistémologique fondée sur la prise en compte des interactions entre les matériaux siliceux et leurs divers environnements de résidence, telle que l'illustre le concept de chaîne évolutive des silicites (Fernandes & Raynal 2006, Fernandes *et al.* 2007, 2008, Fernandes 2012). Sa mise en œuvre repose sur une approche dynamique pluri-technique et multi-scalaire qui a pour objectifs d'affiner la détermination de l'origine géologique des objets lithiques, de les impliquer dans l'étude taphonomique des sites, de faciliter les groupements d'artefacts préalables à l'étude technologique et de participer à la présélection d'objets pour l'étude tracéologique. Ainsi, en révélant son plein potentiel heuristique, la pétroarchéologie est parfaitement intégrée aux approches techno-typo-fonctionnelles – notamment en ce qui concerne la segmentation des chaînes opératoires – et permet de réfléchir sur la structuration des espaces géographiques passés.

DU TERRAIN À LA LITHOTHÈQUE - GRILLE 0

*Valeurs et champs pour la fiche de collecte sur le terrain
ou le récolement de lithothèques*

Responsable de la création de la fiche : prénom et nom entier (p. ex. : Paul Fernandes).

Responsable de la modification de la fiche : prénom et nom entier, non modifiée (p. ex. : Vincent Delvigne).

Responsable de la collecte : prénom et nom entier, inconnu (p. ex. : André Morala).

Date de prélèvement de l'échantillon : au format JJ/MM/AAAA, inconnu (p. ex. : 21/02/2018).

Date de création de la fiche : au format JJ/MM/AAAA (p. ex. : 21/02/2018).

Date de modification de la fiche : au format JJ/MM/AAAA, non modifiée (p. ex. : 23/02/2019).

Contexte de réalisation de la fiche : terrain, inventaire de lithothèques, autre (à préciser).

Programme de la collecte : programme dans lequel la collecte a été effectuée, nom du programme, hors programme (préciser), inconnu (p. ex. : PCR Réseau de lithothèques Auvergne-Rhône-Alpes).

Nom de la lithothèque d'accueil des échantillons : nom entier de la lithothèque (p. ex. : lithothèque de l'Archéo-logis).

lithothèque : (géologie) lieu dans lequel sont stockés et classés les échantillons géologiques de référence.

Adresse postale de la lithothèque : numéro, voie, commune, code postal, pays (p. ex. : 27, bois des Coustilles, Laussonne, 43150, France).

Emplacement dans la lithothèque : en fonction du numéro d'armoire, de caisse, de tiroir, etc.

Numéro d'inventaire dans la lithothèque : en fonction du classement local.

Lieu-dit du gîte : nom du lieu-dit (p. ex. : La Jarrie).

gîte : (minéralogie) Gisement de masses minérales comportant un ou plusieurs métaux susceptibles d'une exploitation ; (pétroarchéologie) lieu comportant un ou plusieurs types de roches susceptibles d'avoir été exploitées par les collectifs humains de la Préhistoire.

Commune du gîte : nom de la commune (p. ex. : Le Grand-Pressigny).

Département du gîte : nom du département (p. ex. : Indre-et-Loire).

Pays du gîte : nom du pays (p. ex. : France).

Coordonnée précise en X du gîte d'après GPS ou carte : longitude en degrés décimaux dans le système WGS84, non renseignée.

Coordonnée précise en Y du gîte d'après GPS ou carte : latitude en degrés décimaux dans le système WGS84, non renseignée.

Altitude précise du gîte : en mètres, inconnue.

Coordonnée en X du centroïde de la commune du gîte : longitude en degrés décimaux dans le système WGS84, si la coordonnée précise en X du gîte n'est pas connue, non renseignée.

centroïde : (géomatique) le centroïde correspond à l'intersection des diagonales du polygone entourant l'entité de la carte.

Coordonnée en Y du centroïde de la commune du gîte : latitude en degrés décimaux, si la coordonnée précise en Y du gîte n'est pas connue, non renseignée.

Nom et numéro de la carte géologique : Nom de la carte n° de la carte (p. ex. : Preuilly-sur-Claise_542).

Nom de l'ère géologique à laquelle appartient le gîte : indéterminée, Cénozoïque, Mésozoïque, Paléozoïque, (Cohen *et al.* 2013), Charte Chronostratigraphique, Commission Internationale de Stratigraphie.

Nom de l'époque ou du système géologique à laquelle appartient le gîte : indéterminé, Holocène, Pléistocène, Pliocène, Miocène, Oligocène, Éocène, Paléocène, Crétacé supérieur, Crétacé inférieur, Jurassique supérieur, Jurassique moyen, Jurassique inférieur, Trias, Permien, Carbonifère, Dévonien, Silurien, Ordovicien, Cambrien.

Nom de l'étage géologique auquel appartient le gîte : indéterminé, Holocène, Pléistocène supérieur, Pléistocène moyen, Pléistocène inférieur, Gelasien, Plaisancien, Zancéen, Messinien, Tortonien, Serravallien, Langhien, Burdigalien, Aquitaniens, Chattien, Rupélien, Priabonien, Bartonien, Lutétien, Yprésien, Thanétien, Sélandien, Danien, Maastrichtien, Campanien, Santonien, Coniacien, Turonien, Cénomaniens, Albien, Aptien, Barrémien, Hauteriviens, Valanginiens, Berriasien, Tithonien, Kimméridgien, Oxfordien, Callovien, Bathonien, Bajocien, Aalénien, Toarcien, Pliensbachien, Sinémurien, Hettangien, Rhétien, Norien, Camien, Ladinien, Anisien, Olénékien, Indusien, Changhsingien, Wuchiapingien, Capitanien, Wordien, Roadien, Kungurien, Artinskien, Sakmarien, Assélien, Gzhélien, Kasimovien, Moscovien, Bashkirien, Serpukhovien, Viséen, Tournaisien, Faméniens, Frasnien, Givetien, Eifelien, Emsien, Pragien, Lochkovien, Pridolien, Ludfordien, Gorstien, Homerien, Sheinwoodien, Télychien, Aéronien, Rhuddanien, Himantien, Ordovicien VI, Ordovicien V, Darrivilien, Ordovicien III, Arénig, Trémadocien, Cambrien (étage 10), Cambrien (étage 9), Praibien, Cambrien (étage 8), Cambrien (étage 7), Cambrien (étage 6), Cambrien (étage 5), Cambrien (étage 4) Cambrien (étage 3), Cambrien (étage 2), Cambrien (étage 1).

Nom de la formation géologique à laquelle appartient le gîte : nom de la formation en toutes lettres, inconnu, absent (p. ex. : Saint-Felix-de-Reilhac).

Commentaire sur le mode de détermination de l'âge du gîte : lecture de la carte géologique, observations de terrain, autre (à préciser).

Lithologie de l'encaissant : indéterminé, roche argileuse, sable, calcaire fin (micrite), calcaire grossier (calcarénite), grès, autre roche, absent.

roche argileuse : (sédimentologie) roche sédimentaire ou résiduelle à grain fin (taille < 63 microns) contenant au moins 50 % de minéraux argileux (kaolinite, smectite, illite...) auxquels peuvent s'ajouter d'autres minéraux très divers, détritiques ou non. Les roches argileuses comprennent les argiles vraies (d'une taille inférieure à 3,9 microns) et les silts (ou limons) (d'une taille comprise entre 3,9 microns et 63 microns).

sable : (sédimentologie) sédiment détritique meuble de natures diverses dont les grains sont compris entre 63 microns et 2 mm.

micrite : (pétrographie) calcite finement cristalline constituant tout ou partie de certaines roches carbonatées, dont par extension elles ont pris le nom (une micrite). Le terme de micrite est souvent utilisé comme suffixe auquel on ajoute un préfixe qualifiant la phase cristalline de la roche (p. ex. : calci > calcimicrite ; dolo > dolomicrite) et/ou une partie de sa composition (oo > oomicrite ; bio-calci > biocalcimicrite).

calcarénite : (pétrographie) roche sédimentaire carbonatée consolidée résultat de l'agrégation du carbonate de calcium sur un sable calcaire, dont les éléments ont des dimensions comprises entre 63 microns et 2 mm. Comme pour les micrites ce terme est souvent employé comme un suffixe (p. ex. : biocalcarénite).

grès : (pétroarchéologie, pétrographie) roche sédimentaire détritique, arénite consolidée comportant au moins 75 % à 85 % de grains de quartz plus ou moins arrondis de 62 microns à 2 mm (de la classe des siltites à celle des arénites). On note la présence de deux types de classement. Les variétés sont distinguées d'après le grain, et la présence ou non d'éléments particuliers. On distingue les grès à débris de roche (grauwacke) ; les grès micacés (psammite), les grès feldspathiques (arkose) ; les grès titanifères à rutiles ; les grès glauconieux ; les grès coquilliers ; les grès à oolithes souvent ferrugineux. Les variétés sont distinguées aussi d'après la nature du ciment. On distingue des grandes familles, les grès à ciment siliceux (grès siliceux, grès quartzeux, quartzites : à cassure de plus en plus lisse) ; les grès à ciment calcaire ; les grès calcarifères dont le ciment n'est qu'en partie calcaire ; les grès à ciment dolomitique, argileux les gaizes, phosphatés, ferrugineux, gypseux, bitumeux. Le terme est appliqué à des formations régulières, en bancs continus, sur des épaisseurs importantes et qui ont subi un enfouissement conséquent : grès du Trias, grès du Crétacé inférieur des séries alpines, grès du Paléozoïque (Bretagne, Vosges, ...). Ceux utilisés pour la taille préhistorique sont le plus souvent des grès à ciment siliceux (grès siliceux, grès quartzeux, quartzites), à cassure de plus en plus lisse.

Type I de gîte : primaire, subprimaire, secondaire, inconnu.

gîte primaire : (pétroarchéologie) les gîtes primaires sont caractérisés par la présence de la totalité du volume de la silicite encore dans son encaissant.

gîte subprimaire : (pétroarchéologie) une silicite est dite dans un gîte subprimaire lorsqu'elle est située dans des formations résiduelles toujours connectées à la formation primaire et/ou en place (p. ex. : altérites).

gîte secondaire : (pétroarchéologie) les gîtes secondaires correspondent aux gisements dans lesquels les silicites sont déconnectées de leur roche mère (ou protolithé).

Type II de gîte : primaire, colluvions, bief à silex, RS (formation résiduelle à silex), CRS (colluvions de formation résiduelle à silex), RS ou CRS, alluvions, alluvions anciennes, plage, cordon marin, moraine, inconnu.

gîte primaire*

colluvion : (pétraoarchéologie) les gîtes secondaires des colluvions (éboulis, grèzes, coulées de solifluxions...) correspondent à des dépôts de versant peu distants de la formation de laquelle ils sont issus. Les moteurs de leur formation, qu'il s'agit d'identifier, sont divers (gravité, alternance gel/dégel, ruissellement, etc.).

bief à silex : (pétraoarchéologie) formation constituée de blocs hétérométriques de silex dans une matrice fine, résultant de processus de solifluxion sur un versant sous conditions périglaciaires. Les silex sont souvent affectés par une forte gélifraction (équivalent : head).

RS (Formation résiduelle à silex ou altérites) : (pétraoarchéologie) les gîtes des altérites résultent de la désagrégation en place du protolithe, les silicites se trouvant piégés dans les sédiments résiduels.

Il en existe deux catégories les RS argilo-sableuse et les RS argilo-calcaro-sableuse.

CRS (Colluvions de formation résiduelle à silex) : (pétraoarchéologie) dépôts de pentes relatifs à la remobilisation sous l'action de divers agents des formations résiduelles à silex.

alluvion : (pétraoarchéologie) les gîtes secondaires des alluvions intègrent l'ensemble des silicites situées dans le lit des cours d'eau actifs.

alluvion ancienne : (pétraoarchéologie) les gîtes secondaires des alluvions anciennes sont les formations à silicites se trouvant dans les dépôts du lit de cours d'eau fossiles (syn. : Terrasses).

plage : (pétraoarchéologie) formation littorale soumise à l'action des vagues et située dans la zone intertidale (ou zone de marnage) entre les limites hautes et basses des marées (syn. : Estran).

cordon marin : formation de plage fossilisée ou actuelle.

moraine : (géomorphologie) ensemble de pierres, emballées dans une matrice fine, entraînées par un glacier et retrouvé sous forme de dépôt désorganisé (diamiction) sur les flancs et au cœur des vallées glaciaires (syn. : Till).

Type d'affleurement : falaise, coupe artificielle, mine, champ, éboulis, chemin, muret, labour, lit de rivière, autre (préciser), inconnu.

affleurement : (pétraoarchéologie) partie d'un terrain visible à la surface de la Terre.

Position de récolte de l'échantillon : dans l'affleurement, dans l'éboulis, dans un pierrier, dans les labours, sur le chemin, dans un muret, dans le lit du cours d'eau, autre (préciser), inconnu. Ce champ peut-être multivalué.

Caractère « en danger » du gîte : oui, non, indéterminé.

Caractère « épuisé » du gîte : oui, non, indéterminé.

Présence d'un site archéologique associé : oui, non, indéterminé.

Accessibilité du gîte : accessible sans restriction, clôturée, accessibilité ponctuelle, accès dangereux, inaccessible.

accessibilité ponctuelle : (pétroarchéologie) se dit d'un gîte lorsque son accès est restreint dans le temps (p. ex. : lac de barrage).

La nature de l'échantillon :

silicite*

quartz*

silex*

silcrète*

jaspéroïde*

sinter*

chert*

calcaire silicifié*

quartzite*

autre roche*

indéterminée*

Habitus des échantillons : absent, rognon régulier, rognon irrégulier, nodule, plaque (< 10 cm), banc (entre 10 cm et 1 m), dalle (> 1 m), fragment de filon, éclat, galet, indéterminé.

habitus*

Variabilité dimensionnelle des blocs : homométrique, hétérométrique, inconnue.

Moyenne des dimensions des blocs : mêmes classes que *supra*.

Moyenne des épaisseurs des blocs : mêmes classes que *supra*.

Dimension minimale des blocs : mêmes classes que *supra*.

Épaisseur minimale des blocs : mêmes classes que *supra*.

Dimension maximale des blocs : mêmes classes que *supra*.

Épaisseur maximale des blocs : mêmes classes que *supra*.

Description des volumes : homogène ; présence de fracturation ; échantillon géoliffracté ; présence de géodes ; autre (préciser).

Nombre d'échantillons collectés : champ numérique entier.

Type de collecte : systématique, sélective par classe de taille, sélective par couleur, sélective par type macroscopique, autre sélective (préciser le critère).

collecte systématique : (*pétraarchéologie*) une collecte systématique correspond à un ramassage dans un gîte de toutes les silicites disponibles sans critère de distinction dans un espace de 1 m².

collecte sélective : (*pétraarchéologie*) une collecte sélective correspond à un ramassage dans un gîte d'une partie des silicites disponibles en fonction de critères subjectifs (la couleur, la taille, le type macroscopique, l'homogénéité des blocs, etc.).

Polarité documentée sur l'échantillon : oui, non.

polarité : propriété des roches d'avoir au moins deux surfaces qui ont des caractéristiques pétrologiques différentes. Dans notre approche, les polarités peuvent être acquises à trois étapes du parcours de l'échantillon : lors de sa formation (polarité génétique), lors de son déplacement non anthropique (polarité gîtologique), lors de son enfouissement dans le dernier lieu de résidence (polarité post-dépositionnelle). Pour cette dernière, on distingue préférentiellement deux surfaces : la face dormante (qui repose au sol) et la face exposée (la plus proche de la surface). Les analyses ont montré que la subdivision en deux surfaces est d'autant plus justifiée que, pour un même processus d'altération post-dépositionnel, la réaction de ces surfaces est différente.

Existence d'une fiche descriptive : oui, non.

Photographie du gîte : oui, non.

Photographie de l'échantillon : oui, non.

Type d'échantillon : bloc(s), éclat(s), talon(s), lame(s) mince(s), poudre(s)

bloc : habitus de l'échantillon laissé entier tel qu'affleurant dans le gîte.

fragment : morceau d'un bloc.

talon : déchet de fabrication des lames minces, souvent de forme parallélépipédique,

lame mince : type de préparation d'échantillon adapté à l'observation microscopique,

poudre : type de préparation d'échantillon adapté à certains types d'analyses chimiques et physiques.

LES CARACTÉRISTIQUES GÉNÉTIQUES - GRILLE 1

Valeurs et champs du tableau de données pétrographiques

La grille 1 « Pétrographie » contient 82 champs. Elle permet d'identifier le type de l'échantillon étudié. À cet égard, il est indispensable de caractériser la composition minéralogique, la structure et les composantes chimiques, biologiques et détritiques, zone par zone, pour chaque échantillon. Toutefois en fonction de l'impact différentiel de l'altération décrit *supra*, les associations d'éléments figurés vont évoluer en quantité et en qualité. Exclure *a priori* l'analyse minéralogique nuit à la recherche pétroarchéologique et l'argument d'utiliser uniquement des protocoles non invasifs sur le matériel naturel n'est pas recevable : il est indispensable d'utiliser tous les outils disponibles pour définir au mieux le référentiel géologique. Les résultats de cette démarche complète sur le matériel géologique seront en effet de la plus grande utilité lors des analyses non invasives sur les industries humaines. Ainsi, l'œil d'un observateur exercé est capable d'établir des relations entre les observations faites au microscope polarisant sur les échantillons naturels et les observations à la binoculaire conduites sur les objets taillés. Pour être efficaces, nous proposons de réaliser la description objective de la phase de liaison et des allochèmes par l'observation à fort grossissement sous la loupe binoculaire (minimum x80 jusqu'à x200), à sec, puis sous un film d'eau et bien entendu, sous le microscope optique en lame mince pour les échantillons géologiques.

Décrire le microfaciès permet d'approcher l'environnement de formation et l'âge de la roche silicifiée, principalement d'après les allochèmes (lithoclastiques, détritiques, chimiques et bioclastiques, *sensu* Folk [1962]), appréciés en termes de nature, d'abondance, d'orientation, de tri, d'émousé, de sphéricité et de taille. Si une attention particulière est portée à la fraction bioclastique des clastes, les autres éléments ne sont pas oubliés, notamment la fraction détritique, souvent délaissée au profit des microfossiles, mais précieuse pour distinguer des variations dans les types (*e.g.* Delvigne *et al.* 2017, Tomasso *et al.* 2019). Dans cette grille d'analyse, nous employons le vocabulaire et différents abaques et diagrammes utilisés par les sédimentologues et les pétrographes au cours des soixante dernières années (Krumbein & Sloss 1955, Folk 1959, Shepard & Young 1961, Arbey 1980, Rio 1982, Bullock *et al.* 1985, Boulvain 2011). L'ensemble des allochèmes et le rapport qu'ils entretiennent avec la phase de liaison sont donc pris en considération. Il peut être tentant de se concentrer sur l'observation de certains bioclastes - des fossiles directeurs - au détriment d'autres indices, mais on réduit alors grandement le spectre des éléments possiblement discriminants lors de l'analyse des séries lithiques. Une telle démarche qui peut paraître séduisante marquerait en fait un retour en arrière ouvrant sur de grandes déconvenues : les mécanismes de diagenèse, d'épigenèse siliceuse et d'altération des silicites transforment en effet les aspects de la plupart des allochèmes et ne permettent guère de se référer aux biozonations des stratigraphes. En outre, cette voie « raccourcie » n'intégrerait pas le concept de la chaîne évolutive fondé sur l'analyse de l'évolution de la totalité des éléments figurés et ne permettrait pas de préciser les lieux de collecte.

L'observation de la polarité génétique de l'échantillon et de la microstructure de chacune des zones se fait en lame mince sous le microscope : détermination de la minéralogie authigène principale et complémentaire, ainsi que du type de matrice

(macrocristalline, mésocristalline, microcristalline ou cryptocristalline). La description minéralogique des échantillons géologiques est nécessaire. Elle peut être entreprise de façon complémentaire par spectroscopie Raman dans un souci conservatoire, soit en cartographie (détermination de la variabilité de la phase de liaison), soit de manière ponctuelle pour déterminer la nature des éléments détritiques.

La connaissance de la nature et de l'origine stratigraphique, du faciès de silicite (silex marin ou lacustre, *chert*, silcrète pédogénétique ou de nappe phréatique, silice hydrothermale...) et de son paléoenvironnement de formation est une information capitale. Elle permet de contrôler si les différences d'altérations ne résultent pas d'une variété d'origine ou, *a contrario*, de bien identifier la variabilité génétique d'un type, elle-même en partie responsable de la variabilité gîtologique. Les silicites enregistrant les processus pédologiques et climatiques, il est indispensable de dépasser la seule identification du type qui caractérisait l'approche classique utilisée depuis les années 1980 (e.g. Masson 1981, 1986, Mauger 1985, Séronie-Vivien & Séronie-Vivien 1987, Affolter 2002, Primault 2003, Séronie-Vivien *et al.* 2006, Séronie-Vivien 2009, Tomasso 2014, Caux 2015, Sanchez de la Torre 2015). Cette dernière privilégiait la zone interne (la moins transformée), démarche insuffisante dans de nombreux cas. C'est en effet au sein des (néo)cortex et des zones sous corticales que se trouve la traduction directe des altérations subies par l'échantillon au cours de son histoire post-génétique (postérieure à la diagenèse). Seule une prise en compte globale des transformations minérales, texturales et des associations de stigmates ou de traces par l'analyse des états de surface permet *in fine* de déterminer l'origine gîtologique des objets affectés par l'altération. C'est pourquoi nous avons développé la grille 2.

Habitus : absent, non observé, rognon régulier, rognon irrégulier, rognon cérébroïde, rognon thalassinoïde, nodule, plaquette (< 10 cm), banc (entre 10 cm et 1 m), dalle (> 1 m), filon, éclat, galet, galet néocortex lisse, galet néocortex rugueux, géofact, gélifract, ventifact, indéterminé.

habitus : (*minéralogie*) correspond à la morphologie d'un cristal ou d'une roche.

rognon régulier : masse minérale arrondie de forme régulière, enrobée dans une roche de nature différente.

rognon irrégulier : masse minérale arrondie de forme irrégulière, enrobée dans une roche de nature différente.

rognon cérébroïde : qui a l'apparence du cerveau – (pétoarchéologie) rognon qui a une forme ridée comme la surface du cerveau.

rognon thalassinoïde : (*géologie*) le terme a été décrit pour la première fois par Woodward (1830), qui l'a identifié comme un fucoïde (algue) fossile. C'est Ehrenberg en 1944 qui le réinterprète comme une trace d'invertébré – (pétoarchéologie) les rognons forment un réseau complexe de ramifications en terriers interconnectés qui s'étend à la fois verticalement et horizontalement.

nodule : 1) Cayeux (1958) désigne, pour les roches sédimentaires, sous le nom de nodule des rognons de forme générale arrondie, lenticulaire, irrégulière, dispersés, ou concentrés et toujours ordonnés parallèlement à la stratification (ex. : cas des silex de la craie) ; 2) Perraud (1967) désigne des « concrétions que l'on rencontre dans certains terrains ». Ce sont des masses globuleuses centimétriques à décimétriques se

différenciant de la roche porteuse par leur composition ou leur structure (ex. : nodules siliceux ou phosphatés) ; 3) Clastoïde analogue au pelloïde mais de taille supérieure à 2 mm (Slansky 1992) - (pétroarchéologie) rognon régulier ou irrégulier aplati.

plaquette : (géologie) *unité ou strate d'une formation sédimentaire limitée au toit et au mur par deux joints de stratification de faible épaisseur - (pétroarchéologie) épaisseur (pluri)-centimétrique.*

banc : (géologie) *unité ou strate d'une formation sédimentaire limitée au toit et au mur par deux joints de stratification - (pétroarchéologie) épaisseur (pluri)-décimétrique.*

dalle : (géologie) *plaque rocheuse monolithe d'une formation sédimentaire limitée au toit et au mur par deux joints de stratification - (pétroarchéologie) épaisseur (pluri)-métrique.*

filon : (géologie) *corps issu du remplissage d'une fracture ouverte et recoupant des roches de nature variée (roches encaissantes). Le matériel de ce remplissage peut avoir été déposé par des circulations de fluides hydrothermaux (filons hydrothermaux) ou être de nature magmatique ou sédimentaire.*

débris : (pétroarchéologie) *fragment de forme diverse produit par une action mécanique.*

galet : (géologie) *fragment de roche roulé, formé par usure mécanique, dans les lits des cours d'eau (rivières et fleuves) ou sur les plages, ballotté par les courants et les vagues. Les galets sont les éléments les plus gros (> 30 mm), les graviers (entre 2 mm et 30 mm) et les sables (< 2 mm) étant de taille inférieure.*

galet néocortex lisse : (pétroarchéologie) *roche roulée caractérisée par une usure mécanique (souvent liée à une abrasion par des sables) et une altération forte, qui ont entraîné une disparition de la rugosité d'origine.*

galet néocortex rugueux : (pétroarchéologie) *roche roulée caractérisée par une altération tardive, mais forte, qui a impacté l'usure mécanique et provoqué l'apparition d'une nouvelle rugosité sur les surfaces.*

géofact : (pétroarchéologie) *objets ressemblants à des artefacts, mais façonnés par des actions géologiques (Haynes 1973). Il en existe différents types définis en fonction des mécanismes qui en sont à l'origine. Les plus communs sont les gélifrats et les ventifacts.*

gélifract : (géologie) *débris produit par la gélifraction. Selon le type de roche les fragments peuvent prendre des formes variées (blocs anguleux, écailles, feuillets, plaquettes, échardes, etc.).*

ventifact ou dreikanter : (géologie) *roche qui a été abrasée, piquetée, gravée, rainurée ou polie par des grains entraînés par le vent. La forme générale des ventifacts est souvent anguleuse, on parle de blocs à facettes. La corrasion transforme des galets arrondis en blocs à surfaces découpées et crêtes émoussées régulières limitant les facettes nouvellement formées. Leurs surfaces montrent un aspect luisant et un dépoli à l'aspect mat.*

Polarité génétique : *absente, non observée, ripple marks, flute marks, figure en croissant, rills marks, mud crack (ou figure de dessiccation), chenaux d'érosion, tool marks, indéterminable.*

polarité génétique : (pétroarchéologie) *propriété que possèdent en général les roches sédimentaires de présenter deux surfaces qui ont des caractéristiques différentes. Celles-ci ont une signification en termes d'origine génétique.*

ripple mark : (géologie) *rides de courant ou rides de plage créées dans les sédiments sableux meubles par les mouvements de la houle ou les courants sous-marins.*

flute mark (ou flute cast) : (géologie) figures sédimentaires formées à la surface des bancs par affouillement du fond par des courants d'eau (vortex). Elles sont reconnaissables par leur forme oblongue, allongée ou triangulaire dont la "queue" indique le sens du courant.

figure en croissant : (géologie) figures sédimentaires formées par des courants d'eau autour d'un objet posé sur le fond.

rill mark : (géologie) figures sédimentaires contrôlées par le ruissellement sur un sédiment boueux dessinant un réseau hiérarchisé à caractère arborescent, dendritique ou fractal.

mud crack (ou figure de dessiccation) : figure sédimentaire contrôlée par la perte en eau (évaporation de surface), formant des fissures de retrait en réseau plus ou moins polygonal.

chenaux d'érosion : (géologie) figures sédimentaires en milieu subaérien ou aquatique, creusées par l'action d'un écoulement d'eau sur une surface meuble.

tool mark : (géologie) figures sédimentaires formées par des traces d'impact d'un objet solide (galets, blocs, graviers, etc.) transporté par un courant d'eau sur un fond boueux. Cette figure préservée est observable en moulage dans la couche sus-jacente.

Zones : 1 zone, 2 zones, 3 zones, zone 1, zone 2, zone 3, zone 4, zone 5, zones 54, zones 543, zones 5432, zones 54321, zones 4321, zones 432, zones 43, zones 321, zones 32, zones 21, zones indéterminées.

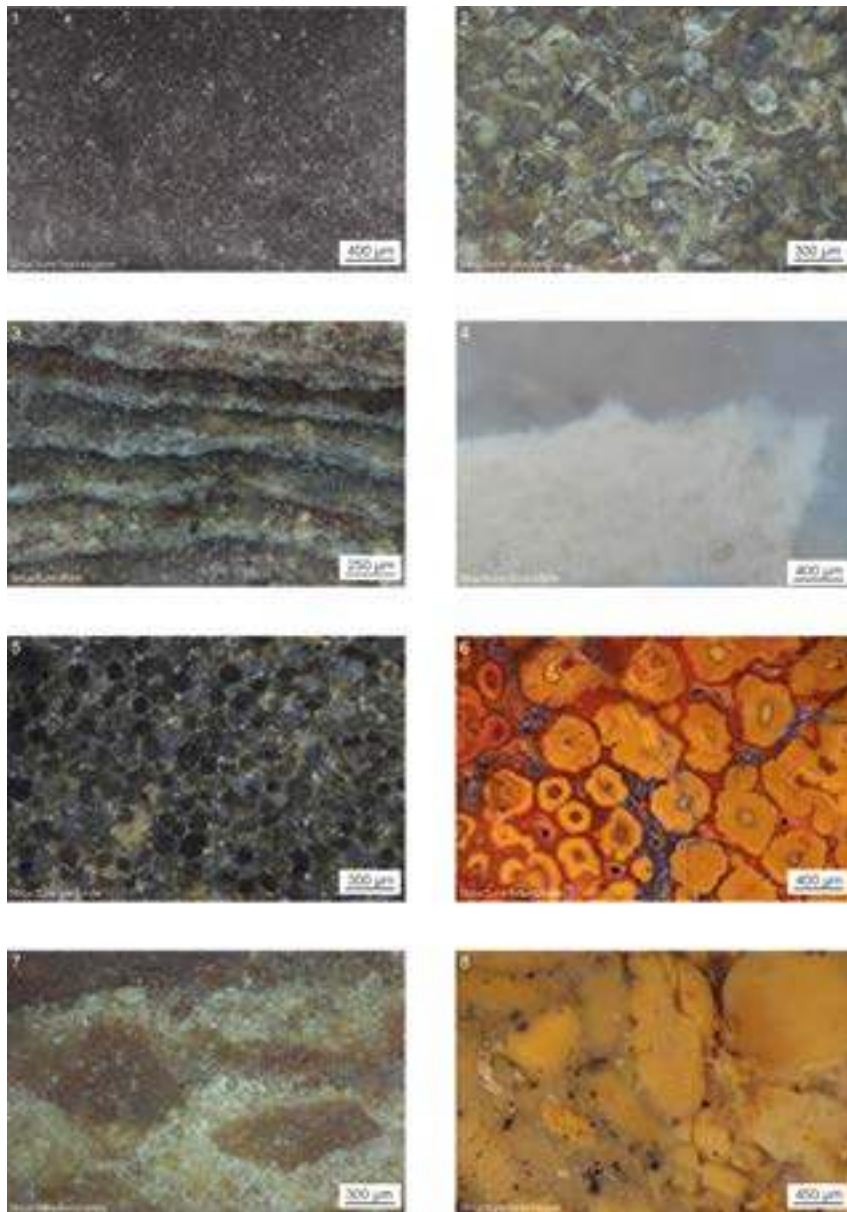
zone ou zonalité : (pétoarchéologie) méthode d'analyse consistant en la division des blocs en différentes unités servant à la description des effets diagénétiques et post-génétiques. Sur une section, elles se présentent comme une succession de zones concentriques qui attestent de différences de pigmentation, de minéralogie, de structure, de texture et/ou de porosité, entre le centre et la surface de l'échantillon. En théorie, l'échantillon est divisé en cinq zones :

- zone 1 : correspond à la périphérie ou zone corticale supérieure.
- zone 2 : correspond à la périphérie ou zone corticale inférieure.
- zone 3 : correspond à la zone sous corticale (ou endocorticale) supérieure.
- zone 4 : correspond à la zone sous corticale (ou endocorticale) inférieure.
- zone 5 : correspond au cœur de l'échantillon.

Lors de l'analyse d'échantillon archéologique, il est possible de ne pas pouvoir distinguer la zone 1 de la zone 2 ou la zone 3 de la zone 4. En ce cas l'échantillon est divisé en autant de zones que les variations des critères susmentionnés l'autorisent. Seul le lien avec les échantillons géologiques de références permet de réattribuer la ou les zones d'un objet archéologiques à (aux) zone(s) de la roche.

Figuration structurelle (ou structure) acquise antérieurement ou lors de la diagenèse siliceuse : non observée, homogène, hétérogène, *boundstone*, bioclastique, litée, plissé, zonée, bioturbée, granoclassée, pelletioïde, oolithique, orbiculaire, laminée, fenestrée, brèchique, conglomératique, annulaire, clastique, à fibres flexibles, à fibres aciculaires (Fig. 1).

Ce champ peut être multivalué.



1. Exemples de quelques structures.

1. Structure homogène, 2. Structure bioclastique, 3. Structure laminée 4. Structure bioturbée, 5. Structure pelloïde, 6. Structure orbiculaire, 7. Structure fenestrée, 8. Structure bréchiq.

1. Examples of some structures.

1. Homogeneous structure, 2. Bioclastic structure, 3. Bedded structure, 4. Bioturbated structure, 5. Pelloid structure, 6. Orbicular structure, 7. Fenestrated structure, 8. Brecciated structure.

structure : (pétraarchéologie) aspect général de la roche à l'échelle de la zone en pétraarchéologie.

homogène : (pétraarchéologie) structure équivalente en tout point de la zone.

hétérogène : (pétraarchéologie) structure différente à l'échelle de la zone.

boundstone : (géologie) structure construite d'un calcaire récifal (Dunham 1962).

bioclastique : (géologie) structure qui contient une part significative de bioclastes (Slansky 1992).

lité : (pétraarchéologie) structure qui comporte une succession de niveaux lités de faible épaisseur (millimétrique à centimétrique).

laminé : (sédimentologie) structure qui comporte des éléments disposés en fines couches, inframillimétriques à millimétriques, appelées lamines.

zoné : (pétraarchéologie) structure qui présente des bandes concentriques de structure ou d'aspects différents.

bioturbé : (pétraarchéologie) structure qui présente des plages de déstructurations provoquées par des organismes vivants (terriers, pistes, galeries...) ou les courants sous-marins.

granoclassé : (géologie) structure dans laquelle les grains présentent un classement par taille croissante ou décroissante, en lien avec la vitesse des courants. Au granoclassement le plus courant (granoclassement normal : les éléments les plus grossiers sont à la base de la séquence) s'oppose le granoclassement inverse, où la taille des grains croît de la base vers le haut de la séquence.

pelletioïde ou péloïde : (pétraarchéologie) structure constituée de grains non squelettiques, sans nucléus ni structure interne concentrique ou radiale (entre 4 μm et 2 mm) à la morphologie plus ou moins arrondie, plutôt ovoïde parfois en bâtonnet. Leur forme est moins ovoïde que les ooïdes (Purser 1980, Slansky 1992).

oolithique : (pétraarchéologie) structure majoritairement constituée par des oolithes*.

orbiculaire : (pétraarchéologie) structure majoritairement composée d'orbicules* (éléments globulaires lités ou radiés présentant une alternance de différentes espèces minérales).

plissé : (pétraarchéologie) propriété de la roche à présenter des rubanements plissés ; ceux-ci peuvent être de différents ordres : stylolithiques, ptygmatisques, etc.

fenestré : (pétraarchéologie) structure constituée de cavités de dégazage formant des vacuoles plus ou moins sphériques aplaties dans le plan S_0 du sédiment initial. Ces cavités sont isolées, en groupes ou interconnectées.

bréchique : (pétraarchéologie) structure à caractère de brèche (Slansky 1992), composée majoritairement d'éléments figurés anguleux.

conglomératique : (pétraarchéologie) structure à caractère de conglomérat, composée majoritairement d'éléments figurés arrondis.

annulaire : (pétraarchéologie) structure en forme d'anneaux concentriques.

clastique : (pétraarchéologie) structure constituée de débris de roches, de clastes et/ou de rares bioclastes.

fibre flexible : (pétroarchéologie) *filaments ou tiges courbes.*

fibre aciculaire : (pétroarchéologie) *structure caractérisée par la présence de cristaux en forme de fines aiguilles.*

Figuration structurelle (ou structure) acquise postérieurement à la diagenèse siliceuse : non observée, homogène, hétérogène, litée, plissé, zonée, fenestrée, bréchique, conglomératique, annulaire. Ce champ peut être multivalué.

Organisation de la structure : axiale, radiale, irrégulière, régulière

organisation axiale : (pétroarchéologie) *type de structure présentant des plans parallèles les uns aux autres selon un axe privilégié (qui peut être ou non l'allongement principal de la roche) (p. ex. : les laminations),*

organisation radiale : (pétroarchéologie) *type de structure présentant des plans parallèles les uns aux autres selon une géométrie de type angulaire (qui peut être ou non parallèle à l'enveloppe externe de la roche) (p. ex. : les zonations),*

organisation irrégulière : (pétroarchéologie) *organisation présentant différents types de structures dans une même zone de la roche (p. ex. : bioturbation, brèche, etc.),*

organisation régulière : (pétroarchéologie) *organisation présentant une même structure en tous points de la zone de la roche.*

Teinte d'origine : incolore, blanche, grise, noire, verte, indéterminable.

Minéralogie authigène principale : non observée, calcédonite, quartz, opale, lutécite, quartzine, pseudocalcédonite, autres, indéterminée. Ce champ peut être multivalué.

authigène : (pétrographie) *qualifie un minéral qui se forme dans le sédiment au cours de sa diagenèse ; son contraire est allogène (géologie) et se dit d'une roche qui ne s'est pas formée à l'emplacement où elle se trouve, en minéralogie, un minéral allogène est un minéral qui n'a pas pris naissance dans la roche où il se trouve ; des minéraux importés dans une roche, comme c'est le cas des minéraux détritiques ; (pétroarchéologie) pour les silicites, les minéraux authigènes sont ceux formés dans le sédiment silicifié ou lors de la diagenèse siliceuse.*

calcédonite : (minéralogie) *habitus microcristallin fibreux du quartz. La calcédonite représente une association de cristallites de quartz alternant avec de fines couches de silice hydratée (silanols) et parfois de moganite. Chaque fibre est constituée de cristallites à axe c perpendiculaires à l'allongement de la fibre, les axes peuvent tourner autour de la fibre, ce qui entraîne une variation de sa biréfringence.*

quartz : (minéralogie) *tectosilicate de la famille des "minéraux de la silice", de formule SiO_2 , rhomboédrique (trigonal). Comme pour tous les tectosilicates, sa structure est une charpente de tétraèdres SiO_4 . Il appartient au groupe des oxydes.*

opale : (minéralogie) *variété de silice hydratée, de formule $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, qui apparaît amorphe au microscope optique (éteinte en lumière analysée) et qui à la DRX donne des diagrammes de diffraction aux raies larges (qui traduisent la faible cristallinité du matériel), très larges centrée autour de 4,1 Å (opale CT), (Wilson et al. 1974 et Trauth et al. 1978, Graetsch 1994, Fröhlich 1981, 2006).*

lutécite : (minéralogie) habitus microcristallin fibreux du quartz. Les fibres sont groupées en faisceaux, ont un allongement positif et se rejoignent, non pas en un point central, mais suivant des droites, en dessinant des chevrons. Elles sont caractérisées par une extinction oblique ($Ng^{\wedge}C = 30^{\circ}$). On la rencontre essentiellement en produit de remplacement des sulfates.

quartzine : (minéralogie) habitus microcristallin fibreux du quartz distinct de la calcédonite par son allongement positif. Elle forme des agrégats de cristaux à morphologies variées (sphérolites, dendrites, fibres...).

pseudocalcédonite : (minéralogie) habitus microcristallin fibreux du quartz à allongement négatif.

moganite : (pétraarchéologie) tectosilicate monoclinique de formule SiO_2 , elle est considérée comme un polymorphe du quartz. Son habitus est fibreux à allongement positif, les fibres sont plus épaisses que celles de la calcédonite et souvent coudées. Si en 1994, l'Association Minéralogique Internationale (IMA) désapprouve sa définition de nouvelle espèce minérale, elle a depuis été reconnue par la commission des nouveaux minéraux (CNMNC). Sa fréquence est plus grande dans les silex des milieux lacustres.

Minéralogie authigène complémentaire : oxyde de fer, pyrite, glauconie, moganite, carbonate, calcite, dolomite, ankérite, phosphate, indéterminé lenticulaire, indéterminé dendritique, indéterminé rhomboédrique, autres.

Ce champ peut être multivalué.

oxyde de fer : (pétraarchéologie) oxyde ferrique Fe_2O_3 composé chimique résultant de la combinaison d'oxygène et de fer pigmentant en imprégnation la porosité des silicites.

pyrite : (pétraarchéologie) sulfure de fer (FeS_2) qui se présente souvent en cubes ou en concrétions dans les silicites de teinte noire et issu d'un environnement réducteur.

glauconie-glauconite : (pétraarchéologie-minéralogie) phase minérale argileuse authigène, riche en Fe^{3+} , intermédiaire entre les smectites et les illites, d'origine sédimentaire. La glauconie se forme exclusivement en milieu marin le plus souvent à des profondeurs de 50 à 500 m. La présence de matières organiques disponibles paraît jouer un rôle important dans sa formation. Elle se présente dans les roches sous la forme de grains hérités jusqu'à 3 mm vert foncé et à éclat gras.

carbonate : (pétraarchéologie) famille de minéraux, généralement rhomboédriques ou orthorhombiques, caractérisés par l'ion $(CO_3)^{2-}$, deux d'entre eux sont plus ou moins fréquents dans les silicites : la calcite et la dolomite. Un rhomboèdre est un volume à six faces losangiques.

calcite : (pétraarchéologie) carbonate de calcium, $CaCO_3$, de système rhomboédrique, d'habitus automorphe en scalénoèdres ou xénomorphe granulaire massif ou fibreux. Sous le microscope optique elle est incolore ou faiblement colorée en brun (LPNA). Sa biréfringence est élevée (teintes du troisième ordre). Elle est le principal constituant des roches sédimentaires carbonatées.

dolomite : (pétraarchéologie) carbonate de calcium, $(Ca,Mg)(CO_3)_2$, de système orthorhombique, d'habitus automorphe en prismes nets à clivage parfaits ou xénomorphe granulaire massif ou fibreux. Sous le microscope optique, la dolomite est incolore ou faiblement colorée en brun (LPNA). Sa biréfringence est plus élevée que celle de la calcite (teintes du troisième ordre). Elle est souvent marquée par des zones

de croissance plus ou moins riches en fer (ankérite). Elle est, avec la calcite, le principal constituant des roches sédimentaires carbonatées.

ankérite : (pétroarchéologie) carbonate ferreux rhomboédrique, $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$, proche de la dolomite. C'est une « dolomite » qui contient du Fe^{2+} , souvent accompagné de Mn.

phosphate : (pétroarchéologie) tout minéral contenant des ions phosphates tétraédriques $(\text{PO}_4)^{3-}$, comme par exemple, l'apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$ ou la monazite $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4$.

indéterminé lenticulaire : (pétroarchéologie) forme minérale qui a l'apparence d'une lentille héritée d'une phase précoce (gypse) remplacée (pseudomorphose) pendant la diagenèse siliceuse précoce et qui témoigne d'un environnement initial évaporitique.

indéterminé dendritique : (pétroarchéologie) 1) dépôt minéral en forme d'arborescences ramifiées, 2) dans les silicites il est le plus souvent constitué d'oxyde de fer et/ou de manganèse (Séronie-Vivien & Séronie-Vivien 1987). Attention, les croissances dendritiques sont fréquentes le long des fissures tardives des silicites. Dans ce cas les dendrites ne sont pas authigènes mais bien post-génétiques pré-dépositionnelles (donc à valeur gîtologique), voire post-génétiques post-dépositionnelle (donc à valeur taphonomique).

indéterminé rhomboédrique : (pétroarchéologie) forme issue de la pseudomorphose d'un carbonate initialement rhomboédrique.

Phase de liaison : non observée, cryptocristalline, microcristalline, mésocristalline, micro à mésocristalline, macrocristalline.

phase de liaison (ou matrice ou orthochème) : pour les roches sédimentaires, liant à grain fin enrobant les éléments figurés. Pour les roches carbonatées, elle est constituée de cristaux de 1 à 8 microns (au-dessus de 8 microns on parle de ciment). Le terme de micrite peut être utilisé pour la qualifier. Elle résulte de la précipitation chimique ou biochimique de carbonates.

En pétroarchéologie du silex, nous utilisons la grille de taille suivante :

- micro à mésocristalline : désigne une matrice à cristaux de 1 micron à 630 microns.
- cryptocristalline : désigne une matrice à cristaux de moins de 1 micron.
- microcristalline : désigne une matrice à cristaux de plus de 1 micron et moins de 4 microns.
- mésocristalline : désigne une matrice à cristaux de 4 microns à 630 microns.
- macrocristalline : désigne un ciment de plus de 630 microns et moins de 2 mm.

Les textures mésocristalline et macrocristallines sont visibles à l'œil nu. La plupart des silicites présentent des textures micro-à cryptocristalline seulement identifiables en lame mince.

Taille moyenne des constituants minoritaires de la phase de liaison : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

Nature majoritaire des allochèmes : indéterminée, minérale, lithoclastique, clastes de nature multiple, bioclastique, organismes mous, organismes massifs, organismes encroûtants, organismes à squelette creux, organismes à squelette branchus, absents.

allochème ou allochem : terme créé par Folk (1959), pour décrire des éléments figurés (lithoclastes, organiques, détritiques ou chimiques) qui participent à une roche calcaire. Il s'agit de débris dans le sédiment. Ce terme est réservé aux roches sédimentaires carbonatées ; (pétroarchéologie) le terme est utilisé en équivalence de clastes dans les silicites.

minéral : éléments figurés exclusivement minéraux.

lithoclaste : (pétroarchéologie) fragment inclus dans un sédiment ou une roche. Les extraclastes (ou exoclastes) sont des lithoclastes d'âge plus ancien et de nature distincte du sédiment – ou de la roche – qui les contient. Les intraclastes sont du même âge et de nature similaire. Les endoclastes sont des particules du même âge mais de natures différentes. Du fait des diagenèses multiples subies par les silicites, les intraclastes correspondent à des éléments hérités du protolithe (p. ex. : plages crayeuses contenues dans certains silex du Crétacé supérieur), les endoclastes sont des fragments issus du protolithe mais que la diagenèse siliceuse a modifié tant en forme qu'en composition chimique (p. ex. : éléments constitutifs des brèches de silicrète) et les extraclastes sont des éléments intrusifs dans le protolithe (p. ex. : grains de quartz détritique, muscovite, etc.).

clastes de nature multiple : (pétroarchéologie) éléments figurés de nature différente (lithoclastique, organique et/ou chimique).

bioclastique : (pétroarchéologie) éléments figurés exclusivement constitués par des restes de fossiles.

organisme mou : (pétroarchéologie) plantes et animaux à squelette interne, qui se désintègrent après la mort et libèrent des microparticules (codiacées, etc.).

organisme massif : (pétroarchéologie) certains coraux coloniaux et certaines algues telles que les Lithothamniées.

organisme encroûtant : (pétroarchéologie) très résistants ils comprennent certaines algues, les Lithothamniées, des coraux et des bryozoaires.

organisme à squelette creux : (pétroarchéologie) ce sont les gastropodes, lamellibranches, brachiopodes, foraminifères, échinodermes, etc. Leur degré de clasticité est dépendant de leur taille.

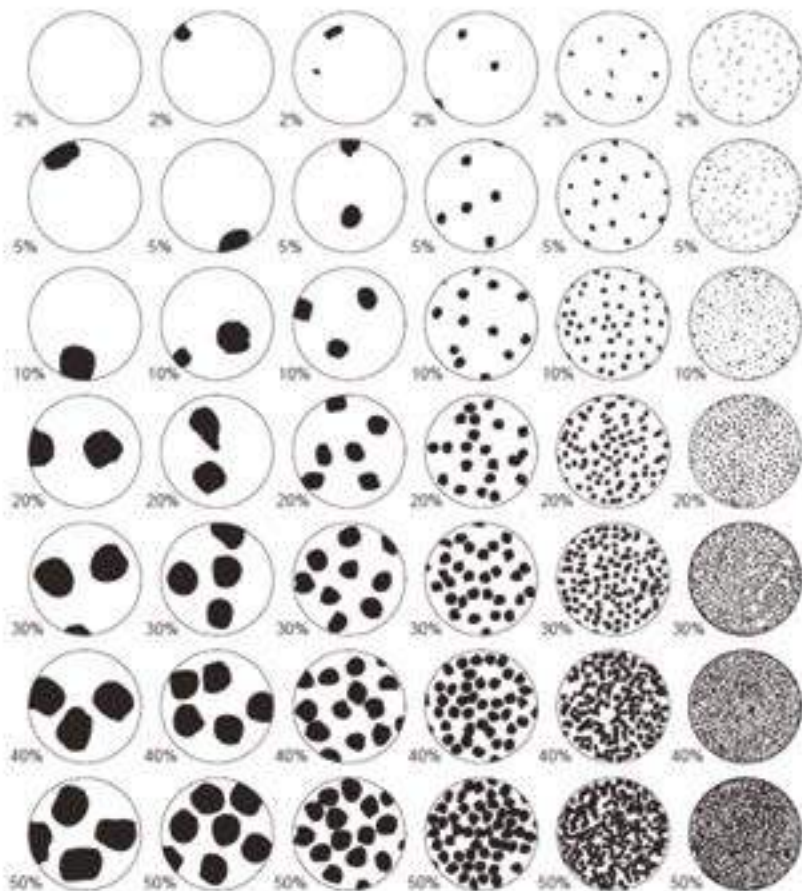
organisme à squelette branchu : (pétroarchéologie) polypier, algue rouge, des bryozoaires.

Abondance des allochèmes (Fig. 2) : champ alphanumérique en classe de pourcentage : non observée, RAS.

abondance : (pétrographie, pétroarchéologie) c'est la mesure de la surface globale des clastes par rapport à la surface totale du champ mesuré au sein de l'échantillon. Dans le cadre de notre protocole, elle est évaluée selon la charte établie par Bullock et al. (1985).

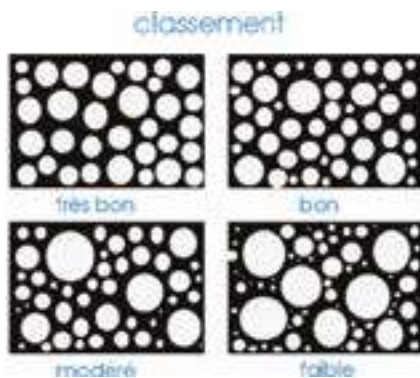
Taille minimum et maximum des allochèmes : champ alphanumérique avec les deux valeurs extrêmes en microns ou millimètres, dont : non mesurée, RAS.

Classement des allochèmes (Fig. 3) : non observé, très bon, bon, modéré, faible, très faible, RAS.



2. Abondance des allochèmes d'après Bullock *et al.* 1985.

2. *Abundance of allochems after Bullock et al. 1985.*



3. Classement des allochèmes d'après Boulvain (2023).

3. *Sorting of allochems after Boulvain (2023).*

classement : (*péetrographie, péetroarchéologie*) exprime le tri granulométrique qualitatif des allochèmes hérités (allogène, donc hors intraclastes et endoclastes). Dans le cadre de notre protocole, il est évalué selon la charte établie par Boulvain (2023).

Répartition des allochèmes : homogène, hétérogène, orientée, laminée, granoclassée, bimodale, absent, RAS.

homogène : (*péetroarchéologie*) la diversité des éléments figurés observés (aussi bien en termes de nature que d'abondance) est retrouvée en tout point de l'échantillon.

hétérogène : (*péetroarchéologie*) la diversité des éléments figurés observés (aussi bien en termes de nature que d'abondance) n'est pas retrouvée en tout point de l'échantillon.

orienté : (*sédimentologie, péetroarchéologie*) les éléments figurés allongés présentent tous une orientation similaire, généralement dans l'axe de la S_0 .

laminé*

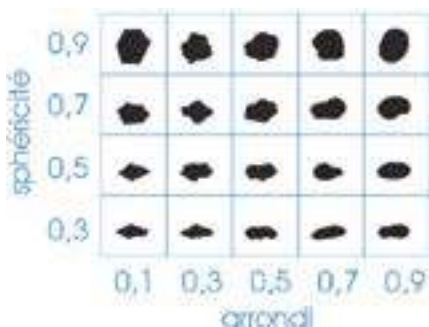
granoclassé*

bimodal : (*péetroarchéologie*) présence de deux tailles de grains en tout point de l'échantillon.

Taille moyenne des allochèmes : champ alphanumérique (notion de moyenne et d'écart) à deux valeurs moyennes, non mesuré, RAS.

taille moyenne : mesure de la dimension des allochèmes hérités les plus nombreux.

Sphéricité des allochèmes (Krumbein & Sloss 1955 ; Fig. 4) : champ alphanumérique, dont RAS et non observée, ce champ peut être multivalué.



4. Sphéricité et arrondi des allochèmes d'après Krumbein & Sloss 1955.
4. Sphericity and roundness of allochems after Krumbein & Sloss 1955.

morphoscopie : (*sédimentologie*) discipline qui vise à décrire la forme des grains par leur arrondi et leur sphéricité. La forme des particules sédimentaires est une propriété importante à partir de laquelle on peut formuler des hypothèses concernant le vecteur du transport et l'origine géographique.

sphéricité : (*sédimentologie, péetroarchéologie*) méthode qui permet de représenter des particules de formes quelconques par une valeur évaluant si le grain (ou le claste) s'approche ou s'éloigne de la forme sphérique. Dans le cadre de notre protocole, elle est évaluée selon la charte établie par (Krumbein & Sloss 1955).

Arrondi des allochèmes : champ alphanumérique, dont RAS et non observé, ce champ peut être multivalué.

arrondi : (*sédimentologie*) méthode qui permet d'évaluer l'usure des arêtes d'un grain ou d'un claste. Dans le cadre de notre protocole, elle est évaluée selon la charte établie par (Krumbein & Sloss 1955).

Nature des minéraux détritiques les plus fréquemment identifiés dans les silicites (Fig. 5) : quartz, zircon, muscovite, biotite, orthose, tourmaline, autres, absents, indéterminée. Ce champ peut être multivalué. Les descriptions qui sont données ici ne sont utiles que si l'observateur possède les connaissances suffisantes au sujet de l'extinction, le relief et la teinte des minéraux en question.

minéraux détritiques : se dit de minéraux allogènes qui proviennent de la désagrégation d'une roche préexistante.

quartz* (*dont quartz fumé*).

zircon : (*minéralogie, pétroarchéologie*) silicate de zirconium, quadratique, de couleur très variable à incolore. De formule $ZrSiO_4$ avec de fréquentes traces de thorium et d'uranium radioactifs présents en substitution dans le cristal. Ce minéral est très résistant à l'altération et à l'abrasion.

muscovite (mica blanc) : (*minéralogie, pétroarchéologie*) silicate hydraté d'aluminium et de potassium, monoclinique allongé et lamellaire. De formule $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$. En LPA, elle présente des teintes très vives et pures : bleu, vert, jaune, etc. et une extinction droite. En LPnA, ce minéral incolore présente un relief moyen.

biotite (mica noir) : (*minéralogie, pétroarchéologie*) silicate hydraté d'aluminium et de fer ou de magnésium : $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$, monoclinique allongé et lamellaire à l'éclat métallique noir en macroscopie. En LPA, elle présente des teintes vives (biréfringence moyenne). En LPnA, ce minéral pléochroïque est à relief moyen et de teinte brun clair.

orthose : (*minéralogie, pétroarchéologie*) Feldspath monoclinique $K(Si_3AlO_6)$ couramment retrouvé dans les roches granitiques.

tourmaline : (*minéralogie, pétroarchéologie*) minéral borosilicate de la famille des cyclosilicates rhomboédriques en prismes allongés à pléochroïsme inverse. Ce minéral très résistant (appartient aux phases minérales héritées au même titre que le zircon).

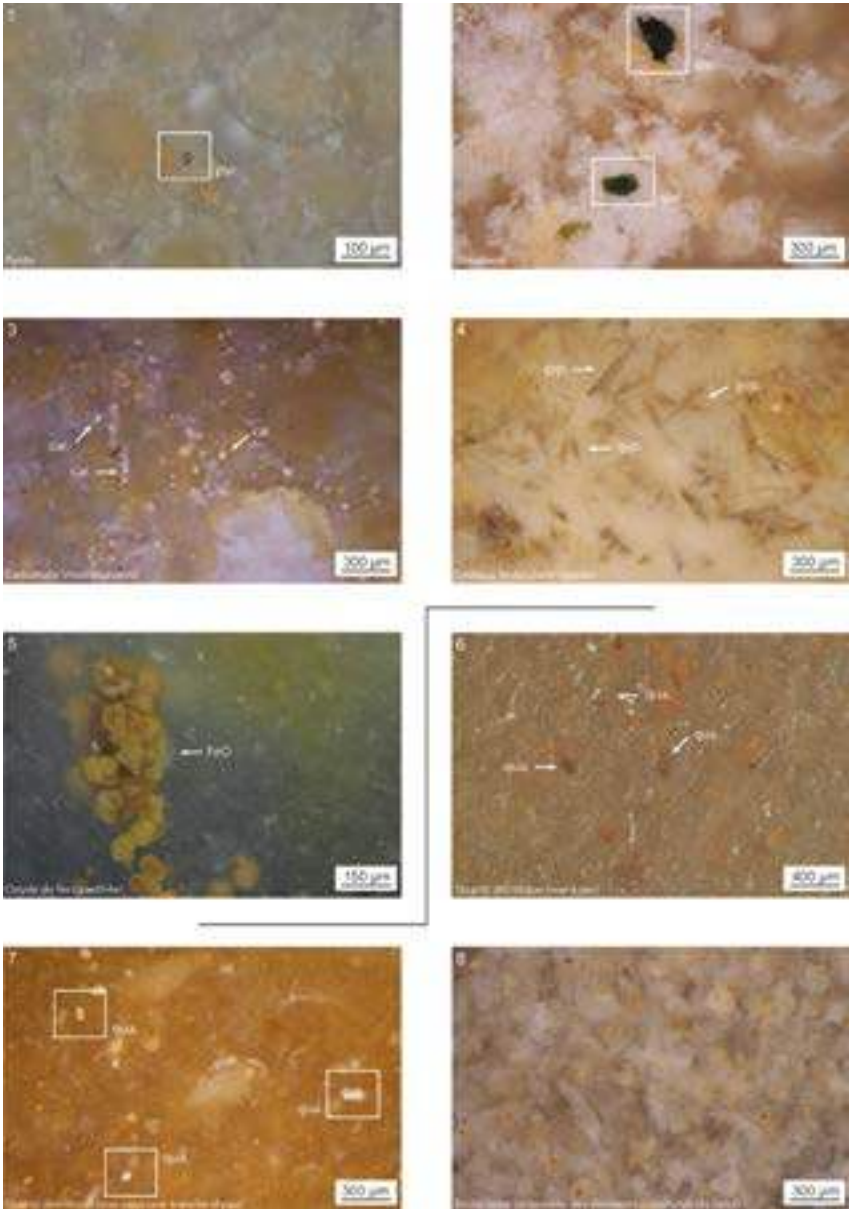
Abondance relative de la phase détritique : champ alphanumérique en pourcentage, < 10 %, (10 % à 20 %), (20 % à 30 %), (30 % à 40 %), (40 % à 50 %), (50 % à 60 %), (60 % à 70 %), (70 % à 80 %), (80 % à 90 %), 100 %, non mesurée, RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Taille moyenne de la phase détritique : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

Sphéricité moyenne de la phase détritique (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

sphéricité*

Arrondi moyen de la phase détritique (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, dont : non mesuré, RAS (rien à signaler).



5. Exemples de quelques minéraux authigènes (1 à 5) et de lithoclastes (6 à 8).
5. Examples of some authigenic minerals (1 to 5) and lithoclasts (6 to 8).

arrondi*

Abondance relative de la glauconie : champ alphanumérique en pourcentage, < 10 %, (10 % à 20 %), (20 % à 30 %), (30 % à 40 %), (40 % à 50 %), (50 % à 60 %), (60 % à 70 %), (70 % à 80 %), (80 % à 90 %), 100 %, non mesurée, RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

glauconie*

Taille moyenne de la glauconie : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

Sphéricité de la glauconie (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

sphéricité*

Arrondi de la glauconie (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

arrondi*

Autres extraclastes : champ texte libre, dont : absents (p. ex. : argileux, métamorphique, volcanique, autre).

extraclaste (voir lithoclaste*)

Abondance des autres extraclastes : champ alphanumérique en pourcentage, < 10 %, (10 % à 20 %), (20 % à 30 %), (30 % à 40 %), (40 % à 50 %), (50 % à 60 %), (60 % à 70 %), (70 % à 80 %), (80 % à 90 %), 100 %, non mesurée, RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Taille moyenne des autres extraclastes : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

Sphéricité des autres extraclastes (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

sphéricité*

Arrondi des autres extraclastes (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, dont : non mesuré, RAS.

arrondi*

Abondance relative des intraclastes : champ alphanumérique en pourcentage, < 10 %, (10 % à 20 %), (20 % à 30 %), (30 % à 40 %), (40 % à 50 %), (50 % à 60 %), (60 % à 70 %), (70 % à 80 %), (80 % à 90 %), 100 %, non mesurée, RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Taille moyenne des intraclastes : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

Sphéricité moyenne des intraclastes (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

sphéricité*

Arrondi moyen des intraclastes (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, dont : non mesuré, RAS.

arrondi*

Abondance relative des endoclastes : champ alphanumérique en pourcentage, < 10 %, (10 % à 20 %), (20 % à 30 %), (30 % à 40 %), (40 % à 50 %), (50 % à 60 %), (60 % à 70 %), (70 % à 80 %), (80 % à 90 %), 100 %, non mesurée, RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Taille moyenne des endoclastes : champ alphanumérique, dont : non mesurée, RAS.

Sphéricité moyenne des endoclastes (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, et non mesurée, RAS.

sphéricité*

Arrondi moyen des endoclastes (Krumbein & Sloss 1955) : champ alphanumérique, et non mesuré, RAS.

arrondi*

Abondance relative de la composante chimique : champ alphanumérique en pourcentage, < 10 %, (10 % à 20 %), (20 % à 30 %), (30 % à 40 %), (40 % à 50 %), (50 % à 60 %), (60 % à 70 %), (70 % à 80 %), (80 % à 90 %), 100 %, non mesurée, RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

composante chimique : (sédimentologie) elle correspond à l'ensemble des éléments figurés formés dans le même environnement de dépôt que la roche par précipitation chimique ou biochimique. Elle se décompose en plusieurs catégories : les formes pelloïdes, les agrégats, les ooides et les oncoïdes d'origine minérale (Fig. 6).

Formes pelloïdes : non observées, absentes, *coated grain*, *vadoids*, pelloïdes, gravelle, indéterminées. Ce champ peut-être multivalué.

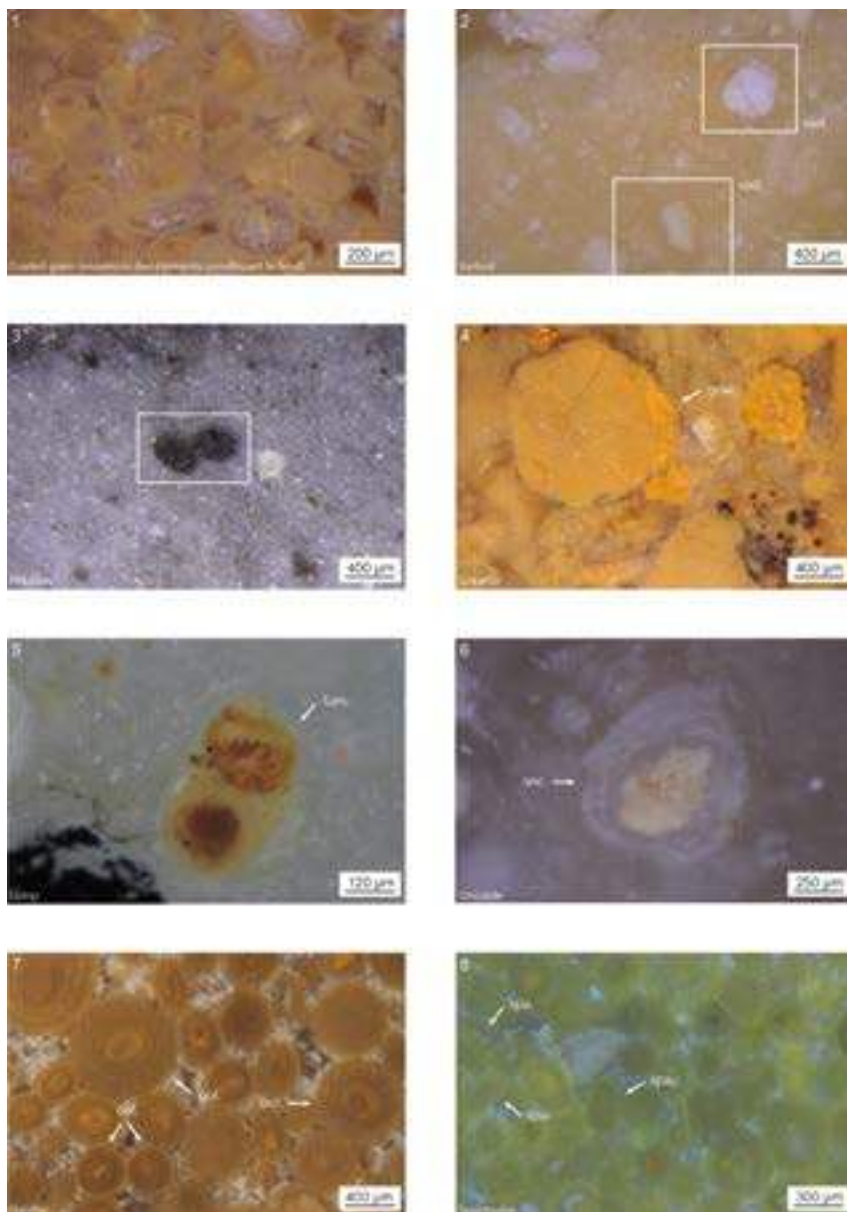
coated grain : (pétroarchéologie) terme générique qui correspond à l'ensemble des éléments figurés d'origine chimique ou biochimique présentant une enveloppe autour d'un grain squelettique.

vadoid : (pétroarchéologie) grains plus ou moins arrondis issus d'un remplacement épigénétique d'un corps organique développé dans un environnement vadose (Peryt 1983). Forme fréquente dans les silcrètes pédogénétiques.

pelloïde ou péloïde*

gravelle : (sédimentologie, pétroarchéologie) petit grain de la taille d'un gravier (0,5 à 3 mm de diamètre), arrondi ou émoussé, de même nature que la roche encaissante car provenant de la même source, se distinguant du ciment.

Abondance relative des formes pelloïdes : champs alphanumériques en pourcentage, abondantes (plus de 50 %), fréquentes (de 25 à 50 %), rares (de 10 à 25 %), très rares (moins de 10 %), RAS, non observée, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.



6. Exemples d'éléments de la composante chimique.
6. *Examples of some elements of the chemical component.*

Agrégats : absents, *lumps*, *mudballs*, *grapestone*, indéterminés. Ce champ peut être multivalué.

lump : (sédimentologie, pétroarchéologie) agrégat à morphologie irrégulière lié à l'agglutination de grains ou de graviers (Illing 1954). Ils correspondent à une lithification synsédimentaire en milieu calme et peu profond.

mudball : (sédimentologie, pétroarchéologie) masses de boue plurimillimétriques à pluricentimétriques, plus ou moins sphériques dans les roches sédimentaires.

grapestone : (pétroarchéologie) agrégat composé de pelloïdes, de bioclastes et/ou de coated grain cimentés.

Abondance relative des agrégats : champs alphanumériques en pourcentage, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, non observée, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Ooïdes et Oncoïdes, noms génériques regroupant l'ensemble des termes suivants : les ooïdes indiquent des milieux agités apparentés aux passes des lagons actuels. On peut subdiviser les ooïdes en plusieurs groupes : les oolithes, les sphérolithes, les spastholites et bahamites, oolithes de type α , oolithes de type β , oolithes de type γ , pseudo-oolithes, oolithes superficielles enfin les grains composites. On peut subdiviser les oncoïdes en deux groupes : les oncolithes et les pisolites ; absent. Ce champ peut être multivalué.

oolithe : (sédimentologie, pétroarchéologie) petites sphères à nucléus (bioclaste ou lithoclaste) de 0,5 à 2 mm de diamètre caractérisées par la prédominance de laminations corticales concentriques d'origine primaire (Purser 1980). La plupart des oolithes semblent se former par précipitation chimique (ou biochimique) du CaCO_3 . Elles peuvent être subdivisées en trois groupes selon la nature des laminations avec :

- les oolithes de type α , la lamination tend à régulariser la morphologie du nucléus : il s'agit d'oolites provenant de milieux marins agités,
- les oolithes, de type β , avec une lamination qui conserve plus ou moins la forme du nucléus, il s'agit d'oolites qui proviennent des milieux marins abrités et des milieux continentaux (grotte),
- les oolithes γ avec un cortex laminé qui tend à se développer asymétriquement sur un côté du nucléus : ces oolites se rencontrent en milieu lagunaire.

spastholite : (sédimentologie, pétroarchéologie) oolithes déformées, souvent aplaties (Pomerol et al. 2005).

sphérolithe : ooïdes dont le cortex montre une structure radiaire (Purser 1980).

bahamite (Beales 1958) : (sédimentologie) 1) calcaires littoraux de plateforme à grains accréionnés, 2) pour Blanc (1968), il s'agit de calcarénite hétérométrique à intraclastes, 3) (pétroarchéologie) ooïdes à cortex, dépourvus de structure concentrique ou radiaire, parfois assimilés aux pseudo-oolithes par l'école française, Carozzy (1957), Leneup (1962). La nature cryptocristalline, sans texture nette des bahamites résulte probablement d'un processus diagénétique synsédimentaire (Purser 1980).

oncolithe : (*sédimentologie, pétroarchéologie*) ooïdes formés par encroûtement d'origine algaire ou microbienne dont la morphologie externe irrégulière est marquée de concavités. Les oncolithes sont issus de milieux marins ou fluviaux peu profonds, à agitation intermittente (forme actuelle rhodolithe).

pisolithe : (*sédimentologie, pétroarchéologie*) grandes ooïdes de diamètre supérieur à 2 mm, généralement calcaire, à structure concentrique, issues de la précipitation directe ou induite par des algues (voir oncolithes). Il existe des pisolithes ferrugineuses dans les altérations et paléo altérations.

pseudo-oolithe : (*sédimentologie, pétroarchéologie*) élément nucléé, mais indéterminé, d'une forme proche de celle des ooïdes. Ce sont des éléments clastiques calcaires, organiques ou non, sub-arrondis mais complètement dépourvus de couches concentriques. Les pseudo-oolithes, étroitement liées aux oolithes du point de vue génétique, sont en fait des noyaux d'oolithes non encore concrétionnés, associés à n'importe quel type de minéral détritique.

grain composite : (*sédimentologie, pétroarchéologie*) oolithes plurinucléées.

Abondance relative des ooïdes et oncoïdes : champ alphanumérique en pourcentage, abondants (plus de 50 %), fréquents (de 25 à 50 %), rares (de 10 à 25 %), très rares (moins de 10 %), RAS, non observée, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Autres éléments chimiques : à préciser.

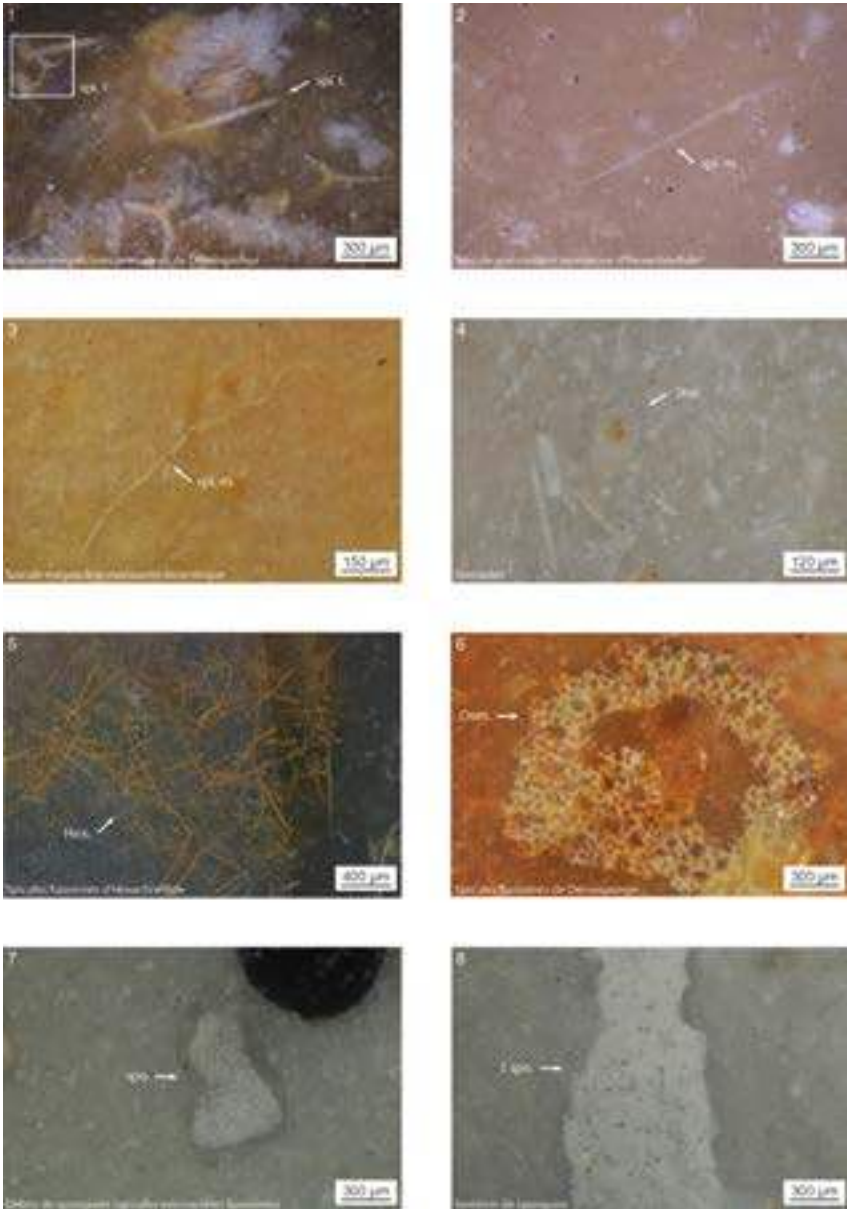
Abondance relative des autres éléments chimiques : champ alphanumérique en pourcentage, abondants (plus de 50 %), fréquents (de 25 à 50 %), rares (de 10 à 25 %), très rares (moins de 10 %), RAS, non observée, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Abondance relative de la composante bioclastique : champ alphanumérique en pourcentage, < 10 %, (10 % à 20 %), (20 % à 30 %), (30 % à 40 %), (40 % à 50 %), (50 % à 60 %), (60 % à 70 %), (70 % à 80 %), (80 % à 90 %), 100 %, non mesurée, RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Spongiaires (Fig. 7) : non observés, absents, RAS, débris de spongiaire, démosponges, mégasclères monoaxones, mégasclères tétraxones, éponge hexactinellides, mégasclères, triaxones, microsclères, toxes, sterrasters, sycon. Ce champ peut être multivalué.

spongiaire (Précambrien à l'actuel) : (*biologie, pétroarchéologie*) métazoaire fixé à paroi criblée de pores permettant la circulation de l'eau dans une cavité centrale (Moret 1935, Boury-Esnault & Rützler 1997). La nature chimique du squelette des spongiaires permet une première classification. Certaines espèces sont uniquement formées de tissus mous et ne sont donc pas conservées (Myxosponges). D'autres possèdent un endosquelette rigide de nature siliceuse (silicisponges) ou calcaire (calcisponges) constitué de spicules. Les éponges calcaires fossiles sont rarement bien conservées et sont peu utilisées. Par contre les éponges siliceuses sont des fossiles mieux connus. Elles sont divisées en deux groupes : les hexactinellides comprenant (les Lyssacines et les Dictyonines) et les démosponges (Tétracladina) auxquelles on rattache Lithistida.

débris de spongiaire : (*biologie, pétroarchéologie*) fragments inframillimétriques à centimétriques de spongiaires présents dans les roches sédimentaires.



7. Exemples d'éléments fossiles de spongiaire observés dans des silicites.
7. Examples of some fossilized elements of sponge observed in silicites.

démosponges : (biologie, pétroarchéologie) groupe de spongiaires siliceux qui désigne les éponges présentes dans tous les environnements aquatiques (lacustre, marin, polaire, tropical, abyssal profond, etc.). Leur squelette est formé de deux composants : des spicules (ou mégasclères et microsclères siliceux) et du collagène. Les spicules sont très solidement articulés les uns aux autres. Ils sont monoaxones ou tétraxones à canal médullaire formant un triangle au croisement des axes. Cette classe est fréquente dans les mers chaudes relativement peu profondes. Les démosponges forment un groupe hétérogène regroupant trois familles distinctes :

- les monactinellides dont les spicules sont monoaxones (développés autour d'un seul axe). Ceux-ci sont dits monactines, s'ils ne présentent qu'une pointe et diactines s'ils en ont deux. Ces éponges croissent sur les littoraux dans la zone de balancement des marées.
- les tetractinellides, qui vivent aux environs de 90 m de profondeur, se distinguent par leurs squelettes siliceux composés de spicules tétraxones (quatre branches associées comme les perpendiculaires menées du centre d'un tétraèdre régulier vers les surfaces).
- les lithistides sont affiliées aux mers chaudes de faible profondeur, entre 100 m et 350 m. Leurs spicules, caractéristiques, sont déformés par un revêtement secondaire de silice (les desmes).

mégasclère de démosponges : (biologie, pétroarchéologie) spicules de grande taille (de 10 microns à 1 mm), qui participent au squelette. Ils sont divisés selon le nombre d'axes de symétrie : un seul axe (mégasclère monoaxone) ou quatre axes (mégasclère tétraxone) et de rayons ou pointes (monoactine, diactine, tétractine).

hexactinellides : (biologie, pétroarchéologie) les hexactinellides, dont certaines espèces peuvent vivre jusqu'à 6 000 m de profondeur, se développent aujourd'hui massivement entre 200 m et 500 m, bien qu'un approfondissement progressif de leur milieu de vie au fil des temps géologiques ait été constaté dans les enregistrements fossiles. Cette classe se caractérise par une architecture osseuse résultant de l'association de spicules triaxones hexactines (trois branches associées perpendiculairement selon les 3 axes de l'espace et formant six pointes). On distingue les lyssacines dont les spicules sont à peine soudés ou indépendants les uns des autres, des dictyonines chez lesquelles le réseau de spicules est dictyonal (réseau squelettique solide composé de mailles régulièrement cubiques de spicules hexactines soudés symétriquement). Pour ces dernières, les nœuds du réseau squelettique peuvent être pleins (sous-famille des Hexactinosa) ou ajourés (sous-famille des Lychnicosa).

mégasclère d'hexactinellides : (biologie, pétroarchéologie) spicules de grande taille (de 10 microns à 1 mm) à trois axes perpendiculaires (mégasclère triaxone), dont les axes déterminent six branches formant un ensemble hexactine.

microsclère : (biologie, pétroarchéologie) spicules de petite taille (de 1 à 100 microns) qui ne participent pas au squelette, à symétrie compliquée et souvent décorés.

toxe : (biologie, pétroarchéologie) spicules siliceux de petite taille (microsclères) en forme d'arc ou d'accent circonflexe, et présent chez les démosponges (spongiaires).

sterraster : (biologie, pétroarchéologie) microsclères multiaxiaux de forme sphérique, creuse et à structure radiante.

sélénaster (en forme de cœur) : (biologie) microsclères courbés en forme de cœur de moins de 100 µm.

oxyaster : (biologie) microsclères en forme d'étoile de 30 à 50 µm.

birotule : (biologie), microsclères à deux extrémités sphériques, moins de 100 µm.

ancre : (biologie), microsclères en forme d'ancre.

isochèle : (biologie) microsclères en forme de pince à mors égaux, à l'aspect d'un C majuscule.

anisochèle : (biologie) microsclères en forme de pince dissymétrique à mors égaux, à l'aspect de C majuscule.

sycon : (biologie, pétroarchéologie) genre d'éponge à appareil canalifère de forme allongée à paroi épaisse.

État de conservation des spongiaires : non observé, RAS, encroûtés, fragments centimétriques, fragments millimétriques, fragments inframillimétriques, débris de toutes tailles, entiers, roulés, architecture de spicules. Ce champ peut être multivalué.

encroûté : (pétroarchéologie) formant un dépôt fixé sur un autre claste.

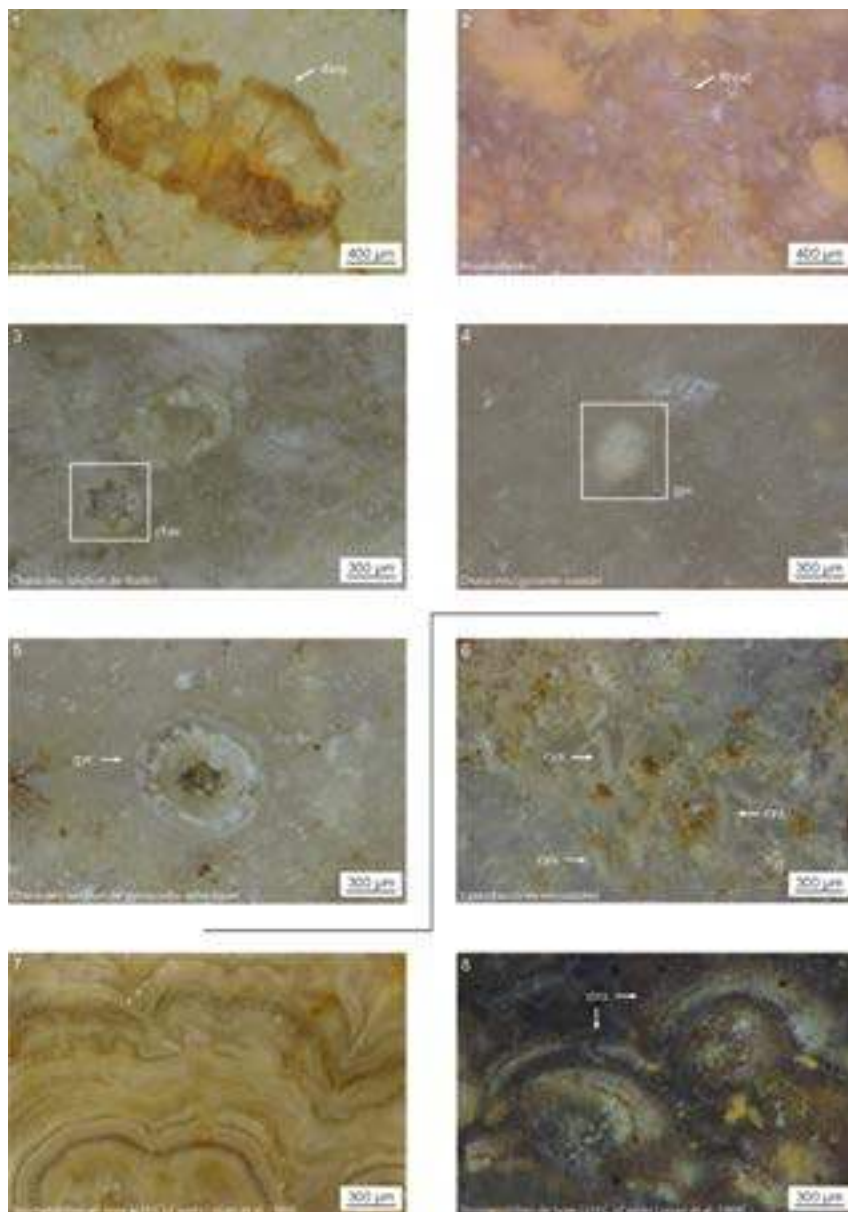
architecture de spicules : (pétroarchéologie) l'architecture du squelette est préservée.

Abondance des spongiaires : champ alphanumérique en pourcentage, non observée, RAS, abondants (plus de 50 %), fréquents (de 25 à 50 %), rares (de 10 à 25 %), très rares (moins de 10 %), pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Algues (Johnson 1954, 1964 ; Bouroullec & Deloffre 1968 ; Poignant 1974 ; Bassoulet *et al.* 1978 ; Deloffre & Poignant 1978 ; Bignot 2001 ; Dragastan 2008 ; Génot & Granier 2011) : absentes, non observées, chlorophycées, tiges de characées, gyrogonites de characées, bryopsidales ou codiacées, dasycladacées, rhodophycées, corallinacées, soléoporacées, gymnocodiacées, diatomées, indéterminées. Ce champ peut être multivalué (Fig. 8).

chlorophycées (Cambrien à l'actuel) : (pétroarchéologie) algues vertes (la chlorophylle est le pigment prépondérant) des eaux douces et marines, à reproduction sexée. Elles se divisent en deux ordres : les dasycladacées, et les bryopsidales (anciennement les codiacées). Elles sont unicellulaires ou pluricellulaires, constituant alors des thalles d'aspects variés qui forment soit des filaments cellulaires simples ou ramifiés (*Cladophora*), en lame (*ulves*) ou en tube (entéromorphes), soit des filaments siphonnés souvent associés entre eux pour former des thalles de formes diverses (*Codium*, *Halimeda*...).

characées (Silurien à l'actuel avec trois points d'acmé - au Dévonien, au Crétacé inférieur, au Cénozoïque) : (pétroarchéologie) famille de végétaux qui incluait plusieurs groupes d'algues vertes (*Chlorophyta*, mais aujourd'hui classé dans le clade des *Streptophyta*) dont les charophytes. Elles sont composées d'un axe (tige) portant des rameaux à la naissance desquels fructifient des oogones, appelés gyrogonites à l'état fossile. La nomenclature des formes fossiles de cette classe se fonde sur la morphologie des organes reproducteurs : nombre et orientation des cellules, absence ou présence d'une enveloppe, taille, forme générale (large ou allongée), forme des spires (concave ou convexe), forme de l'apex (ouvert, pointu, surbaissé), épaisseur de la paroi, épaisseur de la plaque basale (quand elle est conservée) et type d'ornementation. Le mode de dispersion de ces organismes (hydrogamie) favorise le mélange des



8. Exemples d'algues (1 à 5) et de bactéries (6 à 8) fossilisées observées dans des silicites.
8. Examples of fossilized algae (1 to 5) and bacteria (6 to 8) observed in silicites.

assemblages fossiles. La présence ou l'absence de tiges de charophytes associées à un ou plusieurs types de gyrogonites participent pleinement à la signification paléozoologique du milieu de formation.

bryopsidales (ordre comprenant les codiacées) (Cambrien à l'actuel) : (pétoarchéologie) famille des algues vertes marines, à membranes incrustées de calcaire. Elles se composent d'une seule cellule géante plurinucléée (coenocyte) à structure siphonnée, c'est-à-dire que la médulla centrale est composée de tubes branchus, entremêlés et dépourvus de cloison centrale. La couche externe carbonatée est percée de tubes latéraux qui sont soit disposés parallèlement les uns aux autres, soit de façon radiée. Ces algues ont généralement un port vertical et s'organisent sous la forme de « cactus à raquettes miniatures » (Mathieu et al. 2011). Elles se présentent également en filaments dispersés en tous sens constituant des coussinets encroûtants ou en éventail dans un plan. À la mort de l'individu, la fragilité du thalle entraîne une fragmentation importante. La diversité dans les formes de réseau cellulaire interne que présentent ces fragments rend difficile toute attribution spécifique, voire génétique. De nombreuses formes fossiles sont connues, les principaux genres étant *Halimeda*, *Microcodium*, *Lthocodium* et *Penicillus*.

dasycladacées (Cambrien à l'actuel) : (pétoarchéologie) famille d'algues vertes marines siphonnées à membrane calcaire. Ce sont des algues à thalles uninucléés portant des ramifications verticillées. Leur taille est variable allant de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres. Une fois mort, l'organisme se désagrège. Il ne reste que la partie carbonatée qui est retrouvée dans les roches sous la forme d'un manchon percé de pores entourant une médulla centrale. La distinction des espèces se fonde sur la forme et la taille du thalle et des ramifications ainsi que sur le nombre et l'aspect des pores. Les *Dasycladales* vivent sous des climats tropicaux ou tempérés chauds, dans des milieux hyperhalins peu profonds, généralement à proximité ou en arrière du récif. Les calcisphères, petites boules creuses de calcaires dépourvues d'ouverture et inférieures à 100 microns, semblent être les organes reproducteurs femelles des dasycladacées.

rhodophycées (Protérozoïque à l'actuel, avec un point d'acmé de la fin du Jurassique au début du Cénozoïque) : (pétoarchéologie) algues rouges, elles sont en majorité des algues marines. Ce sont des algues à cellules plurinucléées formées par la juxtaposition de files de cellules polyédriques homométriques de quelques microns, formant un quadrillage à mailles serrées. La fragmentation des individus avant leur fossilisation rend difficile les déterminations. L'infra-règne des rhodophytes calcaires est lui-même séparé en trois ordres : les corallinacées, les solénoporacées et les gymnocodiacées.

corallinacées : (pétoarchéologie) les corallinacées sont subdivisées en deux sous-groupes : les mélobésiées et les corallinées. Les mélobésiées se distinguent sur la base de leur port (encroûtant, comme le genre *Lithothamnium*, ou arborescent) et des morphologies de l'hypothalle (structure interne) et du périthalle (structure externe). Elles vivent dans les milieux marins agités de 0 à 30 mètres pour les formes arborescentes et jusqu'à 100 mètres pour les formes encroûtantes. Les corallinées sont des algues à structure articulée et port arborescent montrant une structure en gerbe. Les corallinacées, généralement très fragmentées à l'état fossile, sont très difficiles voire impossibles à déterminer spécifiquement ou génériquement.

solénoporacées : (pétoarchéologie) les solénoporacées sont des algues encroûtantes dont le thalle de forme circulaire ou elliptique présente une structuration du réseau cellulaire en faisceaux radiés entourés par de fins liserés micritiques. Elles vivent dans les zones marines agitées des milieux tropicaux à tempérés chauds.

gymnocodiacées : (*pétroarchéologie*) les gymnocodiacées sont des algues arborescentes dont les formes les plus fréquentes (genre *Permodaculus*) sont constituées de segments creux, en forme de manchon ménageant un canal axial dont les parois sont perforées de pores obliques s'élargissant parfois vers l'extérieur. À la mort de l'individu, les segments se dispersent dans le sédiment. En coupe tangentielle, ces éléments apparaissent sous forme de plaques percées de pores. Tout comme les autres rhodophytes, les gymnocodiacées se développent dans les milieux à hydrodynamisme fort (barrière) sous des climats plutôt chauds.

diatomées (Toarcien ? ou Barrémien à l'actuel) : (*pétroarchéologie*) groupe d'algues unicellulaires chlorophylliennes des eaux douces ou marines planctoniques, benthiques ou dulçaquicoles leur accumulation massive dans certains sédiments a donné naissance aux diatomites. Seules les frustules (coque ou lorica) siliceuses se conservent. Leur systématique repose sur la forme et l'ornementation des frustules. On distingue les diatomées centrales (à valves rondes ou polygonales et à symétrie radiale des pores) et les Pennales (à valves elliptiques et disposition bilatérale des pores).

État de conservation des algues ou des bactéries : non observé, RAS, encroûtement, fragments centimétriques, fragments millimétriques, fragments inframillimétriques, débris toutes tailles, entiers, roulés.

Abondance des algues ou des bactéries : champ alphanumérique en pourcentage, non observée, abondantes (plus de 50 %), fréquentes (de 25 à 50 %), rares (de 10 à 25 %), très rares (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

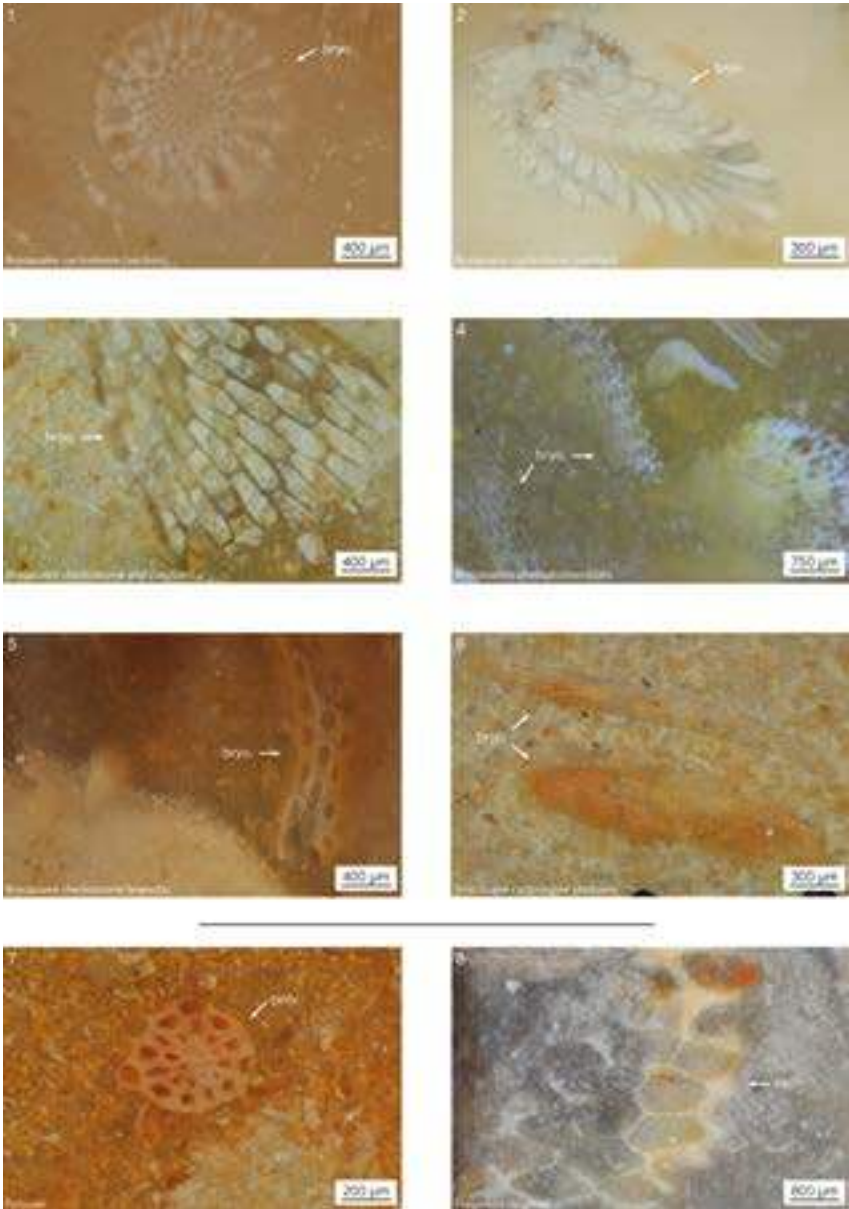
Cyanobactéries et stromatolithes (Fig. 8) : champ alphanumérique en pourcentage, non observées, abondantes (plus de 50 %), fréquentes (de 25 à 50 %), rares (de 10 à 25 %), très rares (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

cyanobactéries (ou cyanophytes) : (*pétroarchéologie*) d'après la nomenclature communément admise (Rippka et al. 1979), elles se répartissent en cinq ordres : les *Chroococcales*, les *Pleurocapsales*, les *Oscillatoriales*, les *Nostocales*, et les *Stigonématales*. Ces organismes se présentent sous la forme d'assemblage de petits bâtonnets non cloisonnés d'une longueur inférieure à 100 microns et ont tendance à former des filaments engagés dans la constitution des stromatolithes.

stromatolithes (Précambrien à l'actuel) : (*pétroarchéologie*) structures laminées de taille variable (millimétrique à métrique) dues à l'activité des algues (rhodophycées et Cyanophycées) constituées principalement de particules détritiques piégées ou précipitées se présentant sous forme de tapis à structures laminaires très variées : plates, convexes ou sphériques. Les stromatolithes actuels atteignent leur développement maximum à la limite supérieure de l'étage intertidal (Purser 1980). Fondée sur leur morphologie, la classification de Logan et al. (Logan et al. 1964) est très pratique à utiliser en termes descriptifs.

État de conservation des cyanobactéries ou stromatolithes : non observé, RAS, encroûtement, fragments centimétriques, fragments millimétriques, fragments inframillimétriques, débris toutes tailles, entiers, roulés.

Bryozoaires (Fig. 9) : non observés, absents, cheilostomes, cyclostomes, indéterminés. Ce champ peut être multivalué.



9. Exemples de bryozoaire (1 à 6) et de coraux (7 et 8) fossiles observés dans des silicites.
9. Examples of fossilized bryozoans (1 to 6) and corals (7 and 8) observed in silicites.

bryozoaire ou Ectoprocta (Cambrien à l'actuel) : (pétroarchéologie)

embranchement qui qualifie des organismes coloniaux constructeurs sessiles surtout marins (Brien 1960, Platel et al. 1992, Taylor & Waeschenbach 2015), sites et thésaurus consultés : UCMP, DORIS, BANQ. Chaque individu (zoïde) est logé dans une cellule (zoécie) et relié aux autres membres de la colonie par une paroi poreuse (septule). Parmi les six ordres de bryozoaires reconnus, au sein des roches sédimentaires, seuls deux Ordres de bryozoaires (les cyclostomes et les cheilostomes) sont représentés. Le zoarium (squelette d'une colonie ou ensemble des zoécies) se présente sous la forme d'un édifice bioconstruit de forme cylindrique, branchue, libre ou lamellaire (encroûtante). Leur classification est fondée sur la forme des loges, la forme de la colonie et la position de l'ouverture. Dans la grande majorité des cas, les bryozoaires se retrouvent dans les mers chaudes et peu profondes, bien que certaines espèces puissent vivre jusqu'à 500 mètres de profondeur.

cheilostome (Jurassique supérieur à l'actuel, croissance forte depuis le Crétacé moyen) : (pétroarchéologie) type de bryozoaire présentant une structure microscopique sphérolitique et un zoarium complexe.

cyclostome (Ordovicien à l'actuel, point d'acmé au Jurassique) : (pétroarchéologie) type de bryozoaire à zoécies simple et cylindrique se terminant par un péristome (portion libre). Le zoarium présente toujours un assemblage de tubes finement perforés à l'échelle microscopique.

État de conservation des bryozoaires : non observé, RAS, encroûtement, fragments centimétriques, fragments millimétriques, fragments inframillimétriques, fragments de toutes tailles, entiers, roulés.

Abondance des bryozoaires : champ alphanumérique en pourcentage, non observée, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Coraux (Fig. 9) : absent, Hexacoralliaires, tabulés, Alcyonaires, indéterminés, non observés. Ce champ peut être multivalué.

coraux (Cambrien à l'actuel) : (pétroarchéologie) les coraux sont des animaux (polypes) de l'embranchement des Cnidaires, caractérisés par un squelette calcaire (Grassé & Doumenq 1961, Grzimek & Fontaine 1973, Enay 1990, Babin 1991). Ils vivent souvent en colonie dans des mers chaudes et peu profondes. Les types de coraux les plus couramment rencontrés dans les silices sont les hexacoralliaires. Ils sont de bons fossiles de faciès, indicateurs d'un milieu de faible profondeur aux eaux agitées dont la température est comprise entre 20 et 30 °C. Leur valeur stratigraphique est limitée puisque la détermination générique est très difficile pour les fossiles, car fondée sur les parties molles non conservées lors de la fossilisation.

hexacoralliaires (Trias à l'actuel) : (pétroarchéologie) les polypes, de forme cylindrique cloisonnée par des lames (septes) présentent en plus d'une symétrie radiaire, une symétrie d'ordre six ou d'un multiple de six. Il s'agit des Madréporaires, Coralliaires ou coraux au sens strict.

tabulés (Ordovicien – Permien) : (pétroarchéologie) les tabulés sont des formes récifales coloniales uniquement paléozoïques de formes massives ou ramifiées. Les polypes élémentaires sont des tubes cylindriques isolés ou associés entre eux (tubes stoloniaux). Ces tubes sont coupés par des planchers horizontaux ou obliques. Les polypes communiquent entre eux par les pores muraux.

alcyonaires (Trias – actuel) : *(pétoarchéologie) les Alcyonaires construisent des polypes de petite taille à paroi mince dont la cavité gastrique est séparée par huit cloisons disposées à équidistance les unes des autres (p. ex. : les gorgones).*

État de conservation des coraux : non observé, RAS, encroûtement, fusionnés, fragments anguleux centimétriques, fragments anguleux millimétriques, fragments anguleux inframillimétriques, débris toutes tailles, entiers, roulés.

Abondance des coraux : champs alphanumériques en pourcentage, non observée, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Échinodermes hormis échinides (Fig. 10) : non observés, absents, entroques, ossicules, pinnules, sclérites, stellérides, indéterminés. Ce champ peut être multivalué.

échinodermes (Smith 1984) : *(pétoarchéologie) embranchement d'animaux marins caractérisés par un exosquelette constitué de plaques calcitiques et un système ambulacraire (Smith 1984). Ces organismes présentent en général une symétrie d'ordre cinq. Ils sont benthiques et vivent libres ou fixés selon les espèces à toutes profondeurs. Ils se répartissent en onze ordres dont cinq actuels : les astéries (Astoridae), les ophiures, (Ophiuridae), les holothuries (Holothuridae), les crinoïdes (Crinoidea) et les oursins ou échinides (Echinoidea). Les restes d'échinodermes sont fréquents dans les sédiments des plateformes par l'accumulation des débris squelettiques (calcaires à entroques, calcaires à astéries, etc.).*

crinoïdes (Ordovicien à l'actuel) : *(pétoarchéologie) groupe d'échinodermes actuels et surtout fossiles généralement fixés par un pédoncule sur un substrat marin. Ils sont constitués par un calice régulier muni de bras, porté par le pédoncule. Cette tige, longue de quelques décimètres jusqu'à plusieurs mètres, est formée de plaques ou articles superposés perforés par un canal axial, en section, elle peut être circulaire, elliptique, carrée, pentagonale, ou étoilée (Pentacrines du Lias). On les trouve dans les carbonates le plus souvent sous forme d'articles désolidarisés (entroques) à symétrie pentaradiée et à cassure spathique miroitante, chaque article étant un monocristal de calcite. L'accumulation des plaques de Crinoïdes dans les sédiments a donné naissance aux calcaires à entroques.*

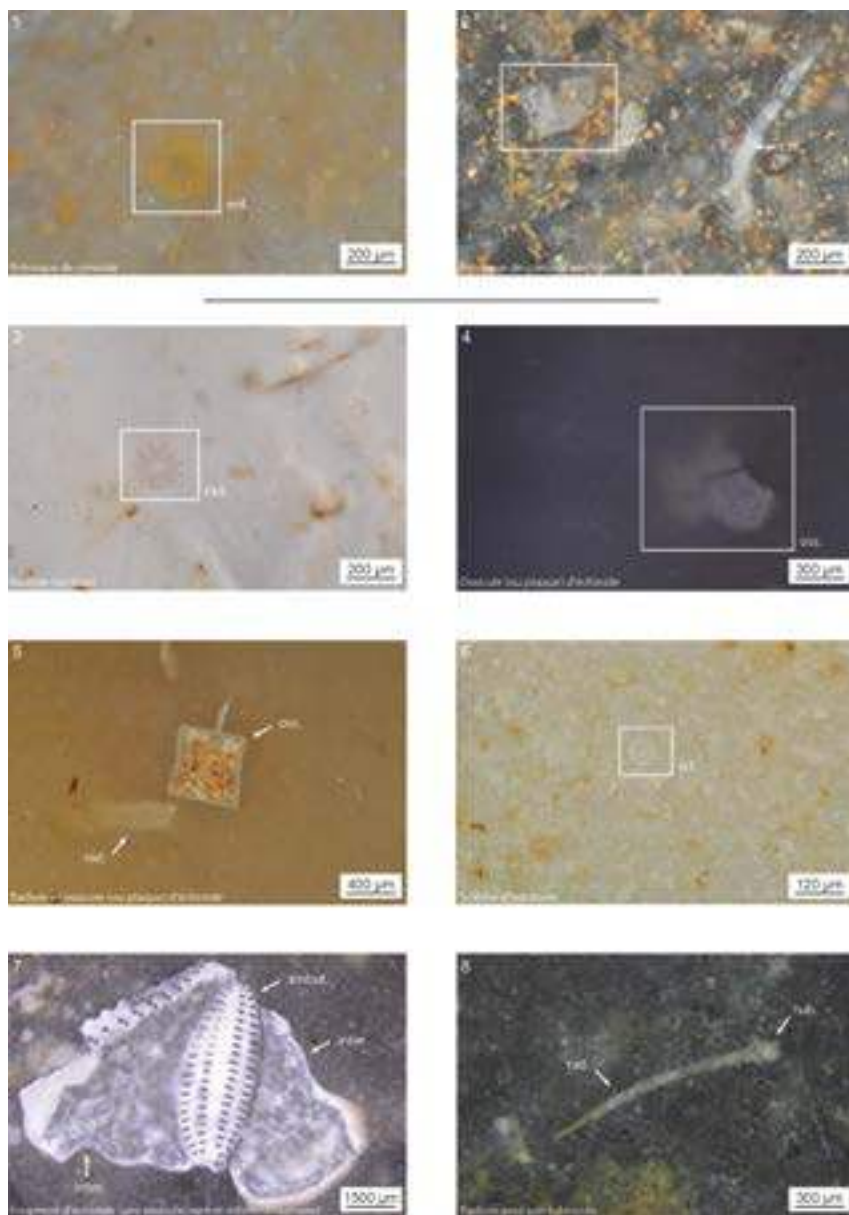
entroque (ou encrine) : *(pétoarchéologie) article de crinoïde à symétrie pentaradiée pourvu d'un canal axial et à clivages réfléchissants. Au microscope, ils présentent un assemblage de grains monocristallins de calcite biotique spongieuse à ponctuations ordonnées révélées par des impuretés lors de la fossilisation.*

pinnule : *(pétoarchéologie) ramification latérale sur les bras de certains crinoïdes.*

sclérite : *(pétoarchéologie) osselet composant le squelette des Holothuries. Ce sont des plaques calcitiques fenêtrées ou grillagées, circulaires ou ovales en formes de roues ou de disques. Certains sont en forme d'ancre de marine.*

stellérides : *(pétoarchéologie) classe d'échinodermes comprenant les astéries (étoiles de mer) et les ophiures (dont la forme rappelle celle de l'étoile de mer mais à bras longs, grêles et souples).*

État des échinodermes : non observé, RAS, encroûtement, fragments anguleux centimétriques, fragments anguleux millimétriques, fragments anguleux inframillimétriques, fragments de toutes tailles, entiers, roulés.



10. Exemples de fragment d'échinodermes (échinide, holothurie et crinoïde) fossiles observés dans des silicites.

10. Examples of fossilized fragments of echinoderms (échinide, holotury and crinoïd) observed in silicites.

Abondance des échinodermes : champs alphanumériques en pourcentage, non observée, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Échinides : non observés, absents, radioles, ossicules, tubercule, aire interambulacraire, aire ambulacraire, indéterminés. Ce champ peut être multivalué.

échinides (Ordovicien à l'actuel) : (pétoarchéologie) ces organismes benthiques appartiennent au groupe des échinodermes (Durham & Melville 1957, Philip 1965). Ils possèdent un squelette à structure réticulée, fait de l'assemblage de plaques de calcite microcristalline. Deux grands groupes classés sur la forme des individus sont distingués : les oursins réguliers et les oursins irréguliers. Bien que des oursins entiers soient assez fréquemment silicifiés notamment dans les terrains sénoniens (Cayeux 1958), dans les silex à proprement parler, ils sont retrouvés sous la forme de fragments de plaques ou de radioles. Cet état les rendant impossibles à déterminer, leur valeur stratigraphique est réduite voire nulle. La présence d'échinidés dans les fossiles est indicatrice d'un milieu marin de faible profondeur généralement assez agité.

radiole : (pétoarchéologie) piquant d'oursin.

ossicule (ou plaque) : (pétoarchéologie) le squelette de l'oursin est formé par un assemblage d'éléments calcaires. Ces dernières se présentent sous deux types différents assemblés pour former les aires ambulacraires et interambulacraires.

tubercule : (pétoarchéologie) support arrondi des articulations des radioles ou piquants.

aire ambulacraire : (pétoarchéologie) chez les oursins, elle correspond aux rangées de paires de pores.

aire interambulacraire : (pétoarchéologie) chez les oursins elle correspond aux rangées qui portent les tubercules.

État de conservation des échinides : non observé, RAS, fragments anguleux centimétriques, fragments anguleux millimétriques, fragments anguleux inframillimétriques, débris de toutes tailles, entiers, roulés.

Abondance des échinides : champs alphanumériques en pourcentage, non observée, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Types de foraminifères benthiques (formes et plus fréquents ; Fig. 11a et b) : non observés, absents, loge, test, uniloculaire, uniloculaire tubulaire, unisériel, bisériel, trisériel, multisériel, planispiralés, trochospiralés, miliolin, discoïde, combinés, fusiline, arborescent, indéterminés. Ce champ peut être multivalué.

foraminifères : (pétoarchéologie) ils forment le groupe le plus important de microfossiles, tant par leur nombre que leur abondance dans les roches carbonatées et siliceuses. L'ordre est connu depuis le Cambrien (Loeblich & Tappan 1987, 1988, Gross 2001), ainsi que les bases de données en ligne comme (World Register of Marine Species- via Dyntaxa. Svensktaxonomiskdatabas, World Foraminifera Database, Paleobiology Database, Mindat.org). Les foraminifères regroupent des êtres unicellulaires caractérisés par le test constitué par une succession de loges. Ces dernières

sont séparées par des cloisons (septes) et communiquent entre elles par un petit trou, le foramen. L'intérieur du test est souligné par une couche chitineuse (mucopolysaccharide) généralement bien conservée dans les silix. Il peut être composé d'une seule loge, on parle alors de test uniloculaire ou monothalme, ou être formé par la coalescence de plusieurs loges, les tests pluriloculaires ou polythalamés. La classification est fondée sur le nombre, la forme et l'arrangement des loges, la forme, la nature et la position de l'ouverture, le type d'ornementation (côtes, épines, granules, carène...) et la nature du test. Il est à noter que les foraminifères sont marqués par un fort dimorphisme lié au cycle reproductif : une même espèce est tantôt petite avec un grand proloculus (phase asexuée) ou grande avec un petit proloculus (phase sexuée). La phase sexuée (loge initiale) est bien plus rare chez les organismes actuels que la phase asexuée. Pareillement, les études génétiques tendent à montrer qu'une même espèce peut former des tests de morphologies distinctes et que deux espèces différentes peuvent sécréter des tests dont la forme converge (Holzmann et al. 1998). La détermination des ensembles écologiques et la valeur stratigraphique des foraminifères fossiles sont cependant bien corrélées avec les autres indices paléontologiques, validant la classification paléontologique. Si la plupart des foraminifères sont marins, certains se sont adaptés aux eaux saumâtres, mais la famille qui vit en eau douce est inconnue à l'état fossile. Il existe deux milieux de vie : benthique et planctonique. Les espèces planctoniques sont peu diversifiées dans les silix. L'embranchement des Foraminifera a traversé différentes crises au fil de son histoire géologique. Au Cambrien, les premiers membres du phylum forment des tests uniloculaires agglutinés, les tests microgranulaires et fibreux se développent au Siluro-dévonien, et au Carbonifère apparaissent les premiers foraminifères multiloculaires à loges cloisonnées. La crise permo-triasique frappe de plein fouet les populations de foraminifères. Au Jurassique, la disparition de certains ordres permettant la conquête de nouvelles niches écologiques, autorise le développement de la classe des milliolidés et des foraminifères planctoniques vrais (*Globuligerina*). Au Crétacé, la diversité et la quantité de foraminifères, benthiques ou planctoniques, atteignent leur point d'acmé, puis le déclin des grands benthiques, amorcé lors de la crise Crétacé-Tertiaire, s'amplifie à l'Oligocène (baisse drastique de la diversité des litiolidés, des alvéolinidés, des nummulitidés), au Miocène (disparition des Orbitoides) et encore aujourd'hui où ces foraminifères sont en voie d'extinction. Les petits benthiques et les planctoniques sont en revanche largement représentés dans la microfaune marine. En raison de la difficulté à déterminer précisément les familles, genres ou espèces, nous ajoutons le suffixe -omorphe à la fin du nom lorsque le foraminifère n'est pas déterminé avec précision (e.g. *Textularidomorpha* ; *Hedbergellomorpha* ; *Lituonellomorpha*, etc.).

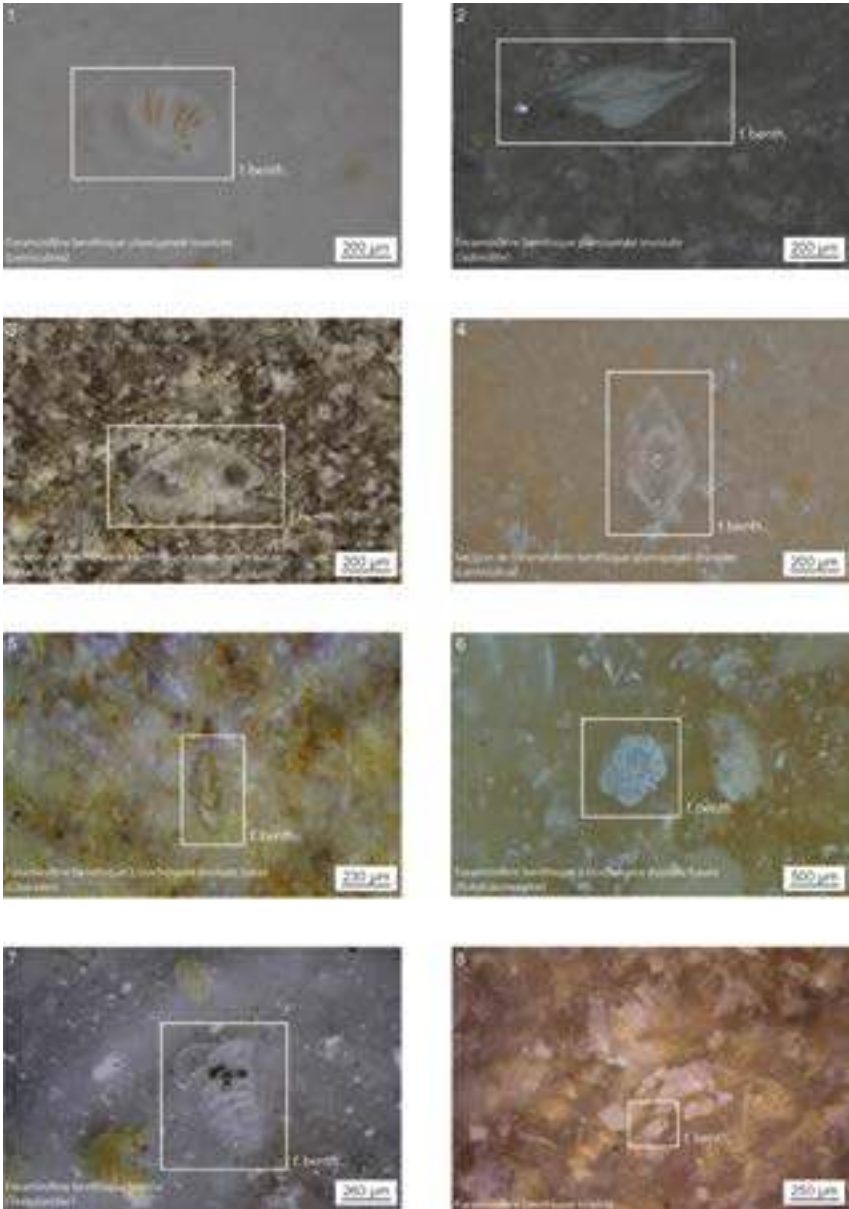
foraminifères benthiques : (pétroarchéologie) ils vivent sur le fond à la surface du sédiment, enfoui dans celui-ci (endofaune) ou sur des supports végétaux, rocheux ou des particules (épifaune). Ils vivent toujours dans la zone photique.

loge : (pétroarchéologie) c'est l'unité ajoutée au test préexistant au cours de la phase de croissance.

test : (pétroarchéologie) coque externe, exosquelette ou endosquelette mésodermique de nombreux invertébrés (foraminifères, échinodermes, etc.). Cette coque est rigide, de nature chitineuse, carbonatée, siliceuse... ou constituée de débris agglutinés.

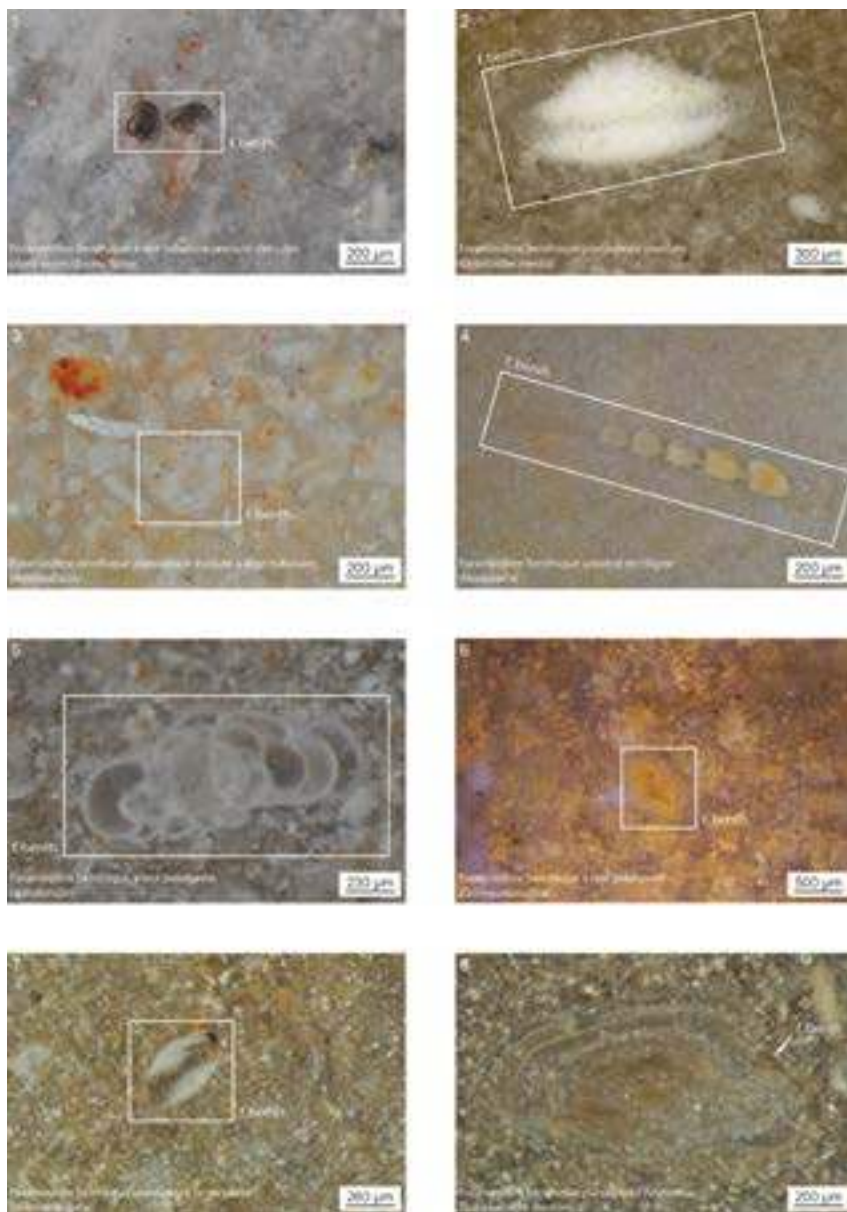
test uniloculaire : (pétroarchéologie) c'est la forme de test la plus simple, elle est composée d'une seule loge sphérique (*Orbulina*) ou tubulaire à piriforme (p. ex. *Lagenidés*). Le plus souvent, le test comporte une seule loge ovoïde, globuleuse, cylindrique ou enroulée.

test unisériel : (pétroarchéologie) tests à une seule série de loges alignées.



11a. Exemples de foraminifères benthiques fossiles observés dans des silicites.

11a. Examples of fossilized benthics foraminifera observed in silicites.



11b. Exemples de foraminifères benthiques fossiles observés dans des silicites.
11b. Examples of fossilized benthics foraminifera observed in silicites.

test bisérié : (pétraarchéologie) tests constitués de deux séries de loges alignées sur deux axes (p. ex. : *Textularidés*, *Bolivinoides*).

test trisérié : (pétraarchéologie) tests constitués par trois séries de loges alignées sur trois axes (p. ex. : *Tritaxia*).

test multisérié : (pétraarchéologie) tests constitués par plus de trois séries de loges (p. ex. : *Valvulinidés*).

test planispiralé : (pétraarchéologie) les loges sont disposées dans un plan perpendiculaire à l'axe d'enroulement. Si tous les tours d'enroulement sont visibles, le test est dit évolutive, si seul le dernier tour d'enroulement est visible, le test est dit involute (Mathieu et al. 2011).

test trochospiralé : (pétraarchéologie) les loges sont disposées selon une spire trochoïde. Si les différents tours sont serrés, la trochospire est basse. Le test du foraminifère est lenticulaire et ses deux faces sont dissymétriques : une face (spirale) est évolutive, l'autre face (ombilicale) est involute. Si les plans des différents tours sont éloignés les uns des autres, la trochospire est haute et le test est allongé (Mathieu et al. 2011).

test miliolin (ou pelotonné) : (pétraarchéologie) les loges sont en forme de tubes arrangés en spirale et faisant chacun un demi-tour. La spirale peut être dans un plan (spiroculin, biloculin), ou changer de plan d'une loge à l'autre, laissant voir trois loges (triloculin) ou cinq (quinqueloculin) si les loges sont situées dans trois plans d'enroulement à 120° les uns des autres, l'enroulement est triloculin (p. ex. *Triloculina*). Si les loges sont situées dans trois plans d'enroulement à 72° les uns des autres, mais développées un plan sur deux, soit à 144° les unes des autres, l'enroulement est quinqueloculin (p. ex. *Quinqueloculina*).

test discoïde : (pétraarchéologie) après le stade initial qui peut être spiralé, les loges deviennent toriques et forment chacune un anneau qui, en s'ajoutant, forme un disque plus ou moins déformé en fonction du support (p. ex. : *Orbitolites*, *Archaïas*).

test combiné : (pétraarchéologie) ces formes élémentaires peuvent se combiner pour donner des formes plus complexes et présenter un arrangement différent du proloculus (loge initiale) aux loges distales (p. ex. : *Bigenerina* qui, de bisérié, devient unisérié).

test fusiline : (pétraarchéologie) planispiralé qui est allongé le long de l'axe de l'enroulement. Chaque chambre est subdivisée par un ensemble complexe de cloisons internes.

test arborescent : (pétraarchéologie) série de tubes droits et ramifiés.

Ordre de foraminifères benthiques : indéterminé, Buliminida, Lagenida, Vaginulinida, Lituolida, Miliolida, Loffusiida (Orbitolinina), Rotaliida, Spirillinida, Textulariida. Ce champ peut être multivalué.

Familles de foraminifères benthiques : *Lagenidae*, *Nodosariidae*, *Valgululinidae*, *Lituolidae*, *Trochamminidae*, *Mayncinidae*, *Meandropsinidae*, *Miliolidae*, *Hauerinidae*, *Alveolinidae*, *Soritidae*, *Peneroplidae*, *Orbitolinidae*, *Rotalidae*, *Buliminidae*, *Cibicidae*, *Nummulitidae*, *Orbitoididae*, *Lepidorbitoididae*, *Calcarinidae*, *Discocyclinidae*, *Ammodiscidae*, *Textulariidae*, *Eggerellidae*, indéterminée. Ce champ peut être multivalué.

Lagenidae ou Valgululinidae : *Lagena* (Crétacé) genre à test uniloculaire.

Nodosariidae : *Nodosaria* et *Fronicularia* (Crétacé) genres à test rectiligne unisérié.

Valginulinidae : *Lenticulina* (Crétacé) à test enroulé planispiralé.

Lituolidae : test multiloculaire présentant un stade initial toujours enroulé planispiralé, au stade adulte il peut se dérouler ou devenir annulaire.

Trochamminidae : *Trochamminoides* (Trias à Albien) test planispiralé à plusieurs tours d'enroulement constitué par une loge tubulaire.

Mayncinidae : *Daxia* : (Aptien à Cénomaniens) test planispiralé involute, aplati à symétrie bilatérale.

Meandropsinidae : *Nummofallotia* (Crétacé supérieur, Coniacien à Maasrichtien) à test planispiralé lenticulaire, au départ évolutive devenant involute.

Miliolidae : *Miliola*, *Triloculina*, (Crétacé) à test miliolins.

Hauerinidae : *Quinqueloculina*, *Pyrgo* (super famille des *Miliolacea*), Crétacé à test miliolin.

Alveolinidae : *Praealveolina*, *Subalveolina* (Crétacé), *Alveolina* (Éocène) super famille des *Alveolinacea* : à test planispiralé fusiforme, formé par l'enroulement d'une lame spirale autour d'un axe formant des loges allongées.

Soritidae : *Orbitolites* (de la super famille des *Soritoidea*), (Éocène) à test discoïde, les loges sont disposées en anneaux concentriques.

Peneroplidae : *Peneroplis* (de la super famille des *Soritoidea*), (Crétacé supérieur à l'actuel) à test discoïde, les loges sont planispiralées.

Orbitolinidae : *Orbitolina* (Crétacé) genre à test conique trochospiralé, devenant rectiligne unisériel au stade adulte.

Lituonella : (Cénozoïque) genre à test conique trochospiralé, devenant rectiligne unisériel au stade adulte.

Rotalidae : (Coniacien à l'actuel) genre à test enroulé de forme lenticulaire trochospiralée.

Buliminidae : genre à tests bisériés, légèrement compressés et loge en forme de gouttes.

Bolivinidae : (Campanien à l'actuel) genre à test bisérié, les loges sont larges, peu inclinées vers le haut et disposées sur toute leur longueur.

Buliminidae : (Campanien à l'actuel) test trochospiralé à trochospire haute, apparence trisériée.

Cibicidae : (Campanien à l'actuel) famille à test trochospiralé, côté spiralé plat à excavé, évolutif, côté ombilical fortement convexe, (genre *Cibicides*).

Nonionidae : (Campanien à l'actuel) famille à test planispiralé pouvant être asymétrique.

Nummulitidae : *Nummulites* (Paléocène à l'actuel) à test planispiralé involute.

Nummulitidae : *Operculina* (Paléocène supérieur à actuel) à test planispiralé évolutive.

Orbitoididae : *Orbitoides* (Crétacé supérieur) : les loges équatoriales, en forme de tuiles romaines (arquées en section transverse), sont disposées en quinconce. Les communications entre les loges (stolons) sont situées en diagonale, à la base de loges. En section axiale, ces loges paraissent plus hautes que longues.

Lepidorbitoididae : *Lépidorbitoides* (Santonien à Éocène moyen) diffèrent des *Orbitoides* par la forme du proloculus et des loges équatoriales. Le stade embryonnaire à deux loges est poursuivi par une succession de chambres équatoriales de forme hexagonale ou arquée et par différentes chambres latérales de forme hexagonale.

Calcarinidae : *Sidérolites* (Maastrichtien à l'actuel) test enroulé involute d'environ quatre tours avec un large proloculus. Dans le dernier tour deux, à sept larges épines sont présentes ; le canal spiral est situé dans la région ombilicale sur les deux faces du test.

Discocyclinidae : *Discocyclina* (Éocène) les loges équatoriales sont parallélépipédiques (rectangulaires en section transversale) et disposées en anneaux concentriques. Elles communiquent entre elles par des stolons annulaires reliant les loges contiguës et des stolons radiaires mettant en communication les loges d'un anneau avec les anneaux voisins. En section axiale, elles sont très nombreuses et très petites.

Ammodiscidae : *Glomospira* (Silurien à actuel) à test formé par une loge tubulaire enroulée dans des plans variés.

Ammodiscidae : *Ammodiscus* (Cambrien à l'actuel) à test formé par une loge tubulaire à enroulement dans un plan.

Textulariidae : *Textularia* (Sinémurien à l'actuel) à test bisérié et loges anguleuses.

Eggerellidae : *Eggerella* à test trisérié.

État des foraminifères benthiques : non observé, RAS, débris toutes tailles, fragments inframillimétriques, fragments millimétriques, entiers, roulés.

Taille des foraminifères benthiques : champ alphanumérique en classe de taille : < 50 microns, (50 à 100 microns), (100 microns à 200 microns), (200 à 300 microns), (300 à 500 microns), > 500 microns.

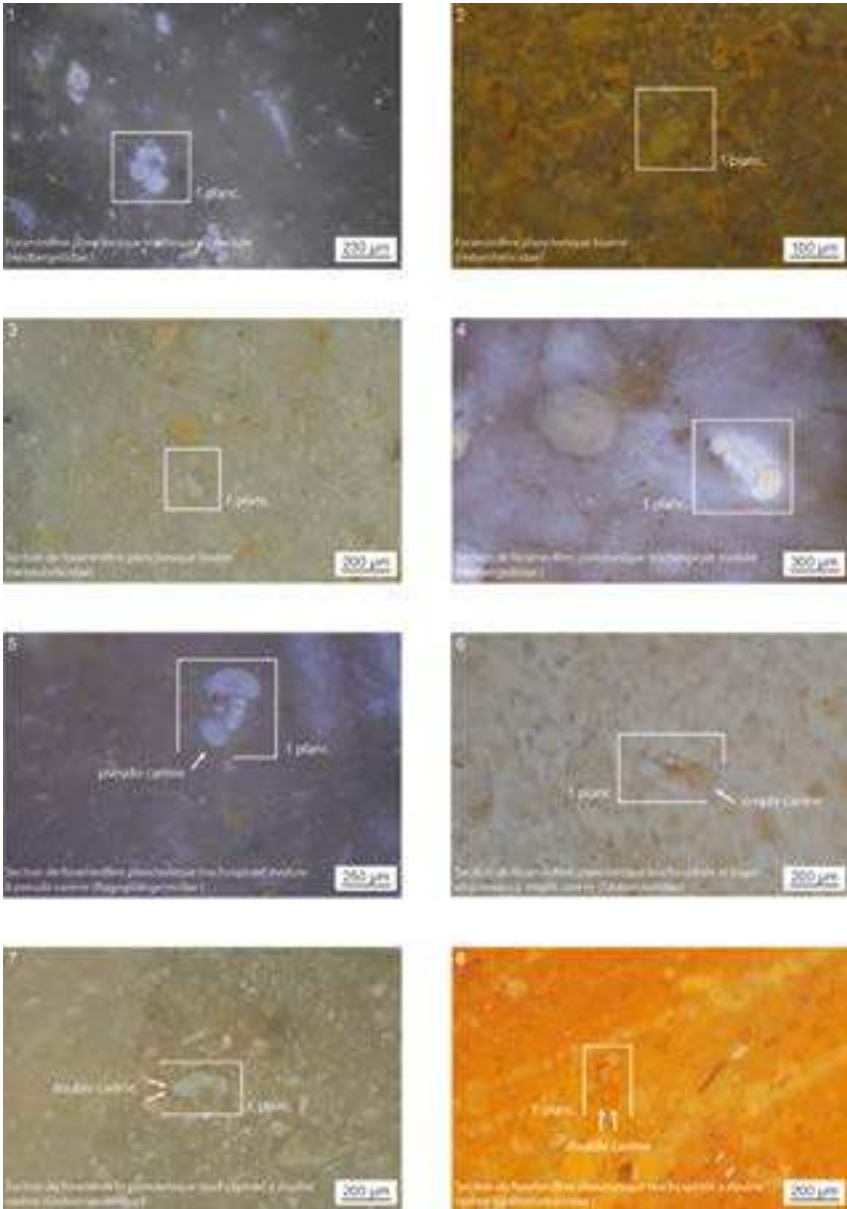
Abondance des foraminifères benthiques : champ alphanumérique en pourcentage, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, non observée, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Types de foraminifères planctoniques (formes et plus fréquents ; Fig. 12) : non observés, absents, globigériniformes, à une seule carène, à deux carènes, uniloculaires, trochospiraux, indéterminés.

foraminifères planctoniques : à l'inverse des foraminifères benthiques qui vivent sur le fond, ceux-ci sont passivement entraînés par les courants, mais susceptibles d'effectuer des migrations verticales.

Familles des foraminifères planctoniques : absent, *Guembelitrinidae*, *Heterohelicidae*, *Planomalinae*, *Globigerinelloididae*, *Schackoinidae*, *Conoglobigerinidae*, *Favosellidae*, *Praehedbergellidae*, *Hedbergellidae*, *Rugoglobigerinidae*, *Rotaliporidae*, *Globotruncanidae*, *Globigerinidae*, *Globorotaliidae*, *Hantkeninidae*, *Globanomaliidae*, *Hastigerinidae*, *Globigerinitidae*, *Candeinidae*, indéterminé. Ce champ peut être multivalué.

Guembelitrinidae (Aptien – Miocène) : forme combinée avec un stade précoce trochospiraux, trisérié ou bisérié, peut montrer une réduction ou au contraire un foisonnement de loges dans les stades tardifs.



12. Exemples de foraminifères planctoniques fossiles observés dans des silicites.
12. Examples of fossilized planctonic foraminifera observed in silicites.

Heterohelicidae (Albien – Maastrichtien) : à test bisérié conique, les loges globuleuses sont de plus en plus grosses du sommet à la base du cône, souvent caractérisé par la présence d'une loge hypertrophiée.

Planomaliniidae (Aptien à Albien) : test planispiralé et caréné aux sutures fortement marquées, l'ouverture est petite et située dans la partie équatoriale basse.

Globigerinelloididae (Valanginien à Maastrichtien) : test planispiralé à loges globuleuses ou allongées de façon radiale, l'ouverture est à la base de la face qui porte les loges en position équatoriale.

Schackoinidae (Aptien à Campanien) : test à trochospire basse (presque planispiralé), avec ouverture prononcée des rebords en position équatoriale.

Conoglobigerinidae (Bajocien à Valanginien) : test trochospiralé d'une taille inférieure à 200 microns, le dernier tour est composé de trois à quatre petites loges globuleuses. L'ouverture est ombilicale.

Favusellidae (Berriasien à Cénomaniens) : test trochospiralé et non caréné à loges globuleuses, rondes à ovales, marquées par des ornements (rides) bien prononcées. L'ouverture est ombilicale à légèrement extraombilicale.

Praehedbergellidae (Hauteriviens à Aptien) : Globigerinacea à trochospire haute dans lequel la première ouverture est intra ombilicale et qui possède un test micro perforé sans ornementation.

Hedbergellidae (Valanginien à Maastrichtien) : test trochospiralé sans ornementation, à ouverture primaire interiomarginale, extraombilicale à ombilicale, avec une lèvre marquée. L'ouverture des premières loges demeure visible autour de la région ombilicale.

Rugoglobigerinidae (Turonien à Maastrichtien) : test trochospiralé à grosse loge globuleuse et périphérie peu arrondie (pseudo-carène). Les loges sont ornementées avec des pustules, des côtes, ou d'autres rugosités. L'ouverture est ombilicale.

Rotaliporidae (Albien à Turonien) : test à trochospire basse avec une ouverture primaire ombilicale à extraombilicale portant une lèvre. Le développement des loges sur la face ombilicale couvre petit à petit l'ouverture primaire.

Globotruncanidae (Aptien à Maastrichtien) : test trochospiralé, plus ou moins biconvexe, à loges réniformes séparées par des sutures arquées ornées d'un bourrelet. Présence de deux carènes périphériques (notamment sur les premiers tours d'enroulement). L'ouverture primaire est recouverte petit à petit par la croissance des loges qui s'agencent comme des tuiles, formant une spirale sur la face dorsale.

Globigerinidae (Danien à l'actuel) : test trochospiralé à planispiralé de forme variable, de trois à six loges globuleuses dans le dernier tour.

Globorotaliidae (Miocène à l'actuel) : test trochospiralé à loge anguleuse et à simple carène, l'ouverture de la face ombilicale est interiomarginale, extraombilicale à ombilicale. La croissance des loges se fait de manière enroulée, dessinant une spirale régulière sur la face dorsale.

Hantkeninidae (Éocène moyen à Éocène supérieur) : test planispiralé à grosses loges globuleuses qui porte de longues épines à la jointure entre deux loges.

Globanomalidae (Maastrichtien à Oligocène moyen) : test trochospiralé à loges globuleuses, la plupart du temps à spire basse. L'ouverture primaire est toujours sur la face ombilicale en position équatoriale.

Hastigerinidae (Miocène à l'actuel) : *test trochospiralé à planispiré à loges globuleuses dont l'ornementation est marquée, notamment par de petites épines.*

Globigerinitidae et Candeinidae (Éocène supérieur à l'actuel) : *test trochospiralé et micro perforé à sutures inter loges marquées.*

État des foraminifères planctoniques : non observé, RAS, fragments millimétriques, fragments inframillimétriques, fragments de toutes tailles, entiers, roulés.

Taille des foraminifères benthiques : champ alphanumérique en classe de taille, < 50 microns, (50 à 100 microns), (100 microns à 200 microns), > 200 microns.

Abondance des foraminifères planctoniques : champ alphanumérique en pourcentage, non observée, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Gastéropodes (Fig. 13) : RAS, probable, absent, hélicidés, limnées, planorbes, potamides, indéterminés. Ce champ peut être multivalué.

gastéropodes : *classe de mollusque univalve caractérisé par un pied élargi servant à la reptation ou la natation et dorsalement par une masse viscérale enfermée dans une coquille univalve hélicoïdale. L'axe des tours (spires) est appelé columelle (Bouchet et al. 2005) et <https://paleobiodb.org/#/>.*

hélicidés : *(pétroarchéologie) famille de mollusques gastéropodes pulmonés terrestres à coquille en hélice.*

hydrobies : *(pétroarchéologie) Hydrobiidae sont une famille composée de petits mollusques gastéropodes vivant en eau douce et en eau saumâtre. Cette famille comprend plus de 1 200 espèces.*

limnées : *(pétroarchéologie) genre de mollusques gastropodes pulmonés d'eau douce à coquille fusoidale ou en pointe conoïdale enroulée en spirale à tours réguliers, croissant rapidement, à enroulement terminal ample, lisse et finement striées par les accroissements.*

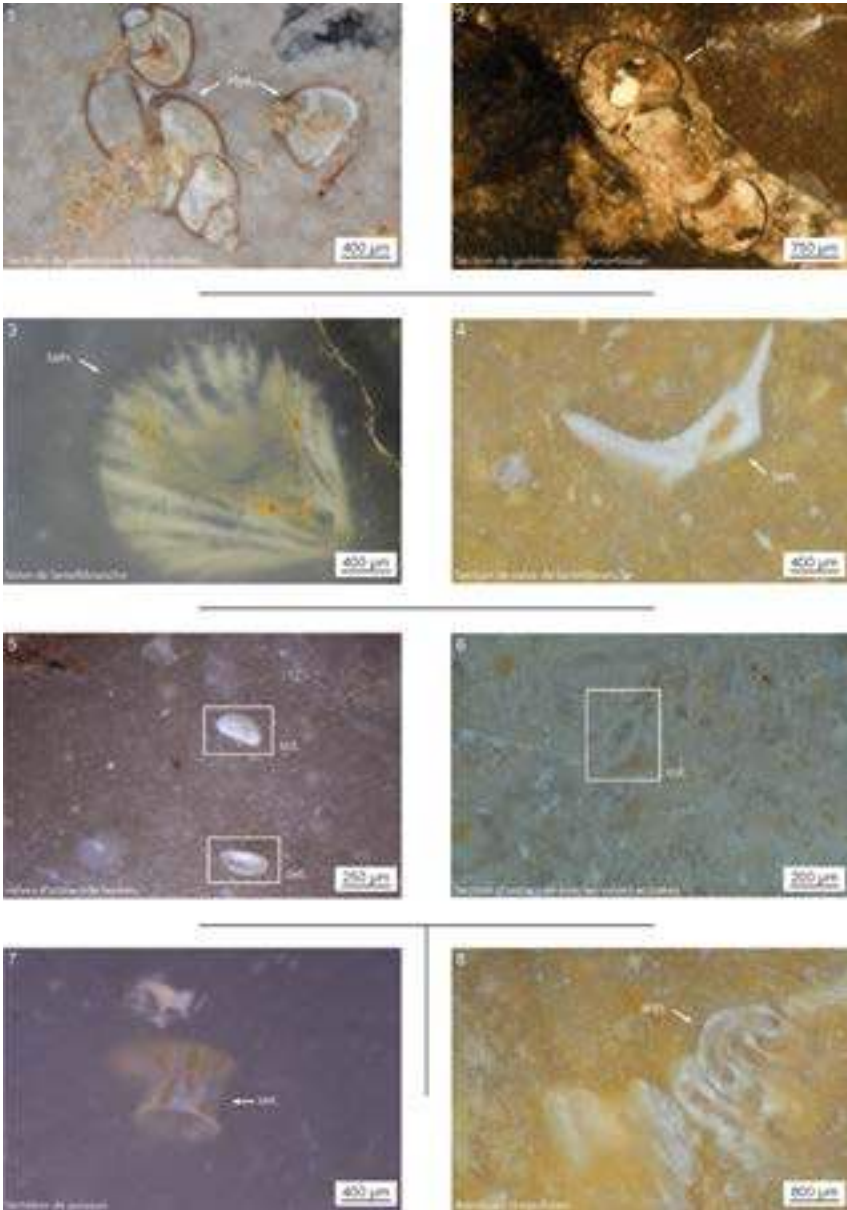
planorbes : *(pétroarchéologie) genre de mollusques gastropodes pulmonés d'eau douce, à coquille presque discoïdale à enroulement en spirale hélicoïdale et aplatie.*

potamides : *(pétroarchéologie) genre de mollusques gastropodes d'eau douce ou saumâtre, à coquille en pointe plus ou moins conique, formée par l'enroulement d'une spirale à tours variables bombés, lisses ou plus fréquemment ornés.*

État des gastéropodes : non observé, RAS, fragments millimétriques, débris toutes tailles, entiers, roulés.

Abondance des gastéropodes : champ alphanumérique en pourcentage, non observée, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Autres macrofaunes (Fig. 13) : non observées, lamellibranches, brachiopodes, ostracodes, polypiers, rudiste, stelléride, serpulidé, divers débris, absentes, indéterminées. Ce champ peut être multivalué.



13. Exemples de macrofossiles observés dans des silicites.

1 et 2 : gastéropodes, 3 et 4 : lamellibranche, 5 et 6 : ostracode, 7 : poisson, 8 : annélide.

13. Examples of macrofossils observed in silicites.

1 and 2: gasteropoda, 3 and 4: lamellibranch, 5 and 6: ostracoda, 7: fish vertebra, 8: wormsburrow.

lamelibranches : (pétroarchéologie) classe de mollusque bivalve à coquille carbonatée (calcite et aragonite) présentant chacune un crochet. Le plan de symétrie passe le plus généralement entre les deux valves. Cette classe comprend par exemple les palourdes, les huîtres, les moules et les pétoncles, etc. (syn. : pélecypodes).

brachiopodes (dès le Cambrien moyen) : (pétroarchéologie) ordre de bivalves. C'est un organisme benthique à coquilles carbonatées, bivalves fixées, à symétrie bilatérale et présentant du côté dorsal un crochet perforé (foramen). À l'opposé des lamelibranches, le plan de symétrie est perpendiculaire au plan d'accolement des deux valves. Le foramen permet le passage du pédoncule de fixation.

ostracodes : (pétroarchéologie) classe de crustacés à corps non segmenté enfermés dans une coquille bivalve chitineuse et souvent calcaire, de taille inférieure au millimètre. Les valves sont articulées dorsalement par une charnière et sont dissymétriques. Les ostracodes sont le plus souvent benthiques, parfois planctoniques (Myodocopides). Ils vivent dans tous les types d'eaux douces à hypersalines, calmes à agitées. L'évolution très rapide des caractères des ostracodes en fait de bons fossiles stratigraphiques. Leur classification prend en compte la forme, l'ornementation des valves, les charnières, les empreintes musculaires et les autres structures internes. Les charnières sont variées et classées en trois groupes (adonte, mérodonte et amphidonte). Leur adaptation spécifique à des milieux variés fait des ostracodes de bons indices paléo environnementaux.

polypier : (pétroarchéologie) le polypier est une cavité formée par un squelette calcaire sécrété par l'animal, le polype. Il adopte généralement une forme de cône ou de coupe plus ou moins évasée, de section circulaire, ovale, ou irrégulière. Les polypiers sont fixés au substrat par la partie la plus étroite qui fait office de base. Le sommet est presque toujours occupé par une série de cloisons disposées en étoile, qui correspondent à autant de replis de la paroi extérieure du polype. Ces cloisons, ou septes, sont fixées à la paroi extérieure du polypier, appelée muraille. Elles convergent vers le centre et se rejoignent éventuellement sur un axe central appelé columelle, qui peut être massif, plus ou moins lacunaire ou spongieux, parfois absent. L'ensemble des septes s'appelle le calice.

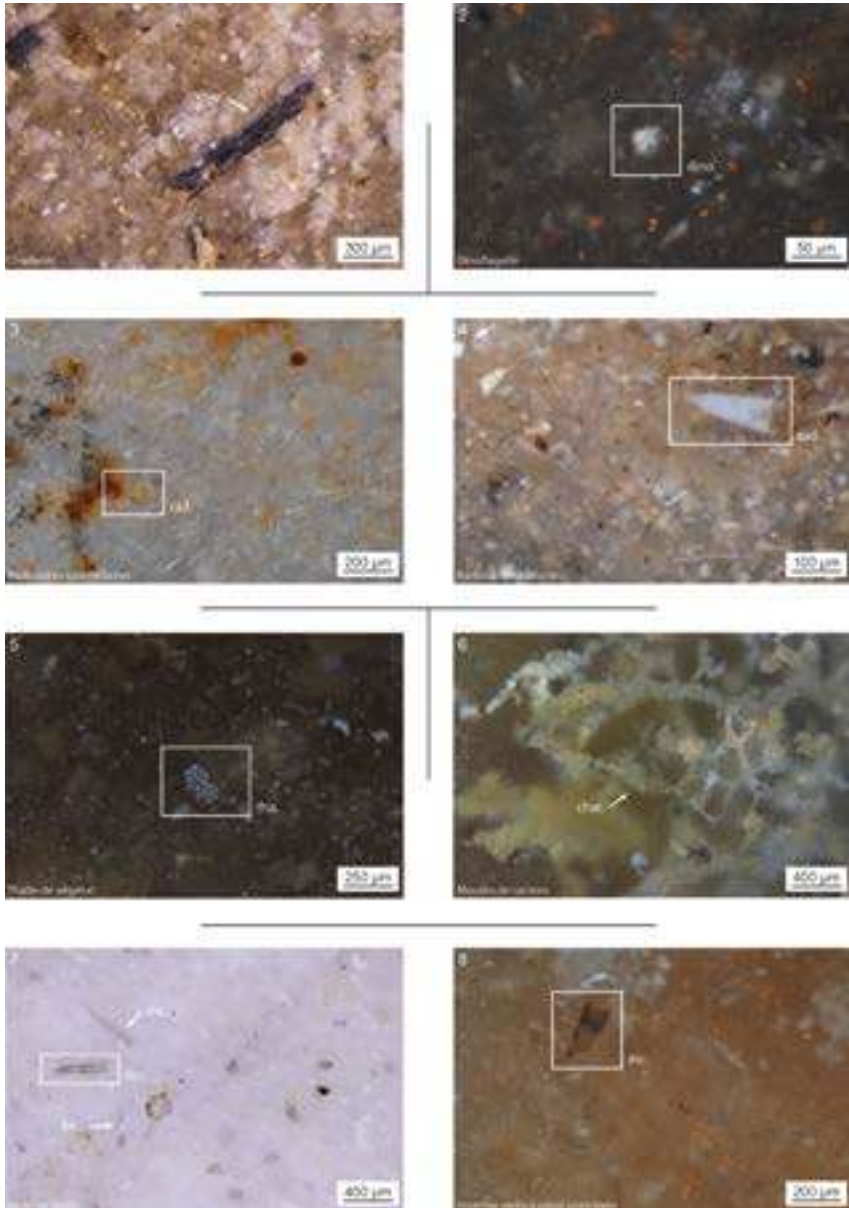
rudiste ou Hippuritoida (Mésozoïque, disparition à la fin du Maastrichtien) : (pétroarchéologie) ordre éteint de mollusques marins fixés, bivalves à coquille longue et épaisse, dissymétrique. L'une des valves est hypertrophiée, et l'autre, réduite, forme un couvercle.

Serpulidae ou serpulidés : (pétroarchéologie) famille de vers d'annélides polychètes (vers sédentaires) qui construisent en milieu marin ou saumâtre des tubes calcaires fixés aux rochers ou aux coquillages.

État de la macrofaune : non observé, RAS, encroûtement, fragments anguleux centimétriques, fragments anguleux millimétriques, fragments anguleux inframillimétriques, débris de toutes tailles, entiers, roulés.

Abondance de la macrofaune : champ alphanumérique en pourcentage, non observée, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), RAS, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Autres bioclastes (Fig. 14) : non observés, absents, débris noirs, charbon, pithonelles, dinoflagellés, coccolithophoridés, acritarches, Chitinozoaires, silicoflagellidés, radiolaires, conodontes, tintinnides, nannoconus, traces de racines ou Typha, filaments, trabécules, *incertae sedis*, indéterminés.



14. Exemples de microfossiles observés dans des silicites.

1 : charbon, 2 : dinoflagellé, 3 et 4 : radiolaires, 5 : végétal, 6 : racines, 7 et 8 : *incertae sedis*.

14. Examples of microfossils observed in silicites.

1: charcoal, 2: dinoflagellate, 3 and 4: radiolarians, 5: plant, 6: roots, 7 and 8: *incertae sedis*.

débris noir : (pétroarchéologie) débris non identifié de teinte noire.

débris noir ligneux : (pétroarchéologie) débris noir qui ressemble à du bois.

pithonelles : (pétroarchéologie) genre de la famille des *Calcisphaerulidae* de forme uniloculaire à lorica ou loge ovoïde ou sphérique avec une ouverture (Villain 1981). La morphologie est proche de celles des Calpionelles. Au Mésozoïque, les Pithonellidés sont représentés par trois genres (*Cadosina*, *Phitonella*, *Bonetocardiella*). Leur association avec des radiolaires et des calpionelles semble indiquer un mode de vie planctonique.

dinoflagellés ou péridiens, Dinophyta ou dinophycées (algologie, paléontologie) : (pétroarchéologie) superclasse d'organismes micro algues eucaryotes unicellulaires biflagellés. C'est à Erhenberg (1838) que l'on doit les premières observations de dinophytes fossiles sur des silex du Crétacé. Leur étude longtemps abandonnée fut reprise par Deflandre à partir de 1934 (Deflandre 1934). Chez beaucoup d'espèces, la cellule est protégée par une thèque constituée de plaques rigides de cellulose incrustée de silice. Leur taille varie entre 50 et 500 microns. La classification proposée par Evitt (1967) est fondée sur la position de l'archéophyle et le nombre de plaques. Celle de Wall & Dale (1968) repose sur les contours du kyste, la présence de l'ornementation de la position et de la forme de l'archéophyle (ouverture), la tabulation ou disposition des théques. Pour Bourrelly (1970), les plaques de la thèque constituent un caractère systématique utilisable. Un système de numérotation est appliqué : toutes les plaques sont numérotées de 1 à n, en partant du sillon équatorial et en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Valensi (1955) montre leur utilité pour la reconnaissance de l'origine stratigraphique des silex du Magdalénien du Berry.

coccolithophoridés : (pétroarchéologie) ordre d'algues haptophytes unicellulaires planctoniques à tests calcaires microscopiques sphériques avec deux flagelles et un haptoneème (flagelle creux). Elles sont recouvertes de coccolites. Planctoniques, elles vivent en haute mer et peuvent être très abondantes au large de certains estuaires. C'est l'accumulation de ces tests calcaires dans les mers du Crétacé qui a conduit à la formation de la craie.

acritarches : (pétroarchéologie) le terme est introduit pour la première fois par Evitt en 1963. Les acritarches sont des microfossiles à paroi organique, c'est-à-dire des palynomorphes, auxquels il n'est pas possible d'attribuer une affinité biologique avec certitude. La grande majorité des acritarches sont trouvés dans des sédiments marins. D'après leur morphologie, leur distribution et leur composition, ils sont supposés appartenir au phytoplancton. Certains sont probablement des kystes de dinoflagellés trop mal conservés pour être correctement identifiés, d'autres appartiennent sans aucun doute aux algues vertes. Leur classification est fondée sur la forme des ornementsations. On distingue 14 sous-groupes. D'après C. Downie & W.A.S. Sarjeant (1963), les acritarches se présentent comme des vésicules de taille comprise entre 20 et 100 microns (exceptionnellement 1 à 500 microns) et dont la forme, très variable, peut aller de la sphère au cube.

chitinozoaires : (pétroarchéologie) microfossiles marins aujourd'hui disparus, à test chitineux, connus du Cambrien au Dévonien dans les milieux marins ouverts. De forme cylindrique, fermée d'un côté (pôle aboral), en forme de bouteille, avec épaulement, flexure et collerette formant le tube oral (Combaz [dir.] 1967), ils sont de taille millimétrique à inframillimétrique et pourraient s'apparenter à des protistes ou seraient des parties de Métazoaires. Leur classification n'est pas encore établie avec certitude. Certains genres semblent avoir vécu en colonie.

silicoflagellidés : (pétraarchéologie) protistes unicellulaires des Phytoflagellés proches des algues du groupe des Protophytes à tests siliceux (Deflandre 1952). Leur squelette tubulaire, d'allure géométrique souvent étoilé est difficile à distinguer de ceux des radiolaires. La taille varie de 10 à 150 microns. Il s'agit de formes marines planctoniques présentes dans les dépôts à diatomées. C'est un groupe en cours d'extinction apparu à l'Aptien et commun du Crétacé supérieur au Miocène.

radiolaires : (pétraarchéologie) classe des protozoaires superclasse des Actinopodes unicellulaires dont la taille est comprise entre 50 et 300 μm à endosquelette perforé siliceux (opale) contenant le noyau. L'endosquelette est à symétrie axiale (Nassellaire) ou sphérique (Spumellaire). Ses perforations laissent passer des pseudopodes rayonnants. Les radiolaires sont tous marins et pélagiques et vivent à toutes les bathymétries. En eau profonde, leurs tests résistent bien à la dissolution et contribuent en grande partie aux boues marines abyssales. Ils vivent dans une tranche d'eau entre 50 et 150 mètres de fond en domaine océanique. Les radiolaires fossiles se voient aujourd'hui reconnaître la même valeur informative que les foraminifères, en tant que chronomètres ou comme indicateurs d'environnement.

conodontes : (pétraarchéologie) minuscules fossiles coniformes, ramiformes et pectiniformes (en forme de dents) dont l'âge varie du Cambrien à la fin du Trias. Ce sont les restes d'un appareil provenant de la cavité buccale d'un animal.

tintinnidés : (pétraarchéologie) ordre de petits protozoaires ciliés de 450 microns à 1 mm, qui se distinguent par la présence de coquilles en forme de vase appelées lorica. Ce sont des formes planctoniques caractéristiques des milieux marins ouverts du Portlandien à l'Albien.

nannoconus : (pétraarchéologie) genre éteint d'algues microscopiques formées d'un assemblage cylindrique de petites plaquettes triangulaires arrangées en spire, les pointes dirigées vers l'axe et un canal central dans l'axe, ouvert aux deux extrémités. Sa présence dénote un climat chaud et donc une période plutôt transgressive avec des apports détritiques réduits. La plupart des auteurs conviennent que nannoconus est lié aux dépôts néritiques et donc rares ou absents dans les milieux océaniques.

trace de racine ou Typha : (pétraarchéologie) plante herbacée aquatique ou paludéenne (eaux calmes), sorte de roseau aux rhizomes rampants, à longues feuilles rubanées et longs épis.

filament : (pétraarchéologie) éléments figurés, longs, minces et sinueux d'une matière quelconque.

trabécule : (pétraarchéologie) filament s'associant avec d'autres filaments pour constituer un tissu filamenteux en réseau lâche.

incertae sedis : (pétraarchéologie) élément organique figuré de forme conique, à squelette perforé ; il est le plus souvent de teinte noire.

Nature des silicites : silicite, quartz, silice hydrothermale, jaspéroïde, sinter, grès, quartzite, silcrète, calcaire silicifié, silex, chert, évaporites, cinérite silicifiée, lydienne, phtanite, radiolarite, autre roche, indéterminée.

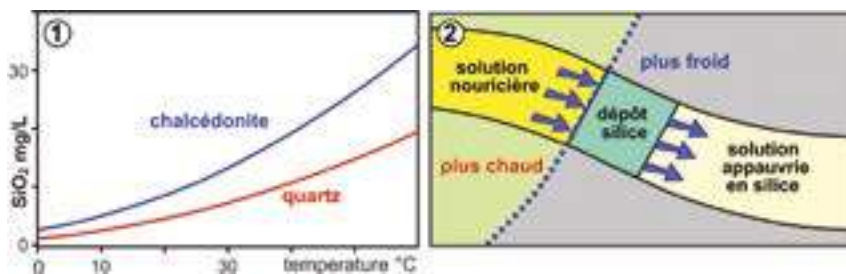
silicite : (pétraarchéologie), terme général qui désigne une roche hyper siliceuse qu'il est utile d'employer uniquement en amont de toute caractérisation précise. La dénomination des silicites fait référence à une multitude de termes (voir énumération minimaliste ci-dessus) et qui ont tous des significations multiples, le plus souvent héritées des premières descriptions et imprégnées de concepts génétiques relatifs à

des comportements géochimiques de la silice qui sont en partie obsolètes. Il faut donc essayer de distinguer les catégories en fonction de critères descriptifs objectifs.

Ainsi, il a été proposé depuis plus d'un siècle que les silicifications en environnements continentaux se sont faites dans des climats chauds et secs (Lamplugh 1907, Woolnough 1927, Storz 1928, Auzel & Cailleux 1949, Millot et al. 1959, Smale 1973, Ulyott et al. 1998). Pour cela, ont été suggérés divers mécanismes pour déclencher la précipitation de la silice, notamment l'évaporation et le mélange d'eaux fraîches chargées de silice avec des solutions et/ou des saumures hautement alcalines. Nous avons argumenté que les modèles d'évaporation et de mélange ne sont pas viables car, pour accumuler des masses adéquates de silice à partir des concentrations faibles disponibles dans les eaux de surface, des volumes considérables d'eau entrante sont nécessaires. Cela aurait dilué et donc ruiné les systèmes d'évaporation et de mélange (Thiry & Milnes 2017). Dans ce contexte, un mécanisme réaliste permettant de déclencher des précipitations à partir de volumes entrants d'eau contenant de la silice restait insaisissable.

Une des propriétés fondamentales de la solubilité de la silice est sa thermo dépendance : sa solubilité augmente avec la température et donc diminue quand la température baisse (Fig. 15-1). En appliquant ce principe à une eau qui s'écoule dans un « conduit », on peut envisager de précipiter de la silice à un endroit donné, continuer la précipitation en cet endroit en renouvelant de façon continue la solution, et ainsi accumuler des quantités considérables de silice autour du « conduit » ou contre une paroi froide si le système perdure dans le temps (Fig. 15-2). Le modèle est indépendant de la roche encaissante (granite, roche volcanique, sable, alluvions, calcaire, gypse, etc.), il faut simplement disposer d'un front froid sur les circuits hydrauliques (Thiry & Milnes 2024).

Les ségrégations siliceuses formées par épigénie (remplacement) d'une matrice calcaire originelle par la silice, avec préservation des structures primaires, ont dû se faire sans jamais créer un vide de dissolution qui aurait ruiné les structures primaires. C'est notamment le cas des ségrégations siliceuses, souvent stratiformes, au sein des



15. Solubilité et précipitation de la silice.

1) solubilité du quartz et de la calcédonite en fonction de la température. La solubilité de la silice décroît relativement rapidement avec l'abaissement de la température. Hytec geochemical modelling (Van Der Lee et al. 2003) ; 2) schéma montrant la précipitation de la silice en solution de façon continue lors du refroidissement d'une solution qui traverse un front froid.

15. Silica solubility and precipitation.

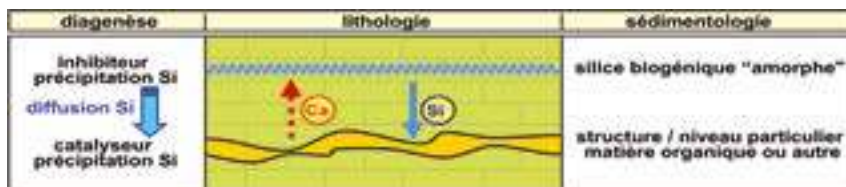
(1) Solubility of quartz and chalcédonite as a function of temperature. Silica solubility decreases relatively rapidly with decreasing temperature. Hytec geochemical modelling (Van Der Lee et al. 2003). (2) Diagram showing the continuous precipitation of silica in solution as a solution cools through a cold front.

formations carbonatées qui ont subi une diagenèse d'enfouissement précoce ou plus profonde, tels les silex de la Craie et les cherts du Jurassique, pour lesquels il n'est pas possible d'envisager des flux importants d'eau.

La préservation des structures carbonatées primaires indique qu'il y a eu remplacement de la calcite par la silice à l'échelle quasi moléculaire. Les structures primaires se reconnaissent aux impuretés préservées et aux « granularités » des phases siliceuses secondaires qui reflètent des conditions micro-environnementales de leur croissance. Il a été suggéré que la pression exercée par la croissance des formes cristallines de la silice concourt à la dissolution de la calcite (Dewers & Ortoleva 1990, Thiry & Ribet 1999). Si le remplacement carbonate/silice est évident, il faut encore questionner l'origine de la silice et les raisons de sa migration et sa précipitation. Peu de travaux ont posé cette question. Néanmoins, Cayeux (1929) a montré que les niveaux adjacents montrent souvent la dissolution d'organismes siliceux et même le remplacement d'éléments siliceux par des carbonates. Il conviendrait donc d'envisager un couplage des réactions de dissolution et de précipitation.

En l'absence de flux d'écoulement, les éléments en solution peuvent migrer par diffusion (mouvement brownien) entre un pôle enrichi et un pôle déprimé en cet élément. La diffusion est activée par le gradient entre ces deux pôles et s'arrête quand la solubilité de l'élément est égale aux deux pôles. On peut ainsi envisager que la silice relativement soluble (opale) contenue dans un matériau puisse migrer vers un niveau particulier où sa précipitation sous une forme moins soluble (quartz microcristallin) est favorisée par la présence d'un élément minéralisateur ou catalyseur. La précipitation de la silice abaisse sa teneur en solution et entretient ainsi le gradient de solubilité et la diffusion (Fig. 16). C'est un modèle envisageable pour expliquer la formation des épigénies de la calcite par la silice.

quartz*



16. Précipitation de la silice par diffusion entre une source et un niveau favorable à sa précipitation.

Cette précipitation est couplée à une dissolution des carbonates qui crée un gradient inverse et conduit à la diffusion des ions carbonatés.

16. *Precipitation of silica by diffusion between a source and a level favorable to precipitation. This precipitation is coupled with carbonate dissolution, which creates an inverse gradient and leads to diffusion of carbonate ions.*

Silicites hydrothermales

silice hydrothermale : (pétrographie, pétroarchéologie) ce sont des dépôts et cristallisations de silice de 1 mm à 1 m d'épaisseur dans des veines et des fractures. Le plus souvent, les premiers dépôts contre les épontes sont formés de silice rubanée et mamelonnée, surtout composés d'opale et de quartz microcristallin, les dépôts évoluant vers des cristaux de quartz automorphes, avec de gros cristaux de quartz au centre de la veine. Ce sont des dépôts hydrothermaux liés à des circulations d'eaux

chaudes dans les bassins sédimentaires, une silicification en présence de solutions à haute température (Chenevoy & Piboule 2007) et dans les environnements volcaniques marins en contexte de rifting (Hesse 1989, Umeda 2003). Ces phénomènes de remontées hydrothermales se font généralement à la faveur des grands accidents tectoniques de bords de bassin et sont dictés par la géométrie et la porosité des dépôts (possible infiltration le long de la stratification si les fluides se trouvent piégés par des roches imperméables). C'est le refroidissement des eaux (provenant de plusieurs milliers de mètres de profondeur) en remontant vers la surface qui est le moteur principal de dépôts de silice dans les veines. C'est la vitesse de refroidissement qui est à l'origine des sursaturations : si le refroidissement est rapide, la sursaturation est forte à très forte, et c'est l'opale qui se dépose ; si le refroidissement est lent (faible), la sursaturation de la solution refroidie est faible, et ce sont les grands cristaux de quartz des collections qui précipitent, entre les deux toute la gamme de quartz microcristallins, fibreux, flamboyants, etc.

jaspéroïde : (pétroarchéologie) sont des silicites cryptocristallines, sans grain discernable, ocre, opaques ou faiblement translucides, généralement rouges, mais des variétés ocre, vertes, grises, et même noires sont aussi appelées jaspe. Ils ont longtemps été considérés comme des silicifications formées sous l'influence de la circulation hydrothermale près des intrusions magmatiques (chaudes) dans la croûte terrestre. Lorsque les eaux chaudes se refroidissent en s'écoulant dans le calcaire, les cristaux de dolomite et de calcite sont remplacés par du quartz. Cela peut se produire si parfaitement que la roche conserve même la texture et la couleur originales du protolithe. Elles s'accompagnent généralement du dépôt de complexes métalliques tels que la barytine, le fer ou la fluorine (Sizaret 2002). Le terme est aussi appliqué à des roches altérées, composées principalement de silice et qui se sont formées par épigénie (remplacement) dans des environnements superficiels. C'est le cas de nombreux silcrètes d'Australie dont certaines variétés ont très fréquemment été taillés par les aborigènes.

sinter (ou geysérite) : (pétroarchéologie) résultent de l'arrivée en surface des fluides hydrothermaux (geyser). Le refroidissement rapide de ces fluides siliceux à haute température entraîne le dépôt de roches généralement peu structurées ou au contraire concrétionnées, au départ uniquement formées d'opale opalescente (opale A) qui se transforme en variétés de quartz par vieillissement sous l'effet des eaux de pluie mais aussi des eaux du geyser lui-même. Des transformations d'opale A en opale C ont été constatées après 50 ans et le début de recristallisations en quartz au bout de 20 000 ans (Keith et al. 1978, Rimstidt & Cole 1983, Herdianita et al. 2000).

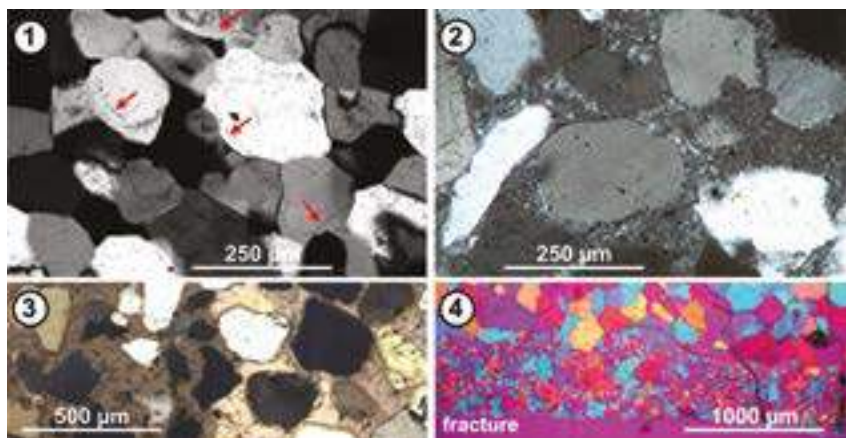
Silicites granulaires

grès*

quartzite : (pétroarchéologie) roche siliceuse d'origine sédimentaire ou métamorphique de la famille des grès, compacte, à cassure conchoïdale dont le plan de cassure recoupe les grains. Un quartzite est constitué de grains et cristaux de quartz.

silcrète : (pétrographie, pétroarchéologie) roche siliceuse issue de formations continentales superficielles ou sub-superficielles et en niveaux discontinus ou lenticulaires (Lamplugh 1902). C'est surtout l'un d'entre nous qui pose les idées principales (Thiry & Milnes 2017). Deux types fondamentaux sont à distinguer : les silcrètes pédologiques et les silcrètes de nappe. Leur origine fait donc suite soit à un apport de silice à partir d'une nappe phréatique (silcrète de nappe, cimentation des vides avec accumulation absolue de silice) ou à sa formation dans un sol (silcrète pédogénétique, avec présence de structures liées à des infiltrations d'eau, comme

des cutanes d'illuviation, accumulation relative de la silice par lessivages des autres cations, en particulier de l'aluminium). Les silcrètes de nappe sont des accumulations absolues de silice qui colmatent les pores et vides d'un matériau généralement détritique et sableux, mais aussi dans divers matériaux carbonatés. L'exemple typique sont les Grès de Fontainebleau, complètement déconnectés du dépôt des sables, qui se sont formés pendant les périodes glaciaires du Quaternaire, directement en arrière des talus sableux (Thiry & Milnes 2024 ; Fig. 17). Les silcrètes pédologiques présentent des micromorphologies caractéristiques d'infiltrations (en milieu désaturé ou vadose) avec en particulier des cutanes d'illuviation, des coiffes, des micro-stalactites et des remaniements internes dans des fentes verticales ou planaires (Fig. 18).



17. Grès de Fontainebleau.

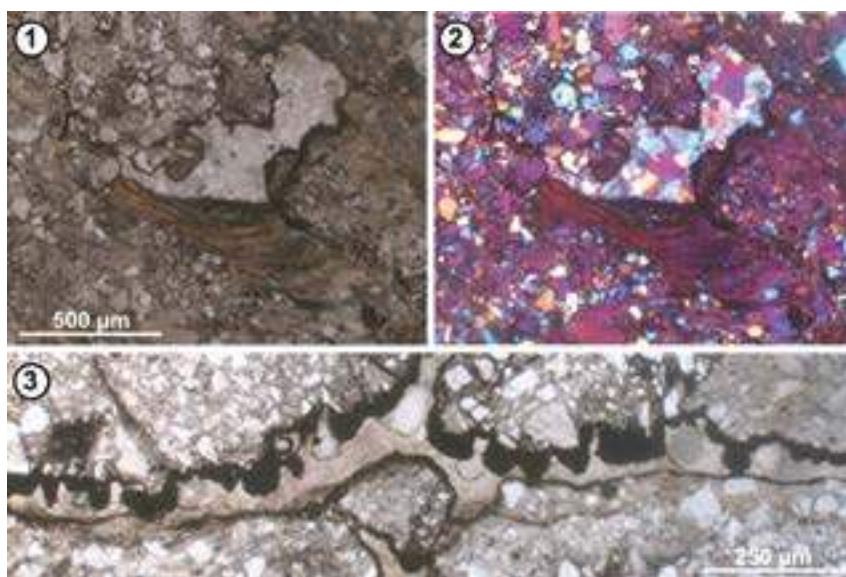
1. Grès quartzite formé par croissance cristalline des grains de quartz détritiques (flèches rouges pointent le contour des grains primaires) jusqu'à occlure presque entièrement la porosité du sable, les triples contacts entre les grains sont typiques de cette cimentation par croissance des grains. 2. Grès quartzite cimenté par des variétés moins ordonnées du quartz (calcédonite et quartz microcristallin). 3. Grès à ciment calcaire, en l'occurrence de gros cristaux de calcite qui englobent plusieurs grains du sable primaire ; elles sont l'équivalent des Calcites de Fontainebleau qui ont aussi été datées des périodes glaciaires. 4. Grès de Fontainebleau à grains nourris recouverts par un film de silice secondaire à petits quartz qui tapisse une fracture ; ces revêtements siliceux ont souvent été sélectionnés lors de la taille des Grès de Fontainebleau. 1., 2. & 3. Lumière analysée ; carrière des Gondonières, Larchant (77) ; 4. Lumière analysée avec lame teinte sensible ; platière du Laris-qui-Parle, Fontainebleau (77).

17. Fontainebleau sandstone.

1. Quartzitic sandstone formed by overgrowth of detrital quartz grains (red arrows point to the outline of the primary grains) until almost occluding the porosity of the sand, the triple contacts of the grains are typical of this cementation by overgrowth. 2. Quartzite sandstone cemented by less ordered quartz varieties (chalcedonite and microcrystalline quartz). 3. Sandstone with calcareous cement, large calcite crystals encompass several primary sand grains; they are like the Calcites de Fontainebleau which have also been dated to the glacial periods. 4. Quartzitic sandstone with grain overgrowth covered by a film of secondary silica with small quartz which line a fracture; These siliceous coatings were often selected when knapping Fontainebleau Sandstone. 1., 2. & 3. polarized light; Gondonières quarry, Larchant (77); 4. with quartz wedge plate; Laris-qui-Parle plateau, Fontainebleau (77).

Silicites en milieu carbonaté

calcaire silicifié : (pétrographie) ils peuvent représenter des volumes très variables, depuis des nodules de quelques cm³ jusqu'à des couches continues sur plusieurs dizaines de mètres et 2-3 m d'épaisseur comme la Meulière de Bord dans le Quercy ou le calcaire de Champigny dans le bassin de Paris et dans les masses de meulière, exploitées pour les meules, et qui sont issues des calcaires lacustres sous-jacents. Ils se caractérisent par des contours irréguliers et interpénétrés (Fig. 19-1), par la prédominance de silice déposée dans des vides (opale concrétionnée passant aux différentes variétés de quartz) (Fig. 19-2 et 19-4), et par le remplacement du calcaire primaire par ces mêmes variétés de silice (Fig. 19-3). Dépôts et remplacements correspondent à des accumulations absolues de silice importée dans la formation.

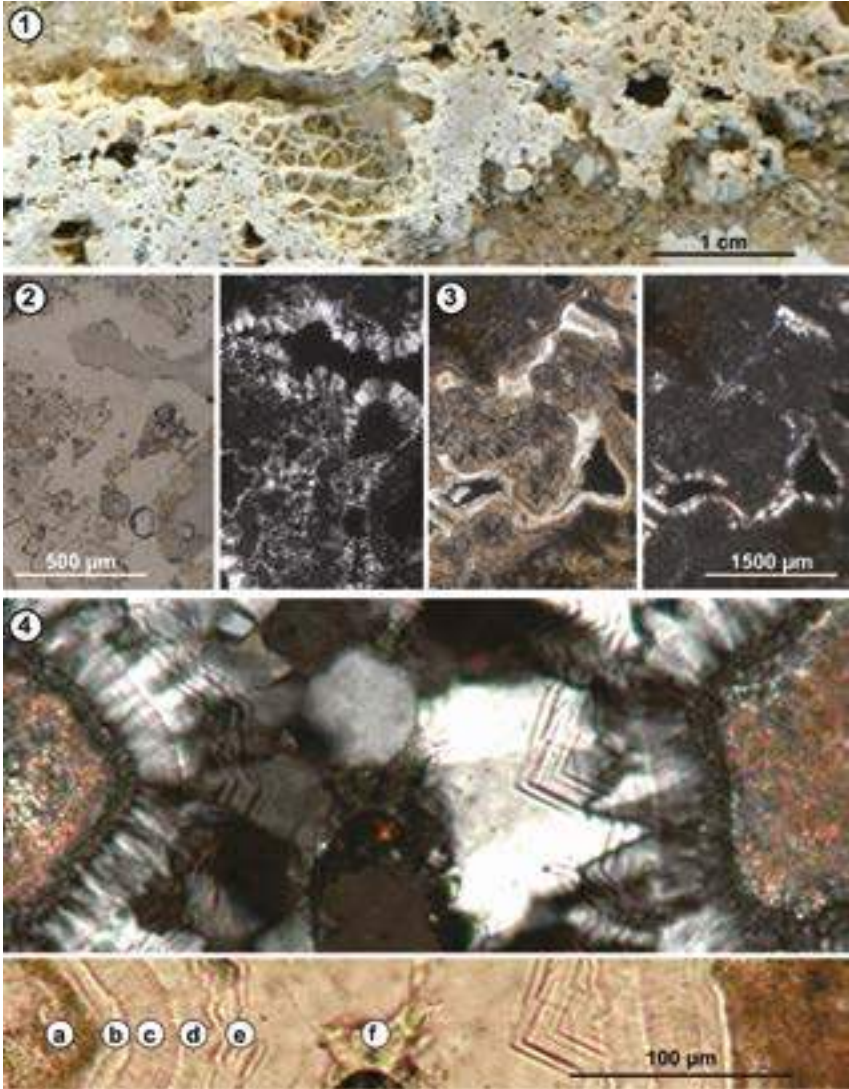


18. Grès lustrés, silicrètes pédologiques typiques, Éocène moyen, Bassin de Paris.

Noter l'aspect hétérométrique et l'irrégularité des grains de quartz qui "flottent" dans une matrice micro- à cryptocristalline de quartz microcristallin et d'opale. 1. Structure pédologique typique, avec nodules soulignés par des oxydes résiduels (anatase) et cutanes d'illuviations à la base des vides ; lumière polarisée ; Montigny-Lencoup (77). 2. *Idem*, noter le remplissage final du vide par des quartz sub-automorphes ; lumière analysée avec lame teinte sensible. 3. Détail d'une fente horizontale illuviée (cimentée) par de l'opale à sa base et qui montre des structures pendantes (cf. stalactites) formées d'opale enrichie en oxydes de titane au toit ; lumière polarisée ; Montigny-Lencoup (77).

18. Lustrous sandstones, typical pedogenetic silicretes, Middle Eocene, Paris Basin.

Montigny-Lencoup (77). Note the heterometry and irregularity of the quartz grains which "float" in a fine, micro- to cryptocrystalline matrix of microcrystalline quartz and opal. 1. Typical pedological structure, with nodules highlighted by residual oxides (anatase) and illuvial cutans at the base of the voids; polarized light; Montigny-Lencoup (77). 2. *Idem*, note the final filling of the void by sub-euhedral quartz; quartz wedge plate. 3. Detail of a horizontal slit with illuvial cutans of opal at its base and hanging structures (likely stalactites) composed of titania rich opal on the roof; polarized light, Montigny-Lencoup (77).



19. Calcaires silicifiés (page précédente).

1. Mise en relief de la silice par attaque acide sur une plaquette sciée montrant les contours irréguliers et interpénétrés entre silice et calcaire ; Calcaire de Champigny, Pécy (77). 2. Silicification essentiellement due à des dépôts de différentes variétés de quartz autour de vides ; lumière polarisée et lumière analysée ; Calcaire de Champigny, Pécy (77). 3. Silicification essentiellement due à des remplacements de la matrice calcaire avec préservation des structures primaires et dépôts de silice, les deux constitués d'opale et quartz microcristallins ; lumière polarisée et lumière analysée ; Calcaire de Beauce, Prasville (28). 4. Séquence typique des précipitations de silice dans les vides, (a) matrice calcaire partiellement silicifiée, (b) petits quartz flamboyants, (c) dépôts botryoïdaux de petits quartz palissadiques (éventuellement quartz fibreux), (d) quartz flamboyants allongés en continuité optique avec les précédents, (e) quartz flamboyants avec des zones de croissance soulignées par des lamines à faible indice de réfraction (éventuellement opale), (f) quartz limpide, automorphe, dans le vide final ; lumière polarisée et lumière analysée ; Calcaire de Beauce, Prasville (28).

19. Silicified limestones.

1. *Chert highlighted by acid etching on a sawn slab showing the irregular and interpenetrating contours between silica and limestone; Calcaire de Champigny, Pécy (77).* 2. *Silicification mainly made up by deposition of different varieties of quartz around voids; polarized light and crossed nicols; Calcaire de Champigny, Pécy (77).* 3. *Silicification mainly made up by replacement of the limestone matrix with preservation of primary structures, completed by silica deposits in voids, both consisting of microcrystalline opal and quartz; polarized light and crossed nicols; Calcaire de Beauce, Prasville (28).* 4. *Typical sequence of silica precipitation in voids, (a) microcrystalline quartz plus calcite matrix, (b) tiny flamboyant quartz, (c) botryoidal deposits made up of elongated palisade-like flamboyant quartz (and maybe some fibrous quartz?), (d) elongate flamboyant quartz in optical continuity with preceding quartz, (e) flamboyant quartz with growth zones outlined by ribbons of low refractive index (may be opal), (f) late formation of large euhedral hollow quartz crystals; crossed nicols and polarized light; Calcaire de Beauce, Prasville (28).*

Néanmoins, dans le Bassin de Paris existent un à plusieurs niveaux dans le Bartonien qui se singularisent par l'absence de cristallisation dans des vides, et par une forte proportion d'opale CT qui résultent d'une accumulation relative de la silice (vraisemblablement par altération de minéraux argileux magnésiens).

silex (1556, R. Leblanc) : (pétoarchéologie) terme employé pour les silicites en milieu carbonaté. Il désigne les roches hyper siliceuses qui résultent en grande partie d'un remplacement des carbonates et des bioclastes par épigénèse. Il se développe dans les formations marines, lacustres et palustres qui permettent leur classification en silex marin, silex lacustre ou silex palustre. Il est constitué de grains fins, à cassure lustrée. Il est dissocié du sédiment d'origine par un cortex et constitué d'au moins 90 % de silice (le plus souvent de la calcédonite).

chert : (pétoarchéologie) terme anglais d'acception large, les Américains utilisent le mot chert comme terme générique pour qualifier l'ensemble des roches siliceuses massives à cassure conchoïdale. En Belgique, on l'utilise uniquement pour les silicites des roches paléozoïques. En France, il est généralement utilisé pour désigner des roches siliceuses variées en nodules ou en bancs et aux bordures floues dans des roches sédimentaires marines du Jurassique. Cayeux (1929) le propose aussi pour les calcaires lacustres silicifiés du Tertiaire, mais nous préférons appeler cela calcaires silicifiés (voir ci-dessus). Les cherts des calcaires jurassiques contiennent une très forte dominance de variétés de quartz. Ce sont des épigénies siliceuses similaires à celles des silex de la craie (par redistribution/ségrégation de la silice au sein de la roche). On y a reconnu une augmentation progressive de la teneur en silice (notamment sous la forme d'opale CT ou de calcédonite) de la périphérie vers le cœur de la silicification avec une silicification d'opale CT dans les vides et une épigénie des allochèmes. Cette différenciation grano-cristalline entre silex crétaqués et cherts jurassiques peut s'interpréter comme une diagénèse d'enfouissement plus longue et plus profonde (température plus élevée) des calcaires jurassiques. Ils ne correspondraient pas à des mécanismes différents de silicification, simplement à une évolution plus ou moins aboutie.

Silicites des faciès évaporitiques

évaporites : (pétoarchéologie) roches sédimentaires issues de la précipitation chimique par évaporation de substances dissoutes dans des solutions. Elles se forment dans les milieux confinés : dans les bassins sédimentaires fermés à la suite d'une régression marine, dans les dépressions côtières (lagunes, chotts, etc.) ou dans les bassins endoréiques (lacs salins, sebkra, etc.). Les chlorures, les sulfates, les carbonates hydratés alcalins et les borates en sont les principales familles minérales. Appelées également "roches salines", elles comprennent également certaines dolomies et argiles néoformées sous les conditions extrêmes de ces milieux. Une fois silicifiées, elles se démarquent par la présence de pseudomorphoses de gypse (formes lenticulaires, chicken wire, autres).

Silicites à silice biochimique

cinérite silicifiée : (pétoarchéologie) cendres volcaniques consolidées par de la silice et plus ou moins compactes.

jaspe : (pétoarchéologie) roche sédimentaire siliceuse cryptocristalline, constituée de calcédoine et de quartz opaque à légèrement translucide, contenant parfois des argiles, mais aussi des oxydes de fer responsables de la coloration. Les variétés les plus connues sont les radiolarites, les lydiennes ou les phtanites. Dans la littérature anglo-saxonne,

il s'agit d'une variété de chert associée à des minerais de fer et contenant des impuretés d'oxydes de fer. Les teintes varient du rouge au brun, vert, jaune, gris-bleu, etc. Elle peut, pour certains auteurs, qualifier des roches cryptocristallines d'origine volcanique ou associées à des minerais de fer (Slansky 1992).

lydienne : (pétroarchéologie) de Lydie, province d'Asie Mineure, roche sédimentaire siliceuse à radiolaires de couleur grise ou noire, à matrice calcédonieuse, surtout connue dans des séries carbonifères.

phtanite : (pétroarchéologie) pour désigner les roches sédimentaires siliceuses, cryptocristallines du carbonifère. Il s'agit d'un matériau riche en quartz de petite taille (inférieure à 20 microns), d'origine chimique ou biochimique (présence possible de radiolaires), très riche en matière carbonée. À l'affleurement, il se présente en lits centimétriques à décimétriques, découpés par la lithoclase en petits éléments parallélépipédiques. Ce terme a été employé en Bretagne dans le Briovérien (phtanites de Lamballe) et en Anjou (phtanites à radiolaires et graptolites). Il a été abusivement utilisé pour dénommer diverses silicites, certains auteurs considérant les phtanites comme des paléosols dégradés et silicifiés ou des dépôts siliceux silicifiés par la suite.

radiolarite : (pétroarchéologie) roche sédimentaire riche en tests siliceux de radiolaires, de couleur blanche, rouge (présence de Fe^{3+} sous la forme d'hématite : Fe_2O_3), ou verte (présence de Fe^{2+} avec la chlorite). Dans les domaines mésogéens, ces roches siliceuses surmontent les basaltes sous-marins des ophiolites et correspondent à d'anciennes boues élagiques souvent métamorphosées (syn. : jaspe).

Origine stratigraphique de la silicite (Ère) : indéterminée, Cénozoïque, Mésozoïque, Paléozoïque.

C'est à partir des déterminations faites *supra* que l'on interprète l'âge de la silicite et non en se fiant exclusivement à la carte géologique.

Origine stratigraphique de la silicite (Époque ou Système) : indéterminé, Holocène, Pléistocène, Pliocène, Miocène, Oligocène, Éocène, Paléocène, Crétacé supérieur, Crétacé inférieur, Jurassique supérieur, Jurassique moyen, Jurassique inférieur, Trias, Permien, Carbonifère, Dévonien, Silurien, Ordovicien, Cambrien.

Origine stratigraphique de la silicite (Étage) : indéterminé ; Holocène, Pléistocène supérieur, Pléistocène moyen, Pléistocène inférieur, Gélasien, Plaisancien, Zancéen, Messinien, Tortonien, Serravallien, Langhien, Burdigalien, Aquitanien, Chattien, Rupélien, Priabonien, Bartonien, Lutétien, Yprésien, Thanétien, Selandien, Danien, Maastrichtien, Campanien, Santonien, Coniacien, Turonien, Cénomaniens, Albien, Aptien, Barrémien, Hauterivien, Valanginien, Berriasien, Tithonien, Kimméridgien, Oxfordien, Callovien, Bathonien, Bajocien, Aalénien, Toarcien, Pliensbachien, Sinémurien, Hettangien, Rhétien, Norien, Camien, Ladinien, Anisien, Olénékien, Indusien, Changhsingien, Wuchiapingien, Capitanien, Wordien, Roadien, Kungurien, Artinskien, Sakmarien, Assélien, Gzhélien, Kasimovien, Moscovien, Bashkirien, Serpukhovien, Viséen, Tournaisien, Faménnien, Frasnien, Givetien, Eifelien, Emsien, Pragien, Lochkovien, Pridolien, Ludfordien, Gorstien, Homerien, Sheinwoodien, Télychien, Aéronien, Rhuddanien, Himantien, Ordovicien VI, Ordovicien V, Darrivilien, Ordovicien III, Arénig, Trémadocien, Cambrien (étage 10), Cambrien (étage 9), Praibien, Cambrien (étage 8), Cambrien (étage 7), Cambrien (étage 6), Cambrien (étage 5), Cambrien (étage 4) Cambrien (étage 3), Cambrien (étage 2), Cambrien (étage 1).

Milieu de formation : indéterminé, domaine marin profond, talus, plateforme externe, barrière, plateforme interne, lagune, domaine littoral, domaine continental, domaine lacustre, domaine palustre.

LES CARACTÉRISTIQUES GÎTOLOGIQUES - GRILLE 2

Valeurs et champs du tableau de données d'altérologie

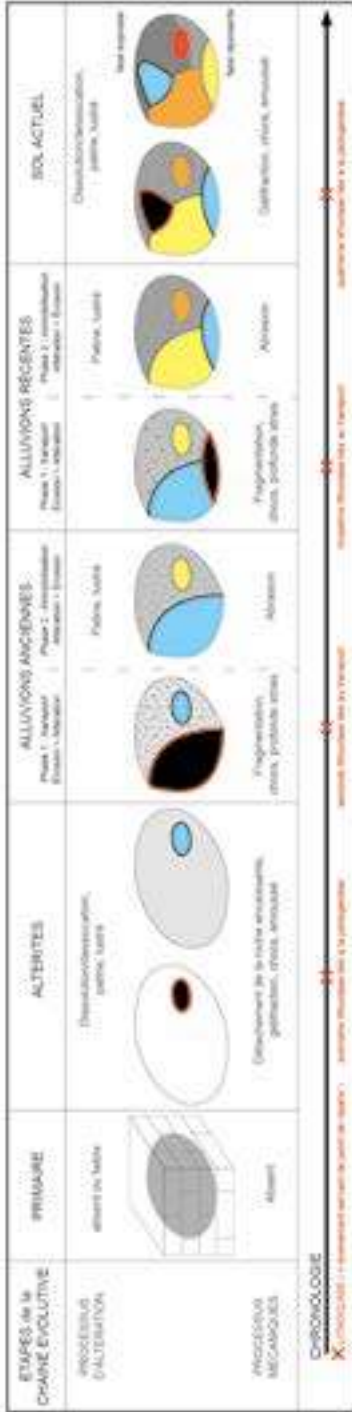
À ce stade de l'analyse et pour chaque surface, nous souhaitons déchiffrer les types d'action physique (les stigmates), comme la fissuration ou la fragmentation, et les processus chimiques (traces), dont la cinétique est plus lente, comme les altérations ou la diffusion d'oxydes dans la phase de liaison. Ces phénomènes, contrôlés entre autres par le positionnement des surfaces (on retrouve ici les notions exposées précédemment de polarité gîtologique), se recoupent les uns les autres dans un ordre qui fournit la clé pour la compréhension de l'enchaînement des transformations prépositionnelles. Ainsi, à la manière des chaînes opératoires de la technologie lithique, il s'agit de décrypter l'ordre des processus naturels ayant affecté le silex, chaque association de stigmates et de traces étant caractéristique d'un type de formation.

La seconde grille a donc pour objectif de cerner les états gîtologiques dérivés d'un type génétique, en documentant les états de surface et les transformations de microfaciès. La quarantaine de champs descriptifs documente six points distincts qui, corrélés les uns aux autres, permettent la diagnose gîtologique des échantillons :

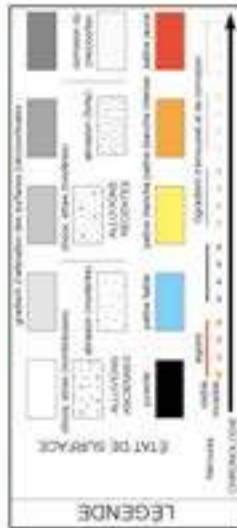
- le type de (néo)cortex (ou de surface naturelle) et les stigmates et traces qu'il porte ;
- la couleur, l'intensité et la répartition de la patine prédépositionnelle ;
- l'intensité et la répartition du lustré ;
- le ratio couleur héritée/couleur acquise de la phase de liaison et des allochèmes ;
- la description du liseré sous cortical ;
- et le type et le degré de poronécrose.

Concernant les états de surface, nous avons remarqué que les effets et l'intensité des processus d'altération ou d'érosion varient selon la microtopographie des échantillons. On distingue ainsi cinq types de microreliefs : 1) les bordures, 2) les arêtes principales et secondaires ; 3) les irrégularités mineures ; 4) les surfaces planes et 5) les concavités. Chacune de ces zones est susceptible d'avoir enregistré différents types et degrés d'intensité de stigmates et traces ; indices qui renseignent sur l'ancienneté relative de chaque relief. Si l'agent causal est caractérisé (*e.g.* thermoclastie, gélifraction, transport, éolisation...) il est possible de raccorder une partie des surfaces à des phénomènes physiques, édaphiques et/ou climatiques (Fig. 20).

Dans le cas des silicites, il s'avère que les cortex vrais (ceux des gîtes primaires) sont en carbonates ou en calcédoine et opale, alors que les néocortex des silicites des altérites ou ceux en position secondaire plus distale (alluvions, terrasses...) sont formés de calcédoine et/ou de quartz microcristallins associés à des éléments néogènes conditionnant des impuretés. Il existe donc un gradient géochimique et minéralogique dans la composition des zones corticales entre le gîte primaire et les différents gîtes secondaires. Par ailleurs, quand de nouvelles surfaces se forment (lithoclase au cours du transport), la néo surface siliceuse évolue d'abord par déshydratation, conditionnant l'apparition rapide d'un voile blanchâtre à la surface des silex : la patine blanche. Les phénomènes d'hydrolyse contrôlent ensuite l'altération de ces surfaces nouvelles : négatifs d'enlèvements, surfaces liées à la désagrégation, fonds de cupules, parois des fissures et rebords des chocs. Une exposition prolongée aux conditions météoriques ou à l'environnement des sols entraîne ainsi la disparition



20. Schéma de principe de l'établissement d'une chronologie relative des surfaces successives d'éclatement/d'enlèvement pour la caractérisation des altérations associées (PAO : P. Fernandes et P. Tallet).
 20. Theoretical diagram of the relative chronology of the successive bursting/ removing surfaces for the characterization of the weathering processes (CAD: P. Fernandes and P. Tallet).



de certains minéraux (carbonates, puis opale, puis calcédonite), alors que les phases minérales les moins solubles (quartz) se trouvent de plus en plus isolées, jusqu'à atteindre un équilibre physico-chimique avec le milieu qui le contient. La création de néoporosité permet également l'intégration de nouveaux éléments dans la silicite (Vilas-Boas 1975), notamment du fer, dans les milieux où les solutions sont stagnantes, entraînant la formation de patine colorée jaune, rouge ou brune (Hurst & Kelly 1961). La lecture dynamique de la superposition de ces néo surfaces et de leurs états d'usure et d'altération livre une chronologie relative des événements. Corrélativement à ces observations, on remarque qu'en fonction de l'éloignement au gîte primaire, la rugosité du (néo)cortex diminue, alors que le gradient de cimentation augmente, jusqu'à présenter un aspect arrondi. Or ces critères de détermination portés par les (néo)cortex : épaisseur, usure, gradient de cimentation et de rugosité, intensité et types de chocs, ainsi que type et intensité de dissolution, constituent de puissants outils pour retrouver l'origine gîtologique des pièces archéologiques, puisque ces caractères se retrouvent sur les artefacts (Fernandes *et al.* 2007).

Par exemple, pour un même type de silicite, nous constatons que, sur les terrasses les plus récentes, les chocs portés par les cortex ne sont que peu ou pas altérés, dans les terrasses moyennes, ces chocs commencent à disparaître et des golfes de corrosion se développent à la surface de la matrice siliceuse, alors que dans les hautes terrasses, la cimentation est totale, les chocs antérieurs ne sont quasiment plus visibles et, suite à la pédogenèse, nous voyons se développer un néocortex dans les creux. La répartition et l'intensité de ces processus, notamment chimiques, ne sont toutefois pas homogènes sur tout le volume du bloc, d'où la nécessité de considérer la variabilité faciologique des échantillons en fonction de leur polarité et de leur microtopographie.

À ce stade, le protocole d'observation est donc constitué, pour chaque type de surface, de jalons d'actions physiques quasi instantanées (fissuration, fragmentation, taille, aménagement) et de phases dont la vitesse de propagation est plus lente, voire très lente (usure, altération, diffusion d'oxydes dans la phase de liaison par transferts capillaires...). Ainsi, une surface dont les concavités sont fortement altérées, recouverte par une cupule ne portant aucune trace d'altération, est considérée comme plus ancienne. Au contraire, une cupule ne portant aucune trace d'usure (2) se trouvant sur la même face exposée qu'une cupule aux rebords fortement émoussés (1) est considérée comme plus récente. Elle traduit d'ailleurs une succession de trois environnements distincts et une collecte dans un gîte secondaire : mise à la surface du bloc (formation de la cupule 1), puis transport (émoussé des rebords de la cupule 1), puis dépôt en surface (formation de la cupule 2). La chronologie relative des différentes surfaces et de leur état de conservation sont donc les éléments de base pour élaborer une première ébauche des événements subis par le matériel analysé.

Cette histoire compliquée, qui marque toute leur surface, induit également des transformations à l'intérieur même des silicites. Ainsi, différents itinéraires aboutissent à une transformation qui est d'autant plus marquée que différentes phases peuvent se suivre de façon aléatoire et, dans des cas extrêmes, effacer toute relation avec la roche originale. Ce phénomène est en partie dû à la recristallisation progressive des allochèmes par l'imprégnation de plus en plus importante des silicites par des solutions chargées en silice. Ceci est d'autant plus visible lorsque l'on observe les échantillons zone par zone, ces phénomènes de disparition

virtuelle des caractéristiques génétiques se développant de manière centripète. À cet égard, le fait que la proportion d'éléments figurés varie virtuellement à l'intérieur du bloc en fonction du gîte dans lequel il est prélevé rend ici caduque les interprétations environnementale et hydrodynamique de Dunham (1962), qui ne peuvent être utilisées dans l'étude des silicites qu'en termes descriptifs. Pour notre part, nous préférons parler en pourcentage d'abondance des *allochèmes*, cela ne prêtant pas à discussion sur la valeur ontologique de ce critère.

Plus la silicite s'éloigne du gîte primaire, plus sa composition chimique et minéralogique a donc tendance à se modifier : homogénéisation des phases siliceuses de la phase de liaison au profit des microquartz, remplissage et/ou épigénie secondaire des allochèmes, augmentation de la part des oxydes de fer (et autres éléments chimiques) dans la porosité intergranulaire et/ou en remplissage des allochèmes... Le croisement de l'ensemble de ces données altérologiques, que ce soit en termes d'état de surface ou en termes d'évolution minéralogique et chimique de la masse siliceuse, permet de définir le degré d'évolution des types définis dans la grille 1. Dès lors, ayant identifié la variabilité gîtologique d'un type, il devient possible, lors de l'étude pétroarchéologique, de dépasser la simple interprétation génétique apportée par l'analyse classique : un objet appartient à un étage géologique ; et de proposer une origine gîtologique : un objet appartient à un type de formation (colluvions, alluvions, terrasses, cordon marin...). En cartographiant la répartition des différentes associations de stigmates portées par les échantillons géologiques, géologiques, type par type – donc la répartition spatiale des états gîtologiques – (Tufféry *et al.* 2019, 2021), nous précisons nous précisons les espaces d'affleurement des matériaux et donc les modèles d'acquisition de matières premières lithiques par les hommes préhistoriques.

Évaluation de la présence de la surface non-anthropique : champ alphanumérique en pourcentage, dont : non mesurée, < 10 %, (10 % à 25 %), (25 % à 50 %), (50 % à 75 %), (75 % à 99 %), 100 %, les pourcentages sont établis à partir du volume total de l'échantillon.

surface non-anthropique : (*pétroarchéologie*) *partie périphérique d'une roche qui a conservé et enregistré les processus géologiques et météoriques antérieurs à sa collecte par l'homme.*

Polarité prédépositionnelle : non observée, absente, de patine, de dissolution, de chocs, de lustré, d'encroûtement.

polarité prédépositionnelle : (*pétroarchéologie*) *les roches sédimentaires remaniées présentent au moins deux surfaces opposées avec des caractéristiques différentes significatives en termes d'origine gîtologique.*

Épaisseur du (néo)cortex : absent, inframillimétrique, millimétrique, plurimillimétrique, centimétrique, non observée.

(néo)cortex : (*pétroarchéologie*) *zone périphérique d'une silicite, résultant d'un ensemble de transformations mécaniques et physico-chimiques localisées à sa surface après son expulsion de la roche mère et avant son abandon dans le site archéologique. Les transformations mécaniques résultent de la fracturation et des impacts - discrets ou majeurs - liés en particulier aux modalités du transport consécutif à l'érosion. Les transformations physico-chimiques sont dépendantes des conditions qui gèrent les mécanismes de dissolution et de dépôt de la silice à l'interface eau-silice.*

Gradient d'usure néocorticale : non observé, RAS, émoussé absent, émoussé léger (sur moins de 10 % de la surface), émoussé moyen (sur 10 à 25 % de la surface), émoussé fort (sur 25 à 50 % de la surface), émoussé très fort à total (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface).

usure : (pétroarchéologie) *détérioration progressive d'un matériau par la voie mécanique du frottement et de la fracturation excluant les processus chimiques à l'origine des altérations. L'usure modifie les rapports surface/volume, la fragmentation facilite l'altération car elle augmente la surface réactive. Les principaux processus de l'usure sont : la fracturation tectonique, la cryoclastie, la thermoclastie, l'haloclastie, l'hydroclastie, les différents modes de déplacement et de transport.*

érosion : (pétroarchéologie) *l'érosion est par définition la perte de matière d'une surface en raison du contact d'un fluide en mouvement relatif contenant des particules solides. Ce processus d'usure est réservé aux mécanismes d'abrasion faisant intervenir le facteur vitesse (énergie cinétique de la particule).*

émoussé : (pétroarchéologie) *qualifie la surface d'un grain ou d'une roche façonnée par l'eau (érosion) par friction ou par le vent (corrasion) et dont les arêtes saillantes ont été usées et arrondies.*

Gradient de cimentation néocorticale : non observé, RAS, absent, faible (sur moins de 10 % de la surface), moyen (sur 10 à 25 % de la surface), fort (sur 25 à 50 % de la surface), très fort à total (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface).

cimentation : (pétroarchéologie) *processus diagénétique qui soude les éléments figurés lors de la circulation et de la précipitation d'un soluté, à travers la porosité ou en surface de la roche. Le matériel précipité peut être issu de la dissolution d'une partie du sédiment environnant. Ce mécanisme rend la roche plus compacte.*

Gradient de rugosité néocorticale : non observé, RAS, absent, faible, moyen, fort.

rugosité : (tribologie) *caractéristique physique relative à l'état micro topographique d'une surface.*

absent : *la surface est totalement lisse.*

faible : (pétroarchéologie) *les grains sont à peine mis en relief.*

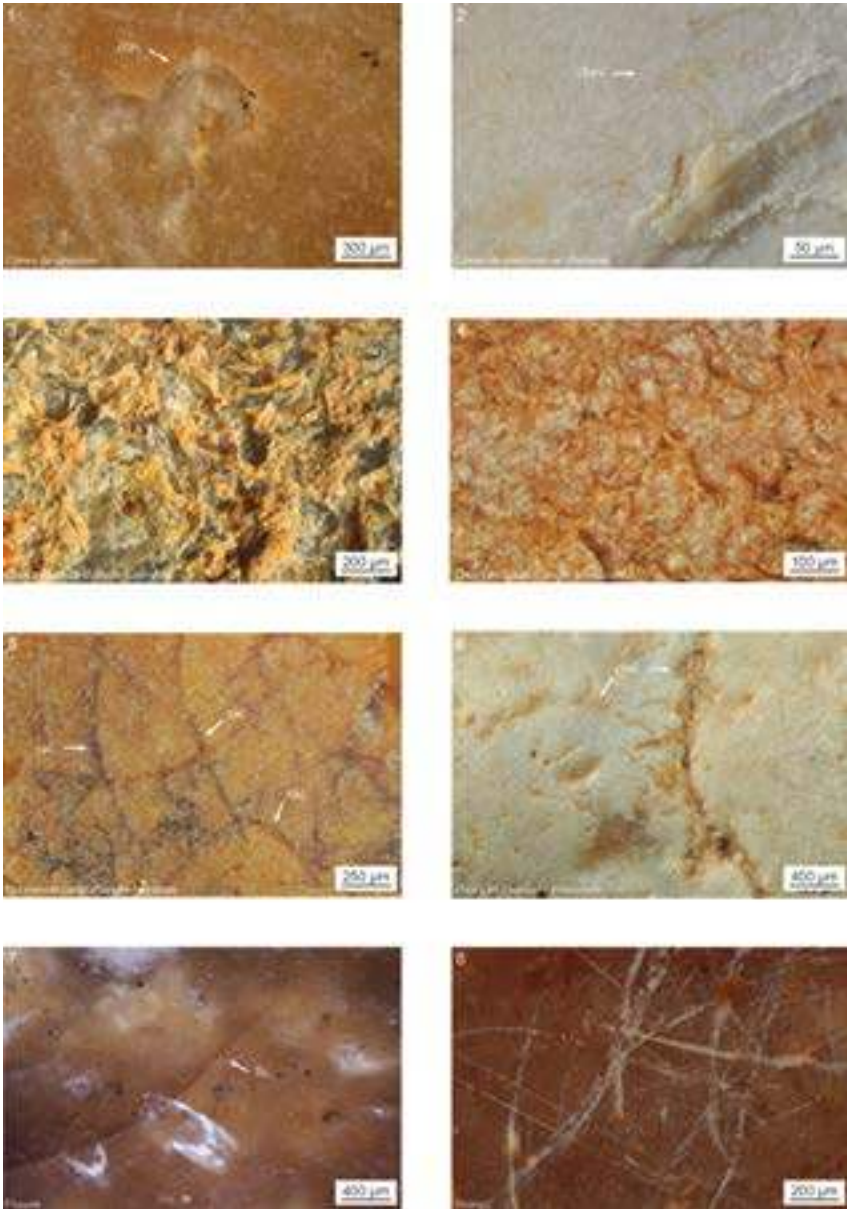
moyen : (pétroarchéologie) *les grains sont bien séparés les uns des autres, quelques grains sont encore accolés.*

fort : (pétroarchéologie) *les grains sont bien séparés les uns des autres, parfois même jusqu'à se détacher de la roche.*

Types de chocs sur néocortex (Fig. 21) : non observés, RAS, absent, anthropique, cupules de choc, racines de coups d'angle, coups d'ongle, cônes de pression en chevron, cônes incipients, stries, fissures, fragmentation, broyage, chocs en V. Ce champ peut être multivalué.

anthropique : (pétroarchéologie) *modification liée à l'action humaine.*

cupule de choc : (exoscopie, pétroarchéologie) (Le Ribault 1973) *choc formant une cavité en forme d'éventail à figure de cisaillement sous forme de lignes concentriques.*



21. Exemples de chocs observés à la surface de silicites.
21. *Examples of shocks observed on the surface of silicites.*

racine de coup d'angle : (pétroarchéologie) *relique de choc en forme de croissant, quasiment effacée par l'usure postérieure. Base des coups d'angle, qui le plus souvent est émoussée et visible à la surface des roches dures, est le résultat de l'association de processus mécaniques évolués liée au transport dans le réseau hydrographique ou en domaine marin.*

coup d'angle : (exoscopie, pétroarchéologie) (Le Ribault 1975) *marque en forme de croissant typique de choc lié au transport hydrographique ou lié aux transports fluviaux ou marins (synonyme croissant de choc).*

cône de pression en chevron : (pétroarchéologie) *qualifient un type de stigmaté présentant une succession de marques en V ou subsphériques, emboîtées de manière plus ou moins rectiligne, fermée dans le sens du frottement (en chevron). Cette association de chocs est contrôlée par le frottement entre deux roches dures (Stapert 1976).*

cône incipient ou cône hertzien : (archéologie, pétroarchéologie) *fissure qui se développe suivant un cône de révolution à partir de la surface d'une matière première quand la percussion (au percuteur dur ou tendre) ou la pression n'est pas suivie d'un enlèvement (Inizan et al. 1995).*

strie : (pétroarchéologie) *traces d'usure formant des sillons parallèles ou entrecroisés peu profonds. Elles sont souvent liées au frottement du sable transporté par un glacier.*

fissure : (pétroarchéologie) *espace vide dont la dimension dans une direction de l'espace est nettement inférieure à celles dans les deux autres - forme plus réduite qu'une fente, rectiligne ou en virgule, associée à l'action thermique ou mécanique (racines de chocs en surface, dessiccation, tectonique, etc.).*

fragmentation : (pétroarchéologie) *bloc séparé en fragments.*

broyage : (pétroarchéologie) *type de choc violent exercé par une forte pression réduisant en poudre la zone impactée à la surface de la roche.*

choc en V : (exoscopie, pétroarchéologie) *stigmaté en forme de V à bords anguleux, le plus souvent caractéristique de chocs éoliens.*

Gradient des chocs sur néocortex : non observé, RAS, absent, faible (sur moins de 10 % de la surface), moyen (sur 10 à 25 % de la surface), fort (sur 25 à 50 % de la surface), très fort à total (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface).

Type d'altération néocorticale : non observé, RAS, absente, différentielle, courvante, golfes de dissolution, plage de dissolution. Ce champ peut être multivalué.

altération : (pédologique, pétroarchéologie) *au sens pédologique et restreint du terme, elle exprime les transformations chimiques des roches dans les conditions superficielles. Les processus d'altération (hydrolyse, oxydation, etc.) sont à la base de la genèse et de l'évolution des sols et des altérites superficiels. Tous sont tributaires de la présence de fluides qui conduisent à une perte de matière. L'eau est le principal acteur à l'origine des processus d'altération ; elle conditionne les dépôts et les apports mis en évidence par les bilans géochimiques. Les structures, textures, compositions minéralogique et chimique sont alors affectées. Pour les transformations physiques (thermiques ou mécaniques) nous ne parlons pas d'altération, mais d'usure ou d'érosion.*

dissolution : (géologie, géochimie) *processus physico-chimique entraînant la mise en solution dans l'eau d'éléments chimiques appartenant à un solide. On distingue la*

dissolution congruente (homogène) qui s'étale sur une partie importante de la surface (plage de dissolution ou couvrante) de la dissolution incongruente (ou sélective) qui ne dissout qu'une partie des éléments (dissolution différentielle).

couvrante : (pétraarchéologie) type de dissolution non préférentielle qui impacte la totalité de la surface de l'objet.

différentielle : (pétraarchéologie) type de dissolution préférentielle qui engendre un microrelief significatif suivant la nature des phases et l'orientation cristalline.

golfe de dissolution : (pétraarchéologie) zone concave à la surface d'un cristal ou d'une roche, qui est généralement due à une hydrolyse.

plage de dissolution : (pétraarchéologie) type de dissolution qui impacte une ou plusieurs parties de la surface de l'objet.

Gradient d'altération néocorticale (Fig. 22) : non observé, RAS, absent, faible (sur moins de 10 % de la surface), moyen (sur 10 à 25 % de la surface), fort (sur 25 à 50 % de la surface), très fort à total (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface).

Gélifraction : non observée, RAS, absente, géliruption, gélidisjonction, cryosuccion. Ce champ peut être multivalué.

gélifraction : (géologie) terme général qui qualifie plusieurs types de fractionnement d'une roche sous l'action du cycle gel/dégel. Pour les objets en silicite, ce type de mécanisme est très présent pendant le dernier pléniglaciaire (Letavernier & Ozouf 1987, Vallin et al. 2013, Michel 2022).

géliruption : (pétraarchéologie) processus lié à l'avancement du gel qui s'identifie sur la silicite par des fissures et des cupules de gel (parfois non détachées).

gélidissjonction : (pétraarchéologie) reprise de la gélifraction dans un réseau de fissures préexistant (Letavernier & Ozouf 1987). Elle s'identifie par la fragmentation des échantillons.

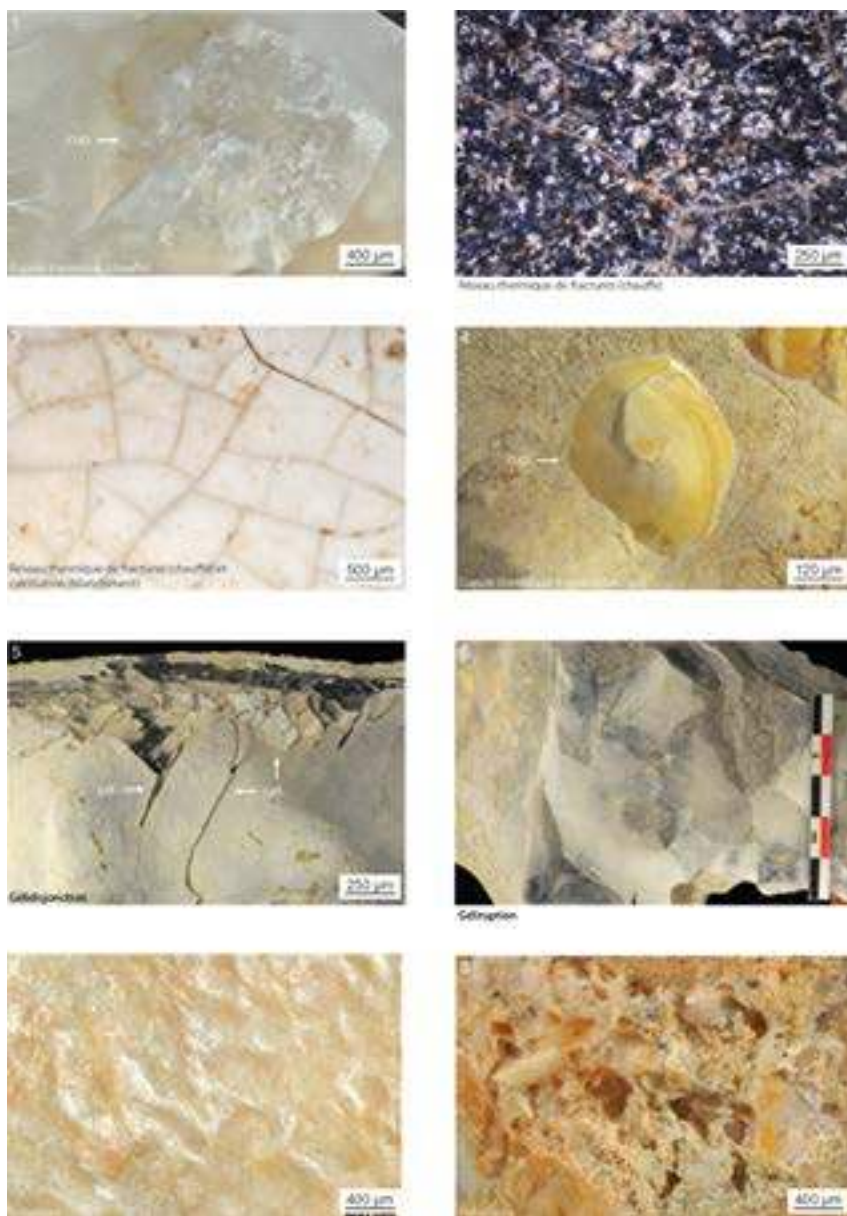
cryosuccion : (pétraarchéologie) succion survenant lors des grands froids, l'eau présente dans la roche va être aspirée vers la zone externe déjà gelée.

Gradient de gélifraction : non observé, RAS, absent, faible (sur moins de 10 % de la surface), moyen (sur 10 à 25 % de la surface), fort (sur 25 à 50 % de la surface), très fort à total (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface).

Autres processus : non observés, RAS, absents, recristallisation, thermoclastie, haloclastie, éolisation, tectonisation, galet impressionné, indéterminés. Ce champ peut être multivalué.

recristallisation : (pétraarchéologie) développement d'une nouvelle génération de cristaux dont la taille est généralement supérieure à celle des grains d'origine et dont la nature minéralogique peut être identique ou différente mais toujours avec un gain de stabilité (moins soluble) et de cristallinité (moins de défauts dans le réseau cristallin). La recristallisation d'un matériau fait suite à des changements de conditions physiques, physico-chimiques ou mécaniques.

thermoclastie : (pétraarchéologie) mécanisme physique lié à de forts écarts thermiques qui conduit à la fissuration et à la fragmentation des roches.



22. Exemples de stigmates laissés à la surface des silicites par les processus d'altération thermique et autres.

22. Examples of traces left on the surface of silicites by thermal and other weathering processes.

haloclastie : (pétoarchéologie) processus de désagrégation de la roche lié à la cristallisation de sels. Ce processus de météorisation est particulièrement efficace dans les zones côtières, ainsi que dans les déserts.

éolisation : (pétoarchéologie) processus de désagrégation de la roche par l'action du vent (saltation) chargé de grains de sable donnant un aspect satiné et piqueté.

tectonisation : (pétoarchéologie) fissuration sous l'action de la tectonique.

galet impressionné : (pétoarchéologie) galet de façonnage marin, à surface creusée de petites ou grandes cupules suite à la pénétration des galets ou graviers voisins.

Type de microporosité (observation au microscope optique ; Fig. 23) : non observée, absente, intercrystalline, de fissure, de chenaux, moldique, fenestrée, vacuolaire, *boxworks*, géodique, intraclastique, interclastique, indéterminée. Ce champ peut être multivalué.

porosité : (sédimentologie) propriété d'un corps, d'un milieu, de comporter des vides interconnectés ou non. Le paramètre qui l'exprime est le rapport du volume des pores présents dans une roche à son volume total (Moureau & Brace 2000) : $Pt (\%) = \text{Volume des vides} / \text{volume total de la roche} \times 100$.

porosité primaire : (pétoarchéologie) porosité créée au moment du dépôt et conservée lors de la diagenèse (syn. : porosité de pores).

porosité secondaire : porosité formée dans les sédiments après leur dépôt ; (pétoarchéologie) porosité créée lors de l'évolution post-génétique de la roche.

porosité intercrystalline (ou de joint de grains) : (sédimentologie, pétoarchéologie) porosité constituée par les pores situés entre les cristaux d'une roche. Pour les silex, il s'agit essentiellement d'une microporosité, qu'il est même souvent difficile de discerner même au microscope.

porosité de fissure ou de fracture : (pétoarchéologie) porosité due à l'existence de fissures et diaclases ouvertes générées par la rupture ou l'éclatement d'une roche.

porosité de chenaux : (pétoarchéologie) vide créé entre deux parties d'une même roche qui ne sont plus en contact, mais dont les limites sont irrégulières. Ce type de porosité est souvent le résultat d'activité biologique dans les sédiments.

porosité moldique : (pétoarchéologie) porosité de moulage, porosité secondaire provoquée par la dissolution d'un constituant particulier de la roche.

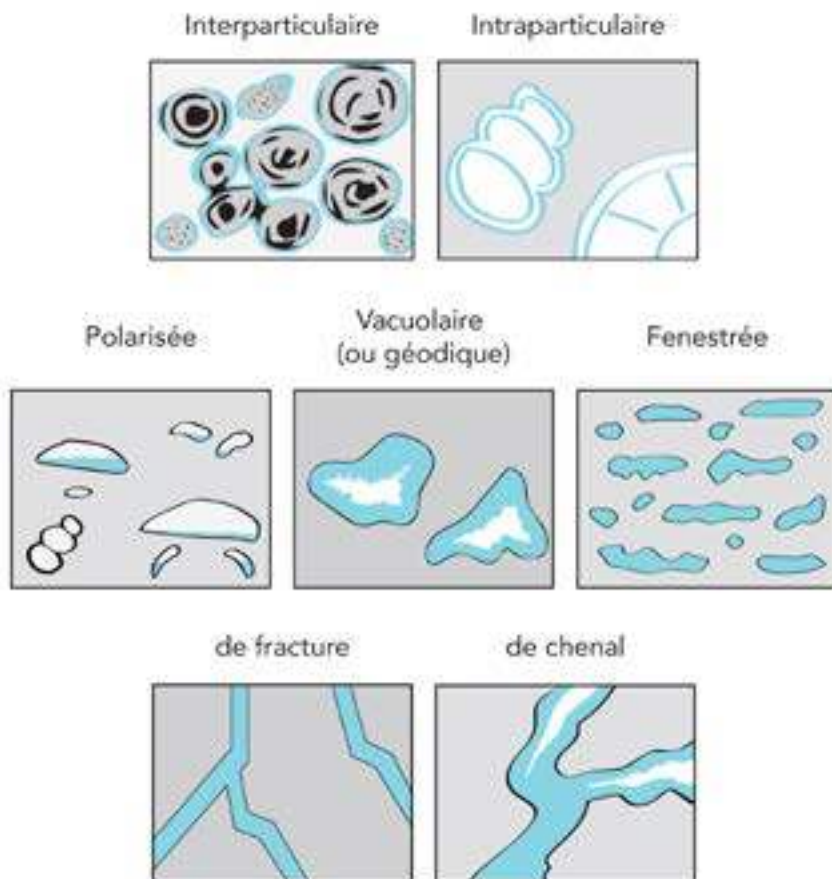
porosité fenestrée : (pétoarchéologie) porosité caractérisée par la présence de pores isolés de forme allongée et le plus souvent alignés.

porosité vacuolaire : (pétoarchéologie) porosité constituée par les vides laissés par la dissolution partielle ou totale de certains éléments figurés. La forme de ces espaces est le plus souvent irrégulière.

boxwork : (pétoarchéologie) type de porosité intra particulaire qui concerne particulièrement la dissolution différentielle de certains minéraux en conservant leur forme originale (p. ex. : *boxworks* rhomboédrique de dolomie, *boxworks* cubiques de pyrite).

porosité géodique : (pétoarchéologie) vides résultants du développement de géodes dans les roches.

porosité intraclastique ou intragranulaire : (pétoarchéologie) vides formés à l'intérieur des allochèmes.



23. Les différents types de porosité d'après Choquette & Pray 1970 (modifié).

Le blanc représente la porosité, le bleu les recristallisations plus tardives (dont tapissages et remplissages) et le gris la matrice.

23. *The different types of porosity after Choquette & Pray 1970 (modified).*

Porosity is highlighted in white, later recrystallizations (including lining and filling) are represented in blue and the matrix appears in grey.

porosité interclastique ou intergranulaire : (*pétoarchéologie*) qui correspond à l'espace laissé libre entre les éléments figurés.

Type de poronécrose microscopique (observation au microscope optique) : non observée, absente, vide, tapissage par silice collomorphe, tapissage par quartz automorphes, colmatage par oxydes et/ou argiles, colmatage par de la silice « limpide », colmatage par de la silice fibreuse, colmatage par de la silice « opalescente », colmatage par des quartz automorphes, colmatage par des carbonates, indéterminé. Ce champ peut être multivalué.

poronécrose : (*pétographie*) colmatage ou tapissage de la porosité par cimentation.

tapissage : (*pétoarchéologie*) croissance minérale le long de la paroi des vides, le cœur (ou lumière) du pore n'est pas rempli.

colmatage : (*pétoarchéologie*) croissance minérale qui vient totalement boucher le pore. La croissance minérale s'effectue classiquement du bord (paroi) vers le cœur (lumière) du pore.

Type de macroporosité (Fig. 24) : non observée, absente, intercrystalline, de fissure, de chenaux, moldique, fenestrée, vacuolaire, *boxworks*, géodique, intraclastique, interclastique, indéterminée. Ce champ peut être multivalué.

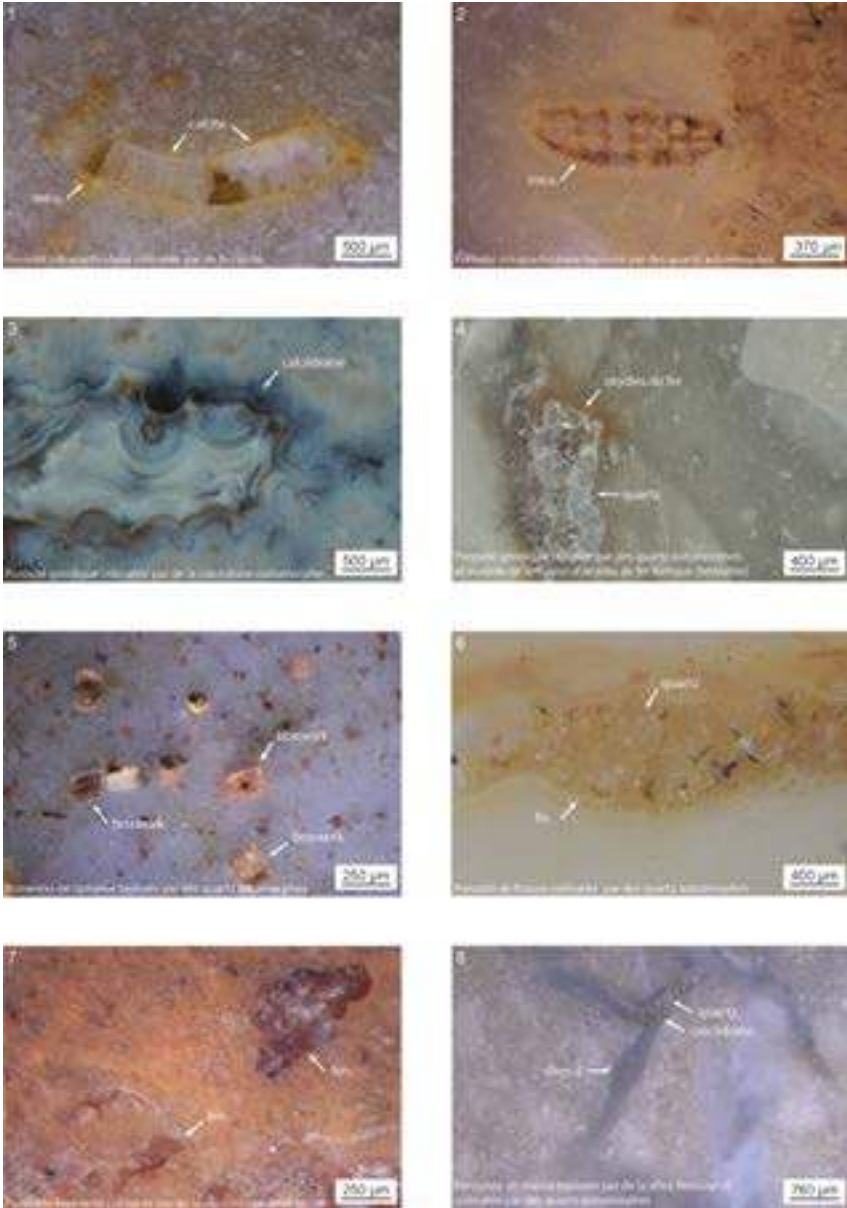
Type de poronécrose macroscopique (Fig. 24) : non observée, absente, vide, tapissage par silice collomorphe, tapissage par des quartz automorphes, colmatage par des oxydes et/ou argiles, colmatage par de la silice « limpide », colmatage par de la silice fibreuse, colmatage par de la silice « opalescente », colmatage par des quartz automorphes, colmatage par des carbonates, indéterminée. Ce champ peut être multivalué.

Patine prédépositionnelle : non observée, RAS, absente, blanche uniforme, blanche vermiculée, jaune, brune, rouge, noire, colorée et blanche, double patine, autre. Ce champ peut être multivalué.

patine : (*pétoarchéologie*) 1) résultat de l'ensemble des transformations affectant la couleur ou la transparence d'origine de la surface de la silicite ; 2) (Cayeux 1929), terme utilisé par l'auteur pour décrire le cortex des silex ; 3) (Séronie-Vivien & Séronie-Vivien 1987), « partie externe du silex ayant subi une altération superficielle due aux agents atmosphériques ». Le processus est chimique et/ou biochimique, il est contrôlé en particulier par l'action de l'eau qui assiste les réactions à l'origine des transformations.

patine prédépositionnelle : (*pétoarchéologie*) résultat d'une altération entraînant un blanchiment, une opacification ou une coloration, plus ou moins superficielle qui se développe de manière centripète à compter de la mise à l'affleurement de la roche contenant la silicite et se poursuit jusqu'à l'abandon dans le dépôt du site archéologique. Lorsqu'elle est présente, elle est discernable sur la face naturelle des échantillons.

patine blanche uniforme : (*pétoarchéologie*) (Friedel 1875) altération due à une chaîne de processus mécaniques et chimiques entraînant un accroissement de la porosité qui se traduit par une perte de transparence. Ce type d'altération centripète entraîne une modification de la texture des silicites et la perte des phases minérales solubles. Dans ce processus, la perte de matière est supérieure au dépôt. Son expression est caractéristique des milieux soumis à des circulations intenses de fluides très dilués ou basiques.



24. Exemples de types de macroporosités et de poronécrose.
24. *Examples of some types of macro porosity and poronécrosis process.*

patine blanche vermiculée : (pétoarchéologie) surface qui présente des sillons blancs contournés, comme tracés par des vers ou des racines.

patine colorée : (pétoarchéologie) altération accompagnée d'une pigmentation de la silicite soumise à une chaîne de processus chimiques et/ou biochimiques contrôlés par l'eau. Ces processus génèrent des dissolutions, des incorporations chimiques et des transformations minéralogiques d'abord en surface, puis en zone endocorticale jusqu'au cœur de la roche. Par apport chimique, ces processus déterminent des variétés colorés, souvent zonés et offrant une certaine brillance de la surface. Cette altération pénétrative entraîne une évolution texturale centripète de la silicite et s'accompagne du développement de sa porosité et d'un enrichissement fréquent en éléments pigmentant (Fe, Mn, etc.) apportés par l'eau (Cackler et al. 2000). Les processus de transferts capillaires et d'évaporations sont fondamentaux.

Intensité de la patine : non observée, RAS, très légère (voile), légère (la couleur de la silicite est évidente), moyenne (la couleur de la silicite se devine), forte (la couleur de la silicite a disparu), indéterminée.

Localisation de la patine prédépositionnelle : non observée, RAS, proximale, mésiale face supérieure, mésiale face inférieure, distale, totale face supérieure, totale face inférieure, bord gauche, bord droit, totale sur les deux faces.

Liseré sous-cortical : non observé, RAS, absent, blanc, gris, jaune, brun, brun zoné, rouge, noir.

Limites du liseré sous-cortical : non observées, RAS, nettes, diffuses, festonnées, irrégulières.

Épaisseur du liseré sous-cortical : non mesurée, RAS, inframillimétrique, millimétrique, plurimillimétrique, centimétrique.

Teinte acquise par la silicite : non observée, absente, indéterminée, translucide, blanche, grise, jaune, brune légère, brune totale, rouge, noire.

Intensité de la teinte acquise par la silicite : non observée, RAS, absente, très légère (voile), légère (la couleur d'origine reste évidente), moyenne (la couleur d'origine se devine encore), forte (la couleur d'origine est absente), indéterminée.

Teinte acquise par les allochèmes : non observée, RAS, absente, brune, rouge, jaune, noire, blanche, translucide, grise, indéterminée. Ce champ peut être multivalué.

allochème*

Intensité de la teinte acquise par les allochèmes : non observée, RAS, absente, très légère (voile), légère (la couleur d'origine reste évidente), moyenne (la couleur d'origine se devine encore), forte (la couleur d'origine est absente), indéterminée.

Degré d'épigénie des allochèmes : absent, léger, moyen, fort, non mesuré, indéterminé.

épigénie ou épigénèse : (pétrographie) 1) remplacement d'un minéral par un autre sans modification de sa forme et de sa structure. L'épigénie est un mécanisme de la

diagenèse : mécanisme initial de solidification et modificateur des structures héritées (Cayeux 1941). 2) (Séronie-Vivien & Séronie-Vivien 1987), « processus de remplacement au sein d'une roche, d'un minéral par un autre. C'est un phénomène secondaire à opposer à la diagenèse qui est le processus initial de la consolidation ». Ces auteurs font donc de l'épigénèse un processus tardif. 3) (pétroarchéologie ; Fernandes 2012) en règle générale, l'épigénèse est un processus lent qui permet soit la conservation de la forme initiale de l'élément concerné, soit un remplacement total de la matrice, conduisant le plus souvent vers une phase minérale autre tel que la calcite ou des phases minérales mieux organisées.

Blanchiment autour des allochèmes : non observé, RAS, absent, abondant (plus de 50 %), fréquent (de 25 à 50 %), rare (de 10 à 25 %), très rare (moins de 10 %), indéterminé, pourcentage établi par rapport à l'ensemble des allochèmes.

Pseudomorphose, périmorphose (observation au microscope optique) : non observée, RAS, absente, gypse-quartz, pyrite-limonite, dolomite-ankérite, dolomite-quartz, dolomite-oxydation, carbonate-quartz, carbonate-oxydation, carbonate-calcédoine, carbonate-opale, gypse-calcédoine, phosphate-quartz, phosphate-calcédoine, indéterminée.

pseudomorphose : (pétroarchéologie) phénomène de néoformation qui se distingue de l'épigénèse par le fait qu'il y a formation d'un vide puis remplissage du minéral préexistant resté clairement identifiable par son habitus hérité par un autre minéral. Cette néoformation peut être d'origine métamorphique, diagénétique ou liée à une altération.

périmorphose (du grec peri, autour, et orphè, forme) : (pétroarchéologie) cas particulier de pseudomorphose qui garde en mémoire l'enveloppe extérieure du minéral d'origine.

Type de lustré prédépositionnel : non observé, RAS, absent, lustré de sol, lustré de gélifluxion, lustré éolien, lustré fluvial, indéterminé. Ce champ peut être multivalué.

lustré : (pétroarchéologie) état brillant de la surface de certaines roches en réponse à des dépôts chimiques ou à des actions abrasives douces et répétées d'origines géologiques variées (ex. : lustré de ruissellement, lustré de sol, lustré de gélifluxion, lustré fluvial, lustré éolien, etc.). L'examen de la localisation du poli, son intensité et la nature des stigmates associés permet d'identifier sous quelles conditions il s'est formé.

lustré de sol ou glossy patina : (pétroarchéologie) film luisant plus ou moins soutenu qui recouvre la face reposante ou la totalité de la roche, y compris les dépressions. Il est principalement le résultat de processus chimiques liés aux échanges avec son encaissant. Retenons toutefois que l'adoucissement de certaines nervures s'explique bien par une abrasion faible à très faible. Il se différencie des traces d'utilisation par son extension couvrante et son aspect granulé (Stapert 1976, Mansur-Franchomme 1986, Howard 2002, Fernandes 2012).

lustré de gélifluxion ou de cryoturbation : (pétroarchéologie) il affecte certaines roches qui se trouvent dans les sols soumis à des cycles de gel et de dégel qui porte des traces d'éroulements faibles à forts et des stries. Il semble être le résultat de processus plus mécaniques que chimiques successifs et/ou concomitants. L'abrasion est le facteur principal à l'origine de la formation de ce type de lustré. La fraîcheur des stries exclut le plus souvent toute possibilité de dépôt siliceux ou autre (Masson 1981).

lustré éolien ou *desert varnish* : (pétoarchéologie) *brillance parfois intense. Dans les modèles conceptuels actuels, la formation de ces vernis ou glaçages serait d'origine polygénique. Il s'agirait de revêtements par accrétions liées à un glaçage de silice qui viendrait, dans le cas de nos objets, recouvrir le façonnage par corrasion. Le processus serait donc distinct des mécanismes liés à la corrasion éolienne. Postérieur à la phase de corrasion, il serait lié à une période de baisse d'activité éolienne, où l'eau en remobilisant certains constituants joue un rôle essentiel. On note la présence de traces de chocs en V associée à ce poli.*

lustré fluviatile : (pétoarchéologie) *brillance faible à intense acquise lors du long transit des roches dans le réseau hydrographique.*

Gradient du lustré prédépositionnel : non observé, RAS, absent, léger (brillance discrète), moyen (demi-brillant), fort (brillance importante), multiple.

Localisation du lustré prédépositionnel : non observée, RAS, proximale, mésiale face supérieure, mésiale face inférieure, distale, totale face supérieure, totale face inférieure, bord gauche, bord droit, totale sur les deux faces.

Type d'encroûtement prédépositionnel : absent, sédiments, plage de calcite, plage de silice néoformée, ponctuations noires (Fe/Mg), dendrites noires (Fe/Mg), autres, RAS.

Intensité de l'encroûtement prédépositionnel : non observé, RAS, absent, encroûtement léger (sur moins de 10 % de la surface), encroûtement moyen (sur 10 à 25 % de la surface), encroûtement fort (sur 25 à 50 % de la surface), encroûtement très fort à total (de 50 % à 100 % de la surface).

Type de néocortex : non observé, RAS, absent, RS (formation résiduelle à silex), CRS (colluvions de formation résiduelle à silex), RS ou CRS, alluvial, alluvial ancien, marin, primaire, colluvions, éolisé, indéterminé.

Itinéraire prédépositionnel : texte libre.

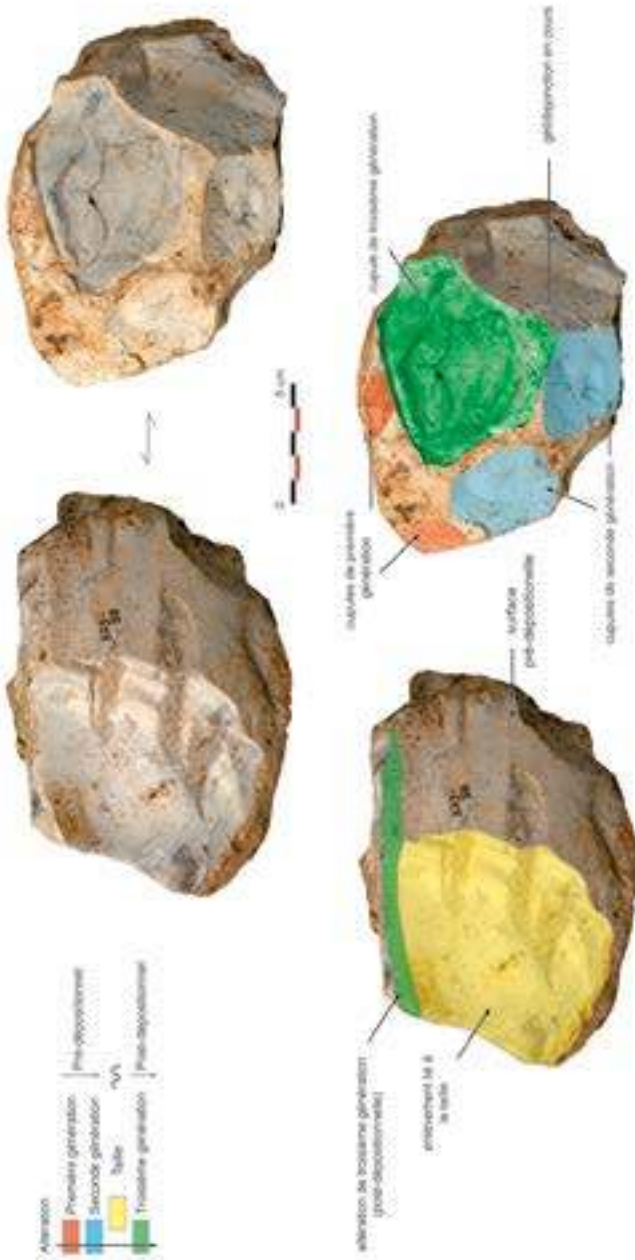
Âge de la formation de collecte (Ère) : indéterminée, Cénozoïque, Mésozoïque, Paléozoïque.

C'est à partir des déterminations faites *supra* que l'on interprète l'âge de la formation géologique dans laquelle la silicite a été collectée. Il ne s'agit pas ici de l'âge de la formation de la silicite.

Âge de la formation de collecte (Époque ou Système) : indéterminé, Holocène, Pléistocène, Pliocène, Miocène, Oligocène, Éocène, Paléocène, Crétacé supérieur, Crétacé inférieur, Jurassique supérieur, Jurassique moyen, Jurassique inférieur, Trias, Permien, Carbonifère, Dévonien, Silurien, Ordovicien, Cambrien.

Âge de la formation de collecte (Étage) : indéterminé ; Holocène, Pléistocène supérieur, Pléistocène moyen, Pléistocène inférieur, Gélasién, Plaisancien, Zancéen, Messinien, Tortonien, Serravallien, Langhien, Burdigalien, Aquitanien, Chattien, Rupélien, Priabonien, Bartonien, Lutétien, Yprésien, Thanétien, Sélandien, Danien, Maastrichtien, Campanien, Santonien, Coniacien, Turonien, Cénomannien, Albien, Aptien, Barrémien, Hauterivien, Valanginien, Berriasien, Tithonien,

Kimméridgien, Oxfordien, Callovien, Bathonien, Bajocien, Aalénien, Toarcien, Pliensbachien, Sinémurien, Hettangien, Rhétien, Norien, Camien, Ladinien, Anisien, Olénékien, Indusien, Changhsingien, Wuchiapingien, Capitanien, Wordien, Roadien, Kungurien, Artinskien, Sakmarien, Assélien, Gzhélien, Kasimovien, Moscovien, Bashkirien, Serpukhovien, Viséen, Tournaisien, Faménnien, Frasnien, Givetien, Eifelien, Emsien, Pragien, Lochkovien, Pridolien, Ludfordien, Gorstien, Homerien, Sheinwoodien, Télychien, Aéronien, Rhuddanien, Himantien, Ordovicien VI, Ordovicien V, Darriwilien, Ordovicien III, Arénig, Trémadocien, Cambrien (étage 10), Cambrien (étage 9), Praibien, Cambrien (étage 8), Cambrien (étage 7), Cambrien (étage 6), Cambrien (étage 5), Cambrien (étage 4) Cambrien (étage 3), Cambrien (étage 2), Cambrien (étage 1).



25. Exemple de lecture diacritique des altérations pré- et post-dépositionnelles (PAO : P. Fernandes et P. Tallet).

25. Example of pre- and post-depositional alterations reading (Pictures and CAD: P. Fernandes and P. Tallet).

LES CARACTÉRISTIQUES ARCHÉOLOGIQUES – GRILLE 3

Valeurs et champs du tableau de données taphonomiques

Le concept de chaîne évolutive induit que la silicite évolue pour trouver un état d'équilibre chimique avec son dernier lieu de résidence, qui, dans le cas d'un objet archéologique, est le site archéologique lui-même. Dans le cadre d'une étude de série archéologique, il s'agit donc non seulement de rechercher l'origine génétique (grille 1) et gîtologique (grille 2) d'un artefact, mais également de considérer son évolution post-dépositionnelle. Aux deux grilles d'observation précédentes, s'ajoute donc un troisième niveau d'analyse : la grille « Taphonomie ». Alors qu'au paravant nous observions les surfaces non-anthropiques qui renseignent sur le gîte de collecte, nous analysons maintenant les surfaces taillées par des humains (surfaces anthropiques), qui donnent des indications sur l'intégrité des niveaux archéologiques. La grille 3 est composée d'une cinquantaine de champs permettant de décrire :

- le type et l'intensité de la ou des patines post-dépositionnelles ;
- l'intensité des chocs et altérations portés par les arêtes, les nervures et les surfaces taillées ;
- le type et l'intensité des polis ;
- et l'intensité des chocs thermiques (gel et chauffe).

Il s'agit ici de séparer les effets des processus prédépositionnels (témoins des lieux de résidence antérieurs à la collecte) de ceux associés aux processus post-dépositionnels (marques des phénomènes initiés dans le site archéologique). Outre fournir des informations sur la mise en place et les éventuelles déformations du niveau archéologique, l'état d'altération des enlèvements et leurs positionnements sert en effet de repère médian à la compréhension de la succession des processus modificateurs, qu'ils soient antérieurs ou postérieurs à l'abandon de l'objet. En soustrayant virtuellement aux surfaces naturelles l'état d'altération associé à la phase post-dépositionnelle, nous sommes ainsi en mesure de préciser le type de formation dans laquelle la silicite a été collectée aux temps préhistoriques. En effet, si un objet archéologique porte les stigmates d'un transport alluvial sur toute sa surface (dont une éventuelle zone (néo)corticale), il est fort possible que les chocs portés par le (néo)cortex soient liés à cette phase de remobilisation du dépôt archéologique et non à une collecte dans des formations alluviales. Seul le décryptage de la chronologie des chocs sur le cortex permettrait de l'affirmer, en hiérarchisant strictement les associations de stigmates à une période de la vie de l'objet (prédépositionnelle ou post-dépositionnelle).

L'intensité de la patine, la répartition des polis et le taux d'usure ou de corrosion des (micros) reliefs des surfaces taillées forment une association particulière de stigmates et traces. Cette association est toujours moins évoluée que celles présentes sur l'échantillon avant son dépôt sur le site et plus évoluée que les effets laissés par les phases plus tardives (*e.g.* bris par le gel ; bris lors de la fouille...). Notons que la face exposée est généralement plus affectée que la face reposante, c'est-à-dire que l'intensité des processus diffère en fonction de la polarité de la pièce. On parle de polarité taphonomique. Lorsque l'on souhaite étudier les états de surface des pièces archéologiques, ceci montre encore une fois l'importance d'identifier le sens où se présentait la pièce lors de la fouille, soit en marquant la face exposée, soit en l'indiquant dans les carnets de terrain.

Par exemple, les patines colorées sont des modifications de surface contrôlées par les phénomènes sédimentaires et climatiques acquis dès la mise à l'affleurement et encore lisibles sur les objets archéologiques si les processus tardifs de dissolution ne les ont pas oblitérées. Les patines colorées sont circonscrites à la porosité sous-corticale (Glauberman & Thorson 2012, Thiry *et al.* 2014). Elles indiquent, le plus souvent, une longue période de forte altération. Elles s'installent d'abord sur les traces de chocs de la face la plus exposée des blocs et pénètrent jusqu'à effacer les imprégnations colorées antérieures. La prise en compte des différents gradients entre les surfaces sans patine et les surfaces portant une patine forte (toujours du jaune vers le brun) permet de rassembler des pièces qui partagent le même parcours post-génétique. La présence de différents degrés d'intensité, au sein d'une même surface, est un indicateur de la chronologie des différents négatifs d'enlèvements. Ces phénomènes perdurent lors de la phase post-dépositionnelle, notamment lorsque la silicite reste en contact avec les eaux météoriques. On observe alors des pièces qui portent des doubles patines. Pareillement, la présence de différents taux de patine blanche sur une même surface renseigne sur la chronologie des fragmentations : elle est toujours plus intense sur les négatifs des enlèvements les plus anciens.

Comme l'illustre la figure 25, en déchiffrant la chronologie des différentes phases d'altération et en y ajoutant le temps post-anthropique (après son utilisation et son abandon par l'homme), il est possible de compléter l'histoire évolutive des silicites. Ce bloc testé porte une première phase de cupules (en rouge), puis une seconde (en bleu), mais qui présente une patine moins prononcée que celles de la première phase. Cette seconde génération de cupules est recoupée par un négatif d'éclat (en jaune), qui lui-même est recoupé par une cupule (en vert). La bande verte (en haut à gauche) est également une altération post-dépositionnelle, mais il s'agit de dissolution initiée le long d'une nervure. La lecture diacritique des altérations de ce bloc nous indique donc l'existence de trois générations de cupules, traduisant au moins deux épisodes d'exposition au froid, dont un serait survenu après la taille du silex. Non seulement, le dépôt archéologique dont provient ce silex a été impacté par le gel, mais le bloc lui-même a été collecté dans une formation impactée par le gel (ici des argiles à silex).

Un facteur limitant de l'étude des états de surface post-dépositionnels est la dimension des objets étudiés. En effet, les plus petits d'entre eux (50 millimètres) n'enregistrent que peu ou pas les stigmates liés aux déplacements lents (stries, broutage, cônes incipients...) et seuls les phénomènes d'altération sont généralement visibles (patine colorée et/ou blanche, lustré...). Pour un niveau archéologique donné, nous préconisons donc d'appuyer la lecture taphonomique des industries lithiques sur les objets les plus volumineux (nucléus, éclats de mise en forme...) qui portent, eux, une somme d'informations plus en accord avec la réalité du parcours post-dépositionnel des pièces.

Type de support : déchet, éclat cortical, éclat, lame, lamelle, outil, nucléus, bloc testé, indéterminé.

Polarité post-dépositionnelle : absente, de patine, dissolution, de chocs, de lustré, encroûtement, non observée.

polarité post-dépositionnelle : (*pétroarchéologie*) propriété que possèdent en général les objets taillés de présenter deux surfaces qui ont des caractéristiques différentes, à signification d'origine taphonomique.

Patine post-dépositionnelle : absente, blanche uniforme, blanche vermiculée, blanche uniforme et vermiculée, jaune, brune, brune et blanche, double, non observée.

patine*

Intensité de la patine : RAS, très légère (c'est juste un voile), légère (la couleur de la silicite est évidente), moyenne (la couleur de la silicite se devine), forte (la couleur de la silicite a disparu), indéterminée, non mesurée.

Localisation de la patine post-dépositionnelle : RAS, proximale, mésiale, distale, deux faces, mésiale face supérieure, mésiale face inférieure, face supérieure, face inférieure, bord gauche, bord droit, non observée.

Types de chocs sur nervures : RAS, absent, esquillements isolé, esquillements alignés, frottements anciens, chocs anciens, encoche, écrasement, frottements actuels, chocs actuels, stries, non observés.

Gradient des chocs sur nervures : RAS, absent, très faible (< 10%), faible (10-25 %), moyen (25-50 %), fort (> 50%), non mesuré.

Gradient d'usure sur nervures : RAS, émoussé absent, émoussé léger (sur moins de 10 % de la surface), émoussé moyen (sur 10 à 25 % de la surface), émoussé fort (sur 25 à 50 % de la surface), émoussé très fort à total (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface), non observé.

usure*

émoussé*

Gradient de la dissolution sur les nervures : RAS, absent, altération légère (sur moins de 10 % de la nervure), altération moyenne (sur 10 à 25 % de la nervure), altération forte (sur 25 à 50 % de la nervure), altération très forte à totale (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la nervure), non mesuré.

Types de chocs sur les bords : RAS, absents, esquillements isolés, esquillements alignés, chocs, encoche, écrasement, frottements actuels, chocs actuels, stries, non observés.

Gradient des chocs sur les bords : RAS, absent, très faible (< 10%), faible (10-25 %), moyenne (25-50 %), forte (> 50%), non mesuré.

Fragmentation : absente, distale ancienne, mésiale ancienne, proximale ancienne, distale tardive, mésiale tardive, proximale tardive, distale actuelle, mésiale actuelle, proximale actuelle, non observée.

Gradient usure des bords : RAS, émoussé absent, émoussé léger (sur moins de 10 % des bords), émoussé moyen (sur 10 à 25 % des bords), émoussé fort (sur 25 à 50 % des bords), émoussé très fort à total (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % des bords), non observé.

Chocs sur les faces supérieures et inférieures : RAS, faces intactes, cupules, sub-sphériques, chocs, stries, cônes de pression, chocs actuels, non observés.

Gradient des chocs sur les faces supérieures et inférieures : RAS, absent, très faible (< 10%), faible (10-25 %), moyen (25-50 %), fort (> 50%), non mesuré.

Gradient d'usure sur les faces supérieures et inférieures : RAS, émoussé absent, émoussé léger (sur moins de 10 % de la surface), émoussé moyen (sur 10 à 25 % de la surface), émoussé fort (sur 25 à 50 % de la surface), émoussé très fort à total (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface), non mesuré.

Gradient de la dissolution sur les faces supérieures et inférieures : RAS, absent, altération légère (sur moins de 10 % de la surface), altération moyenne (sur 10 à 25 % de la surface), altération forte (sur 25 à 50 % de la surface), altération très forte à totale (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface), non observé.

Gélifraction post-dépositionnelle : RAS, absente, géliruption, gélidisjonction, cryosuccion, multiple, non observée.

gélifraction*

gélirruption*

gélidisjonction*

cryosuccion*

Gradient de gélifraction post-dépositionnelle : RAS, absent, gélifraction légère (sur moins de 10 % de la surface), gélifraction moyenne (sur 10 à 25 % de la surface), gélifraction forte (sur 25 à 50 % de la surface), gélifraction très forte à totale (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface), non observé.

Autres processus : RAS, absents, recristallisation, thermoclastie, haloclastie, éolisation, encroûtement, dépôt d'une pellicule, non observés, indéterminés.

recristallisation*

thermoclastie*

haloclastie*

éolisation*

Trace de chauffe naturelle ou intentionnelle : absente, probable, confirmée, non observée.

Type de lustré post-dépositionnel : non observé, RAS, absent, lustré de sol, lustré de gélifluxion, lustré éolien, lustré fluviatile, anthropique, indéterminé. Ce champ peut être multivalué.

lustré*

lustré de sol ou *glossy patina**

lustré de gélifluxion ou de cryoturbation*

lustré éolien ou *desert varnish**

lustré fluvial*

lustré anthropique : désigne une brillance faible à intense initiée par l'usage.

Intensité du lustré post-dépositionnel : RAS, absent, léger (brillance discrète), moyen (demi-brillant), fort (brillance importante), multiple, non observée.

Localisation du lustré post-dépositionnel : RAS, total, proximal, mésial, distal, deux faces, face supérieure, face inférieure, les creux, bord gauche, bord droit, non observée.

Intensité du lustré de miroir : absente, légère (sur moins de 10 % de la surface), moyenne (sur 10 à 25 % de la surface), forte (sur 25 à 50 % de la surface), très forte à totale (sur plus de 50 % jusqu'à 100 % de la surface), non observée.

lustré de miroir (pétroarchéologie, tracéologie) : *îlots très brillants, le plus souvent circonscrits sur les microreliefs. La transition entre cette brillance et la phase siliceuse est nette. Leur examen au microscope indique un poli très localisé, soit contrôlé par des frottements entre pièces de même nature (Shepherd 1972), soit par friction avec le sédiment gelé « frost push and frost pull ».*

Gradient des processus mécaniques : absent, très faible, faible, moyen, fort, non observé.

Gradient des processus thermiques : absent, très faible, faible, moyen, fort, non observé.

Gradient des processus chimiques : absent, très faible, faible, moyen, fort, non observé.

Index

- abondance : 14, 23, **32**, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 44, 47, 49, 50, 52, 58, 61, 63, 80
- absent (gradient) : **81**, 83, 84, 92, 97, 98, 99
- accessibilité ponctuelle : **21**
- acritarches : 63, **65**
- affleurement : **20**, 75, 80, 88, 96
- aire ambulacraire : **52**
- aire interambulacraire : **52**
- alcyonaire : 49, **50**
- allochem *voir* allochème
- allochème : 14, 15, 23, 31, **32**, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 44, 47, 49, 50, 52, 58, 61, 63, 74, 77, 79, 80, 86, 90, 91
- alluvion : **20**, 67, 77, 80
- alluvion ancienne : **20**
- altération : 6, 11, 14, 22, 23, 24, 25, 35, 41, 74, 77, 78, 79, 81, **83**, 84, 85, 88, 90, 91, 94, 95, 96, 97, 98
- Alveolinidae : 56, **57**
- Ammodiscidae (*Glomospira*, *Ammodiscus*) : 56, **58**
- ancre : **44**, 50
- anisochèle : **44**
- ankérite : 30, **31**, 91
- annulaire : 26, **28**, 29, 57, 58
- anthropique : 13, 14, 22, 80, **81**, 95, 96, 98, 99
- architecture de spicules : **44**
- arrondi : 19, 28, 34, **35**, 37, 38, 41, 79
- authigène : 23, **29**, 30, 31, 36
- bahamite : **40**
- banc : 19, 21, 24, **25**, 26, 74
- bief à silex : **20**
- bimodal : **34**
- bioclastique : 14, 23, 26, 27, **28** (*géologie*), 31, **32** (*pétraarchéologie*), 41
- biotite : **35**
- bioturbé : 26, 27, **28**
- birotule : **44**
- bloc : 20, 21, **22**, 25, 26, 79, 80, 83, 96
- Bolivinidae : **57**
- boxwork* : **86**, 88
- brachiopodes : 32, 61, **63**
- bréchiqne : 26, **28**, 29
- broyage : 81, **83**
- bryopsidales : 44, **46**
- bryozoaires : 32, 47, **49**
- boundstone* : 26, **28**
- Buliminidae : 56, **57**
- calcaire silicifié : 21, 66, **71**
- calcarénite : **19**, 40
- Calcarinidae : 56, **58**
- calcédonite : **29**, 30, 67, 70, 74, 79
- calcite : 19, **30**, 31, 50, 52, 63, 68, 69, 70, 73, 91, 92
- Candeinidae : 58, **61**
- carbonate : 19, **30**, 31, 50, 68, 74, 77, 79, 88, 91
- centroïde : **18**
- characées : **44**
- cheilostome : 47, **49**
- chenaux d'érosion : 25, **26**
- chert : 66, 68, 73, **74**, 75
- chitinozoaires : 63, **65**
- chlorophycées : **44**
- choc en V : **83**

- Cibicidae : 56, **57**
 cimentation : 69, 70, 79, **81**, 88
 cinérite silicifiée : 66, **74**
 classement : 17, 19, 28, 32, 33, **34**
 clastes de nature multiple : 31, **32**
 clastique : 26, **28**
coated grain : **38**, 40
 coccolithophoridés : 63, **65**
 collecte systématique : **22**
 collecte sélective : **22**
 colluvion : **20**, 80, 92
 CRS (Colluvions de formation résiduelle à silex) : **20**, 92
 colmatage : **88**
 composante chimique : **38**, 39
 cône de pression en chevron : 81, **83**
 cône hertzien *voir* cône incipient
 cône incipient : 81, **83**, 96
 conglomératique : 26, **28**, 29
 conodontes : 63, **66**
 Conoglobigerinidae : **60**
 corallinacées : 44, **46**
 coraux : 32, 48, **49**, 50
 cordon marin : **20**, 80
 (néo)cortex : 9, 14, 24, 40, 74, 77, 79, **80**, 88, 95
 coup d'ongle : **83**
 coup d'ongle (racine de) *voir* racine de coup d'ongle
 couvrante : 83, **84**, 91
 crinoïdes : **50**
 cryosuccion : **84**, 98
 cupule de choc : **81**
 cyanobactéries : **47**
 cyanophytes *voir* cyanobactéries
 cyclostome : 47, **49**
 dalle : 21, 24, **25**
 dasycladacées : 44, **46**
 débris : 19, **25**, 28, 32, 44, 47, 50, 52, 53, 58, 61, 63
 débris noir : **65**
 débris noir ligneux : **65**
 débris de spongiaire : **41**
 démosponges : 41, **43**
desert varnish voir lustré éolien
 diatomées : 44, **47**, 66
 différentielle : 83, **84**, 86
 dinoflagellés : 63, **65**
 dinophycées *voir* dinoflagellés
 Dinophyta *voir* dinoflagellés
 Discocyclusinidae : 56, **58**
 dissolution : 66, 67, 68, 79, 80, 81, **83**, 84, 86, 96, 97, 98
 dissolution (golfe de) *voir* golfe de dissolution
 dissolution (plage de) *voir* plage de dissolution
 dolomite : **30**, 31, 69, 91
dreikanter voir ventifact
 échinides : 50, **52**
 échinodermes : 32, **50**, 52, 53
 Ectoprocta *voir* bryozoaires
 Eggerellidae : 56, **58**
 émoussé : 38, 79, **81**, 97, 98
 endoclaste *voir* lithoclaste
 encrine *voir* entroque
 encroûté : **44**
 entroque : **50**
 éolisation : 77, 84, **86**, 98
 épigénèse *voir* épigénie
 épigénie : 67, 69, 74, 80, **90**
 érosion : 6, 7, **81**

- extraclaste *voir* lithoclaste
 évaporites : 66, **74**
 faible : **81**, 83, 84, 97, 98, 99
 Favusellidae : 58, **60**
 fenestré : 26, 27, **28**, 29, 50, 86, 88
 fibre aciculaire : 26, **29**
 figure en croissant : 25, **26**
 fibre flexible : 26, **29**
 figure de dessiccation *voir* *mud crack*
 filament : 29, 44, 46, 47, 63, **66**
 filon : 21, 24, **25**
 fissure : 26, 31, 77, 81, **83**, 84, 86, 88
flute cast *voir* *flute mark*
flute mark : 25, **26**
 foraminifères : 32, **52**, 53, 66
 foraminifères benthiques : 52, **53**, 54, 55, 56, 58, 61
 foraminifères planctoniques : **58**, 59, 61
 fort : **81**
 fragment : **21**, 25, 32, 83
 fragmentation : 14, 77, 79, 81, **83**, 84, 96, 97
 galet : 21, 24, **25**, 26, 86
 galet impressionné : 84, **86**
 galet néocortex lisse : 24, **25**
 galet néocortex rugueux : 24, **25**
 gastéropodes : **61**, 62
 gélidisjonction : **84**, 98
 gélifract : 24, **25**
 gélifraction : 77, **84**, 98
 gélirruption : **84**, 98
 géofact : 24, **25**
 geysérite *voir* sinter
 gîte : 11, **17**, 18, 19, 20, 21, 22, 80, 95
 gîte primaire : **19**, 20, 77, 79, 80
 gîte subprimaire : **19**
 gîte secondaire : **19**, 20, 77, 79
 glauconie-glaucinite : **30**, 37
 Globanomalidae : 58, **60**
 Globigerinelloididae : 58, **60**
 Globigerinidae : 58, **60**
 Globigerinitidae : 58, **61**
 Globorotaliidae : 58, **60**
 Globotruncanidae : 58, **60**
glossy patina *voir* *lustré de sol*
 golfe de dissolution : 83, **84**
 grain composite : 40, **41**
 granoclassé : 26, **28**, 34
grapestone : **40**
 gravelle : **38**
 grès : **19**, 66, 69, 70, 71
 Guembeltriidae : **58**
 gymnocodiacées : 44, 46, **47**
 habitus : 21, 22, **24**, 29, 30, 91
 haloclastie : 84, **86**, 98
 Hantkeninidae : 58, **60**
 Hastigerinidae : 58, **61**
 Hauerinidae : 56, **57**
 Hedbergellidae : 58, **60**
 hélicidés : **61**
 hétérogène : 26, **28** (*structure*), 29, **34** (*allochèmes*)
 Heterohelicidae : 58, **60**
 hexacoralliaires : **49**
 hexactinellides : 41, **43**
 Hippuritoida *voir* rudiste
 homogène : 26, 27, **28** (*structure*), 29, **34** (*allochèmes*)
 hydrobies : **61**
incertae sedis : 63, 64, **66**
 indéterminé dendritique : 30, **31**

- indéterminé lenticulaire : 30, **31**
 indéterminé rhomboédrique : 30, **31**
 intraclaste *voir* lithoclaste
 isochèle : **44**
 jaspe : 69, **74**, 75
 jaspéroïde : 21, 66, **69**
 joint de grains *voir* porosité
 intercrystalline
 Lagenidae : **56**
 lame mince : 14, **22**, 23, 31
 lamellibranches : 32, 61, **63**
 laminé : 26, 27, **28**, 34, 40, 47
 Lepidorbitoididae : 56, **58**
 limnées : **61**
 lité : 26, **28**, 29
 lithistides *voir* démosponges
 lithoclaste : **32**, 37, 40
 lithothèque : 5, 9, 11, 13, **17**, 107, 109
 Lituolidae : 56, **57**
 Lituonella : **57**
 loge : 49, 52, **53**, 56, 57, 58, 60, 61, 65
lump : **40**
 lustré : 14, 71, 74, 77, 80, **91**, 92, 96, 98,
 99
 lustré anthropique : **99**
 lustré éolien : 91, 91 **92**, 95, 98
 lustré de cryoturbation *voir* lustré de
 gélifluxion
 lustré de gélifluxion : **91**, 95, 98
 lustré de miroir : **99**
 lustré de sol : **91**, 95, 98
 lustré fluvial : **92**, 96, **98**, 99
 lutécite : 29, **30**
 lydienne : 66, 74, **75**
 matrice *voir* phase de liaison
 Mayncinidae : 56, **57**
 Meandropsinidae : 56, **57**
 mégasclère d'hexactinellides : **43**
 mégasclère de démosponges : **43**
 mica noir *voir* biotite
 mica blanc *voir* muscovite
 micrite : **19**, 31
 microsclère : 41, **43**, 44
 Miliolidae : 56, **57**
 minéral : 17, 24, 28, 29, 30, 31 **32**, 35, 36,
 38, 41, 74, 79, 88, 90, 91
 minéraux détritiques : 19, 29, **35**
 moganite : 29, **30**
 monactinellides *voir* démosponges
 moraine : **20**
 morphoscopie : **34**
 moyen : **81**
mudball : **40**
mud crack : 25, **26**
 muscovite : 32, **35**
 nannoconus : 63, **66**
 Nodosariidae : **56**
 nodule : 21, **24**, 25, 71, 74
 Nonionidae : **57**
 Nummulitidae (*Nummulites*,
Operculina) : 56, **57**
 oncolithe : 40, **41**
 oolithe : 19, 28, **40**, 41
 oolithique : 26, **28**
 opale : **29**, 66, 68, 69, 71, 73, 74, 77,
 79, 91
 orbiculaire : 26, 27, **28**
 Orbitoididae : 56, **57**
 Orbitolinidae : 56, **57**
 organisation axiale : **29**
 organisation irrégulière : **29**
 organisation radiale : **29**

- organisation régulière : **29**
 organisme à squelette creux : **31 32**
 organisme à squelette branchu : **31, 32**
 organisme encroûtant : **31, 32**
 organisme massif : **31, 32**
 organisme mou : **31, 32**
 orienté : **34**
 orthochème *voir* matrice
 orthose : **35**
 ossicule : **50, 52**
 ostracodes : **61, 62, 63**
 oxyaster : **44**
 oxyde de fer : **30, 31, 74, 75, 80**
 patine : **14, 80, 88, 90, 95, 96, 97**
 patine colorée : **79, 90, 96**
 patine blanche uniforme : **88**
 patine blanche vermiculée : **90**
 patine prédépositionnelle : **77, 88**
 pélicypodes *voir* lamellibranches
 péloïde *voir* pelleteïde
 pelleteïde : **26, 28, 38**
 Peneroplidae : **56, 57**
 périadiens *voir* dinoflagellés
 périmorphose : **91**
 phase de liaison : **14, 23, 24, 31, 77, 79, 80, 87**
 phosphate : **19, 30, 31, 91**
 phtanite : **66, 74, 75**
 pinnule : **50**
 pisolithe : **41**
 pithonelles : **63, 65**
 plage : **18, 20, 25, 32**
 plage de dissolution : **83, 84**
 Planomalinidae : **58, 60**
 planorbes : **61**
 plaque *voir* ossicule
 plaquette : **21, 24, 25, 66, 73**
 plissé : **26, 28, 29**
 polarité : **6, 14, 22, 77, 79, 95**
 polarité génétique : **22, 23, 25**
 polarité prédépositionnelle : **80**
 polarité post-dépositionnelle : **97, 96**
 polypier : **32, 61, 63**
 poronécrose : **14, 77, 88, 89**
 porosité : **14, 26, 30, 69, 70, 80, 81, 86, 87, 88, 90, 96**
 porosité de chenaux : **86, 88**
 porosité de fissure : **84, 88**
 porosité de fracture *voir* porosité de fissure
 porosité fenestrée : **86, 88**
 porosité géodique : **86, 88**
 porosité interclastique : **86, 88**
 porosité intercristalline : **86, 88**
 porosité intergranulaire *voir* granularité interclastique
 porosité intraclastique : **86, 88**
 porosité intragranulaire *voir* granularité intraclastique
 porosité moldique : **86**
 porosité primaire : **86**
 porosité secondaire : **86**
 porosité vacuolaire : **86**
 potamides : **61**
 poudre : **22, 83**
 Praehedbergellidae : **58, 60**
 pseudocalcédonite : **29, 30**
 pseudomorphose : **31, 74, 91**
 pseudo-oolithe : **40, 41**
 pyrite : **30, 86, 91**
 quartz : **19, 21, 29, 30, 32, 35, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 77, 79, 88, 91,**
 quartz fumé *voir* quartz

- quartzine : 29, **30**
- quartzite : 19, 21, 66, **69**, 70
- racine (trace de) *voir* trace de racine
- racine de coup d'ongle : **83**
- radiolaires : 63, 64, **66**, 75
- radiolarite : 66, 74, **75**
- radiole : **52**
- recristallisation : 79, **84**, 98
- RS (Formation résiduelle à silex ou altérites) : **20**, 92
- rhodophycée : 44, **46**, 47
- rill mark* : 25, **26**
- ripple mark* : **25**
- roche argileuse : **19**
- rognon régulier : 21, **24**, 25
- rognon irrégulier : 21, **24**
- rognon cérébroïde : **24**
- rognon thalassinoïde : **24**
- Rotalidae : 56, **57**
- Rotaliporidae : 58, **60**
- rudiste : 61, **63**
- Rugoglobigerinidae : 58, **60**
- rugosité : 25, 60, 79, **81**
- sable : **19**, 25, 67, 70, 83, 86
- Schackoinidae : 58, **60**
- sclérite : **50**
- sélénaster : **43**
- Serpulidae : **63**
- serpulidés *voir* Serpulidae
- silcrète : 9, 21, 24, 32, 38, 66, **69**, 70, 71
- silex : 9, 11, 20, 21, 24, 30, 31, 32, 49, 52, 53, 65, 66, 68, **74**, 77, 86, 88, 92, 96, 107
- silice hydrothermale : 9, 24, 66, **68**
- silicite : 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 30, 31, 32, 35, 42, 45, 48, 51, 54, 55, 59, 62, 64, **66**, 68, 69, 71, 74, 75, 77, 79, 80, 82, 84, 85, 88, 90, 91, 92, 95, 96, 97
- silicoflagellidés : 63, **66**
- sinter : 21, 66, **69**
- solénoporacées : 44, **46**
- Soritidae : 56, **57**
- spastholite : **40**
- sphéricité : 14, 23, **34**, 35, 37, 38
- sphérulithe : **40**
- spongiaire : **41**, 42, 43, 44
- spongiaire (débris de) *voir* débris de spongiaire
- stellérides : **50**
- sterraster : 41, **43**
- strie : 81, **83**, 91, 96, 97, 98
- stromatolithes : **47**
- structure : 23, 25, 26, 27, **28**, 29, 40, 41, 43, 46, 47, 49, 52, 63, 67, 68, 69, 71, 73, 83, 90, 91
- surface non-anthropique : **80**
- sycon : 41, **44**
- tabulés : **49**
- taille moyenne : 15, 31, **34**, 35, 37, 38
- talon : **22**
- tapissage : 87, **88**
- tectonisation : 84, **86**
- test : 52, **53**, 56, 57, 58, 60, 61, 65, 66, 67
- test arborescent : 46, 52, **56**
- test bisérié : 52, **56**, 57, 58, 60
- test combiné : 52, **56**, 58
- test discoïde : 52, **56**, 57
- test fusiline : 52, **56**
- test miliolin : 52, **56**, 57
- test monothalme *voir* test uniloculaire
- test multisérié : **56**
- test pelotonné *voir* test miliolin

- test planispiralé : **56**, 57, 60
test trisériel : **56**, 58
test trochospiralé : **53**
test uniloculaire : 52, **53**
test unisériel : **53**
tetractinellides *voir* démosponges
Textulariidae : 56, **58**
thermoclastie : 77, 81, **84**, 98
till *voir* moraine
tintinnides : **66**
tool mark : 25, **26**
tourmaline : **35**
toxé : 41, **43**
trabécule : **66**
trace de racine : 63, 64, **66**, 90
Trochamminidae : **57**
tubercule : **52**
Typha *voir* trace de racine
usure : 25, 35, 79, **81**, 83, 95, 97
vadoid : **38**
Valginulinidae *voir* Lagenidae
ventifact : 24, **25**
zircon : **35**
zonalité *voir* zone
zone : **26**, 28, 29, 30, 73, 77, 79, 80, 90, 95
zoné : 26, **28**, 29, 90

Remerciements

Nos remerciements vont d'abord aux deux rapporteurs, G. Porraz et D. Binder, dont les remarques et propositions ont permis d'amender considérablement ce texte.

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans le soutien constant du ministère de la Culture incarné par les différents Conservateur.ice.s de l'archéologie qui se sont succédé.e.s en Auvergne, en Rhône-Alpes, en Centre-Val de Loire, en Nouvelle Aquitaine, en Île-de-France et à la sous-direction de l'Archéologie. Nos pensées vont ici particulièrement à I. Balsamo, M. Drouet, F. Dumoulin, N. Fourment, M.-A. Gaidon-Bunuel, K. Gernigon, J.-M. Gouédo, F. Jourdan, F. Léandri, F. Letterlé, B. Randoïn, S. Révillon, G. Pinçon, A. Schaumasse, C. Verjux.

Nos remerciements les plus sincères envers les institutions qui accueillent nos travaux depuis de nombreuses années : les universités de Bordeaux et Bordeaux Montaigne (UMR 5199 PACEA et UMR 6034 Archéosciences Bordeaux ex-UMR 5060 IRAMAT-CRP2A), Nanterre (UMR 8068 TEMPS), Liège (Service de Préhistoire et Tracéolab), Rennes (UMR 6566 CreaaH), l'École des Mines de Fontainebleau, l'Institut National de Recherche d'Archéologie Préventive (Inrap), le CNRS, l'entreprise Paléotime, les musées du Grand-Pressigny, de Vassieux-en-Vercors, de la Cité de la Préhistoire à Orgnac-l'Aven, du Man and Earth de Sofia. Un remerciement tout particulier aux membres de l'association Archéo-Logis qui suivent les chemins du silex depuis de très nombreuses années.

Nous tenons également à remercier les membres des PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne-Rhône-Alpes », « Réseau de lithothèques en région Centre-Val de Loire », « Réseau de lithothèques en Nouvelle Aquitaine », « Matières premières du Bassin parisien », « Matières Première Lithiques dans les Antilles », du Groupement de recherche SILEX, des écoles thématiques de Nice, Orgnac, Saint-Cyr-en-Val, Rennes, Cuiry-les-Chaudardes, et Genainville. Particulièrement ici P. Allard, R. Angevin, Q. Aubel, P.-A. Beauvais, D. Binder, P. Bindon, M. Bocquel, F. Bostyn, J.-P. Bracco, C. Bressy-Léandri, É. Chalmin, A. Chassin de Kergommeaux, J. Garnier, E. Gauvrit-Roux, A. Gibaud, M. Guiavar'ch, T. Guichet, A. Kherdouche, S. Knipenberg, A. Lafarge, M. Langlais, F.-X. Le Bourdonnec, H. Lethrosne, G. Marchand†, T. Minet, A. Morala, N. Naudinot, B. Nouvel, M. de Parthenay, F. Perron, D. Pesesse, J.-P. Platel, A. Queffelec, S. Renault, H. Salomon, O. Spinelli-Sanchez, C. Stouvenot, G. Teurquety, A. Tomasso, A. Turq, E. Vaissié pour les longues discussions qui nous ont permis de construire ce discours et le rendre, autant que faire se peut, compréhensible par tout un chacun.

Nos remerciements vont enfin au ministère de l'Europe et des Affaires étrangères, au Département d'évolution humaine de l'Institut Max Planck d'anthropologie évolutive de Leipzig, en les personnes de son ex-directeur J.-J. Hublin et des membres de l'équipe de fouilles de Bacho-Kiro, et particulièrement N. Sirakov, T. Tsanova et V. Natchev. Mais aussi F. Boulvain pour la clarté de ses cours, ainsi qu'à l'Institut national des sciences archéologiques et du patrimoine du Royaume du Maroc (INSAP) et à ses directeurs successifs A. Akerraz et A. Bencer, qui ont soutenu notre action au Maroc, de Casablanca à Irhoud ; une mention spéciale à A. Mohib, D. Lefevre, R. Gallotti et M. El Graoui pour leur compagnonnage sur le terrain.

Sources et bibliographie

Affolter 2002, AFFOLTER J., *Provenance des silex préhistoriques du Jura et des régions limitrophes*, *Archéologie Neuchâteloise*, Vol. 28, Service et musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel, 342 p..

Arbey 1980, ARBEY F., Les formes de la silice et l'identification des évaporites dans les formations silicifiées, *Bulletin du Centre Recherche Exploration Production Elf-Aquitaine*, 4, p. 309-365.

Auzel & Cailleux 1949, AUZEL M., CAILLEUX A., Silicifications nord-sahariennes, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 5(7-9), p. 553-559.

Babin 1991, BABIN C., *Principes de paléontologie*, Colin, 451 p.

BANQ : Bibliothèque et archives nationales du Québec, Canada <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/3641289>

Bassoulet et al. 1978, BASSOULET J.-P., BERNIER P., CONRAD M.A., DELOFFRE R., JAFFREZO M., *Les Algues Dasycladales du Jurassique et du Crétacé*, Lyon : Université Claude Bernard, 330 p. (Mémoire spécial à Géobios 2).

Bates & Jackson 1987, BATES R.-L., JACKSON J.-A., *Glossary of Geologie*, 3rd edition, American Geological Institute, Alexandria, Virginia, 788 p.

Beales 1958, BEALES F.W., Ancient sediments of Bahaman type, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 42, p. 1845-1880.

Bertran et al. 2017, BERTRAN P., BORDES J.-G., TODISCO D., VALLIN L., Géoarchéologie et taphonomie des vestiges archéologiques : impacts des processus naturels sur les assemblages et méthodes d'analyse, in J.-P. Brugal (ed.), *TaphonomieS*, Éditions des archives contemporaines, Paris, Collection « Sciences archéologiques », 2017, p. 125-166.

Bignot 2001, BIGNOT G., *Introduction à la Micropaléontologie*, Paris : Gordon and Breach, 258 p.

Blanc 1968, BLANC J.-J., Sedimentary geology of Mediterranean Sea, *Oceanography and marine Biology*, 6, p. 377-457.

Bouchet et al. 2005, BOUCHET P., ROCROI J.-P., FRÝDA J., HAUSDORF B., PONDER W., VALDÉS Á., WARÉN A., Classification and nomenclator of gastropod families, *Malacologia: International Journal of Malacology*, Hackenheim, Germany: ConchBooks, 47 (1-2), p. 1-397.

Boulvain F. 2011, BOULVAIN F., *Éléments de sédimentologie et de pétrologie sédimentaire*. OER Commons. Retrieved October 2021, from ulg.ac.be/geolsed/sedim/sedimentologie.html

- Boulvain 2023**, BOULVAIN F., Identification microscopique des principaux constituants des roches sédimentaires (notes de travaux pratiques), Université de Liège Faculté des Sciences Département de Géologie, 62 p.
- Bouroullec & Deloffre 1968**, BOUROULLEC J., DELOFFRE R., Les algues du Néocomien d'Aquitaine. *Bulletin du centre de Recherches Pau S.N.P.A.*, 2, p. 213-261.
- Bourelly 1970**, BOURRELLY P., *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome III : Les algues bleues et rouges : les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines*, Paris, N. Boubée, 512 p.
- Boury-Esnault & Rützler 1997**, Boury-Esnault N., Rützler K. eds., Thesaurus of Sponge Morphology, *Smithsonian contributions to Zoology*, 596, 54 p.
- Brien 1960**, BRIEN P., Classe des Bryozoaires, in P. Grassé (dir.) *Traité de Zoologie (Anatomie, Systématique, Biologie)*, tome V, fasc. II, Paris : Masson, p. 1053bis-1335.
- Bullock et al. 1985**, BULLOCK P., FEDEROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G., TURSINA T., BABEL U., *Handbook for Soil Thin Section Description*, Waine Research Publications, 152 p.
- Cackler et al. 2000**, CACKLER P.R., GLASCOCK M.D., NEFF H., CHIARULLI B.M., Effects of Weathering on the Coloration of Chert and Its Implications for Provenance Studies, *Lithic Technology*, 24(2), p. 81-90.
- Campy & Macaire 2003**, CAMPY M., MACAIRE J.-J., Géologie de la surface, érosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux, Paris : Dunod, 2^e édition, 440 p.
- Carozzy 1957**, CAROZZY A., Contribution à l'étude des propriétés géométriques des oolithes, l'exemple du grand lac salé, Utah, USA, Tirage à part du *Bulletin de l'Institut National Genevois*, Tome LVIII, 53 p.
- Caux 2015**, CAUX S., *Du territoire d'approvisionnement au territoire culturel. Péroarchéologie et techno-économie du silex grain de mil au cours de l'Aurignacien dans le Sud-ouest de la France*, Unpublished PhD, University of Bordeaux 1.
- Cayeux 1929**, CAYEUX L., *Les roches sédimentaires de France. Roches siliceuses*, Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France, Imprimerie Nationale, Paris, 774 p.
- Cayeux 1941**, CAYEUX L., *Causes anciennes et actuelles en géologie*, p. 22, Paris : Masson, gr. in-8°, 78 p., 4 p., brochure originale (Première édition).
- Cayeux 1958**, CAYEUX L., Utilisation de fossiles dans les industries préhistoriques : les oursins percuteurs de l'atelier des Sapinières (forêt de Montgeon), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 55 (2), p. 135-136.
- Choquette & Pray 1970**, CHOQUETTE P.W., PRAY L.C., Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates, *American Association of Petroleum Geology Bulletin*, 54 (2), p. 207-250.

Chenevoy & Piboule 2007, CHENEVOY M., PIBOULE M., *Hydrothermalisme : spéciation métallique hydrique et systèmes hydrothermaux*, Les Ulis : EDP Sciences, 619 p.

Cohen *et al.* 2013, COHEN K.-M., FINNEY S.-C., GIBBARD P.-L., FAN J.-X. (updated), *The ICS International Chronostratigraphic Chart*, Episodes 36, p. 199-204.

Combaz 1967, COMBAZ A. (dir.), *Les Chitinozoaires (vol II) : Morphologie*, Paris : CNRS, 51 p.

Coutard & Ozouf 2008, COUTARD J.-P., OZOUF J.-C., Nouvelle approche de l'altération des galets de silex dans les dépôts marins Pléistocènes : contribution à l'étude des plates-formes marines du val de Saire (Normandie, France), *Quaternaire*, 19 (4), p. 335-344. <https://doi.org/10.4000/quaternaire.4852>

Cuvillier 1956, CUVILLIER J., *Stratigraphic correlations by microfacies in western Aquitaine*, Leiden, Brill, 100 plates, 89 p.

David 1984, DAVID L., *Géocriture ou l'art d'écrire la géologie*, B.R.G.M., Manuels et méthodes, N° 10.

Deflandre 1934, DEFLANDRE G., Sur les microfossiles d'origine planctonique conservés à l'état de matière organique dans les silex de la craie. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 199, p. 966-968.

Deflandre 1952, DEFLANDRE G., Protistes, in J. Piveteau (dir.), *Traité de Paléontologie*. Paris : Masson (éd.), p. 97-132 et p. 322-329.

Deloffre & Poignant 1978, DELOFFRE R., POIGNANT A.F., Détermination générique d'algues mésozoïques : Floridés et Dasycladales, *Bulletin du Centre de Recherche Exploration-Production, Elf-Aquitaine*, 2, p. 36-60.

Delvigne *et al.* 2017, DELVIGNE V., FERNANDES P., PIBOULE M., LAFARGE A., RAYNAL J.P., Circulation de géomatières sur de longues distances au Paléolithique supérieur : le cas des silex du Turonien du sud du Bassin parisien, *Comptes rendus Palevol*, 16 (1), p. 82-102. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2016.04.005>

Delvigne *et al.* 2019, DELVIGNE V., FERNANDES P., TUFFERY C., ANGEVIN R., LETHROSNE H., AUBRY T., CREUSILLET M.F., DEPONT J., LE BOURDONNEC F.X., LAFARGE A., LIABEUR R., MANGADO-LLACH X., MONCEL M.H., PHILIPPE M., PIBOULE M., PRIMAULT J., RAYNAL J.-P., RECQ C., SANCHEZ DE LE TORRE M., TEURQUEUTY G., VERJUX C., Grand-Pressigny was not alone: acquiring and sharing data about raw materials in the collective research project "Réseau de lithothèques en région Centre-Val de Loire" (France), *Journal of lithic studies*, 5 (2). <https://doi.org/10.2218/jls.2798>

Delvigne *et al.* 2020, DELVIGNE V., FERNANDES P., TUFFERY C., RAYNAL J.-P., KLARIC L., Taphonomic method and database to establish the origin of silicites from the Middle-recent Gravettian of La Picardie open-air site (Indre-et-Loire, France), *Journal of Archaeological Science: Reports*, 32, 102369. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102369>

Delvigne et al. 2021, DELVIGNE V., FERNANDES P., NOIRET P., Quand la pétroarchéologie questionne la notion de site : états de surface et taphonomie des objets lithiques de La Belle Roche (Sprimont, Prov. de Liège, Belgique), *Comptes rendus Palevol*, 20 (41), p. 839-857. <https://doi.org/10.5852/cr-palevol2021v20a41>

Dewers & Ortoleva 1990, DEWERS T., ORTOLEVA P., Force of crystallization during the growth of siliceous concretions, *Geology*, 18(3), p. 204-207.

Dewolf & Bourrié 2008, DEWOLF Y., BOURRIÉ G., *Les formations superficielles, génèse, typologie, classification, paysages et environnements, ressources et risques*, Ellipses, 799 p.

DORIS : Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques, FFESSM, France <https://doris.ffessm.fr/>

Downie & Sarjeant 1963, DOWNIE C., SARJEANT W.A.S., On the interpretation and status of some hystrichosphere genera, *Palaeontology*, 6, p. 83-96.

Dragastan 2008, DRAGASTAN O.N., Mesozoic and Cenozoic calcareous algae, precursors of Family Codiaceae, *Acta paleontologica Romaniae*, p. 83-95.

Duchaufour 1983, DUCHAUFOUR Ph., *Pédologie, 1. Pédogenèse et classification*, Paris : Masson, 2^e édition, 491 p.

Dunham 1962, DUNHAM R.J., Classification of carbonate rocks according to the depositional texture, in Ham W.E. (dir.), *Classification of carbonate rocks - A symposium*, Tulsa: American Association of Petroleum Geologists (ed.), p. 108-121.

Durham & Melville 1957, DURHAM J.W., MELVILLE R.V., A classification of echinoids, *Journal of Paleontology*, p. 242-272.

Ehrenberg 1838, EHRENBERG C.G., Ueber das Massenverhältniss der jetzt lebenden Kiesel-Infusorien und über ein neues Infusorien-Konglomerat als Polirschiefer von Jastraba in Ungarn, *Abhandlungen Akademie Wissenschaften*, p. 109-136.

Ehrenberg 1944, EHRENBERG K., Ergänzende Bemerkungen zu den seinerzeit aus dem Miozän von Burgschleinitz beschriebenen Gangkernen und Bauten dekapoder Krebse, *Paläontologische Zeitschrift*, 1944, 23(3), p. 345-359.

Enay 1990, ENAY R., *Paléontologie des invertébrés*, Paris : Dunod, 234 p.

Evitt 1963, EVITT W.-R., A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, I, *National Academy of Sciences, Washington, Proceedings*, 49 (2), p. 158-164.

Evitt 1967, EVITT W.-R., Progress in the study of fossil Gymnodinium (Dinophyceae), *Review of Palaeobotany and Palynology*, Volume 2 (1-4), p. 355-363.

Fernandes 2012, FERNANDES P., *Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen*, Thèse de doctorat, University of Bordeaux 1.

Fernandes & Raynal 2006, FERNANDES P., RAYNAL J.-P., Pétroarchéologie du silex : un retour aux sources, *Comptes rendus Palevol*, 5, p. 829-837. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2006.04.002>

Fernandes & Raynal 2007, FERNANDES P., RAYNAL J.-P., Les matières premières siliceuses (hors roche tenace) du niveau J1 de la grotte Sainte Anne I (Polignac, Haute-Loire), in J.-P. Raynal (dir.), *La grotte de Sainte Anne I. Le paléolithique moyen de l'unité J1*, p. 59-98, Laussonne : Archéo-Logis.

Fernandes et al. 2007, FERNANDES P., LEBOURDONNEC F.X., RAYNAL J.-P., POUPEAU G., PIBOULE M., MONCEL M.-H., Origins of prehistoric flints: The neocortex memory revealed by scanning electron microscopy, *Comptes rendus Palevol*, 6, p. 557-568. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2007.09.015>

Fernandes et al. 2008, FERNANDES P., RAYNAL J.-P., MONCEL M.-H., Middle Palaeolithic raw material gathering territories and human mobility in the southern Massif Central, France: first results from a petro-archaeological study on flint, *Journal of Archaeological Science*, 35, p. 2357-2370. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.02.012>

Fernandes et al. 2016, FERNANDES P., MOHIB A., RAYNAL J.-P., L'exploitation des ressources minérales par les hommes du Second Acheuléen régional (Grotte des Rhinocéros, Casablanca, Maroc) in J.-P. Raynal & A. Mohib (eds.), *Préhistoire de Casablanca. I - La grotte des Rhinocéros (fouilles 1991 et 1996)*, p. 145-154 (Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine, VESAM volume VI 2016).

Fernandes et al. 2020, FERNANDES P., DELVIGNE V., DUBERNET S., LEBOURDONNEC F.-X., MORALA A., MOREAU L., PIBOULE M., TURQ A., RAYNAL J.-P., Flint studies revisited: the "chaîne évolutive" concept, in H. Collet, A. Hauzeur, F. Bostyn (dir.), *Acts of the 7th international conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric times* (septembre 2016; Mons et Spienne), Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire, p. 39-55.

Folk 1959, FOLK R.L., Practical classification of limestone, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43, p. 1-38. <https://doi.org/10.1306/0BDA5C36-16BD-11D7-8645000102C1865D>

Folk 1962, FOLK R.L., Spectral subdivision of limestone types, in Ham W.E. (dir.), *Classification of carbonate rocks - A symposium*, p. 62-84. American Association of Petroleum Geologists.

Foucault et al. 2020, FOUCAULT A., RAOULT J.-F., PLATEVOET B., CECCA F., *Dictionnaire de géologie*, Dunod, 9^e édition, 408 p.

Foucault et al. 1969, FOUCAULT M., *L'archéologie du savoir*, Paris : Gallimard, 294 p.

Friedel 1875, FRIEDEL C., Sur certaines altérations des agates et des silex, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 81, p. 979-981.

Fröhlich 1981, FRÖHLICH F., *Les silicates dans l'environnement pélagique de l'océan indien au Cénozoïque*, Thèse de doctorat, Museum national d'Histoire naturelle.

Fröhlich 2006, FRÖHLICH F., Silex et chert : questions de genèse, *Bulletin d'informations des géologues du Bassin de Paris*, 43 (2), p. 5-22.

Génot & Granier 2011, GÉNOT P., GRANIER B., Cenozoic Dasycladales. A photo atlas of Thanetian, Ypresian and Bartonian species from the Paris Basin, *Carnets de Géologie - Notebooks on Geology*, 44 p. Édition numérique.

Glauberman & Thorson 2012, GLAUBERMAN P.J., THORSON R. M., Flint patina as an aspect of "flaked stone taphonomy": A case study from the loess terrain of the Netherlands and Belgium. *Journal of Taphonomy*, 10(1), p. 21-43.

Graetsch 1994, GRAETSCH H.A., Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals, *Reviews in Mineralogy*, 29, p. 209-232.

Grassé & Doumenq 1961, GRASSÉ P.P., DOUMENQ D., *Zoologie des invertébrés*, Paris : Masson, 296 p.

Green & Keech 1986, GREEN F., KEECH R., *The coral seas of Muscat*, The MEAD Group Books, 106 p.

Gross 2001, GROSS O., Foraminifera, in Costello, M.J. et al. (ed.), *European register of marine species: a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification*, Collection Patrimoines Naturels, 50: p. 60-75 - via Dyntaxa. Svensk taxonomiskdatabas

Grzimek & Fontaine 1973, GRZIMEK B., FONTAINE M., *Le Monde Animal*. Tome I, Editions Stauffacher, 589 p.

Haynes 1973, HAYNES V., The Calico Site: Artifacts or Geofacts? Chipped flints are either the oldest evidence of man in the New World or products of geological processes, *Science*, 181, p. 305-310. DOI: 10.1126/science.181.409730

Herdianita et al. 2000, HERDIANITA N.R., BROWNE P.R.L., RODGERS K.A., CAMPBELL K.A., Mineralogical and textural changes accompanying ageing of silica sinter, *Mineralium Deposita*, 35, p. 48-62.

Hesse 1989, HESSE R., Silica Diagenesis: Origin of Inorganic and Replacement Cherts, *Earth science review*, 26, p. 253-284.

Holzmann et al. 1998, HOLZMANN M., PILLER W.E., ZANINETTI L., FENNER R., MARTINI R., SERANDREI-BARBERO R., PAWLOWSKI J., Molecular versus morphologic variability in *Ammonia* spp. (foraminifera, protozoa) from the lagoon of Venice, Italy, *Revue de micropaléontologie*, 41 (1), p. 59-69.

Howard 2002, HOWARD C.D., The Gloss Patination of Flint Artifacts, *Plains anthropologist*, 47, p. 283-287. <https://doi.org/10.2307/25669784>

Hughes et al. 2010, HUGHES R.-E., HÖGBERG A., OLAUSSON D., Sourcing flint from Sweden and Denmark, *Journal of Nordic Archaeological Science*, 17, p. 15-25.

- Hurst & Kelly 1961**, HURST V.-J., KELLY A.R. – Patination of cultural flints: Flint artifacts can be dated by cortical changes in mineralogy and texture, *Science*, 134, p. 251-256. <https://doi.org/10.1126/science.134.3474.251>
- Inizan et al. 1995**, INIZAN M.-L., REDURON-BALLINGER M., ROCHE H., TIXIER J., *Technologie de la pierre taillée*, Meudon : CREP, 199 p.
- Illing 1954**, ILLING L.Y., Bahaman calcareous sands, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 38, p. 1-95.
- Johnson 1954**, JOHNSON J.H., *An introduction to the study of rocks building algae and algal limestones*, Golden: Quaterly Colorado School of Mines, 118 p.
- Johnson 1964**, JOHNSON J.H., *The jurassic algae*, Golden: Quaterly Colorado School of Mines, 129 p.
- Jordão & Pimentel 2021**, JORDÃO P., PIMENTEL N., Flint sources and mobility at the Chalcolithic (3500–2200 BCE) settlement of Zambujal (Portugal), *Geoarchaeology*, 37 (3), p. 522-543. <https://doi.org/10.1002/gea.21885>
- Keith et al. 1978**, KEITH, T.E.C., WHITE D.E., BEESON M.H., *Hydrothermal alteration and self-sealing in Y-7 and Y-8 drill holes in northern part of Upper Geysers Basin, Yellowstone National Park, Wyoming*, Washington: Geological Survey (ed.) (Professional paper 1054-A), 31 p. <https://pubs.usgs.gov/pp/1054a/report.pdf>
- Krumbein & Sloss 1955**, KRUMBEIN W.-C., SLOSS L.L., *Stratigraphy and Sedimentation*, Gilluly J. & Woodford A.O., 522 p.
- Lamplugh 1902**, LAMPLUGH GW., Calcrete, *Geology magazine*, 9, p. 575-575.
- Lamplugh 1907**, LAMPLUGH GW., The geology of the Zambezi Basin around the Batoka Gorge (Rhodesia), *Quat. Jour. Geol. Soc. London*, 63, p. 162-216.
- Lanvin & Prothero 1992**, LANVIN L., PROTHERO D.R., Prehistoric procurement of secondary sources: The case for characterization, *North American Archaeologist*, 13 (2), p. 97-113. <https://doi.org/10.2190/WFXT-26NX-XBP6-X09D>
- Leblanc 1556**, LEBLANC R., Traduction du De Subtilitate de Cardan. François Epée, in *La traduction à la Renaissance et à l'âge classique*, Saint-Etienne : Marie Vialon, 2001 (Publications de l'Université de Saint-Etienne), p. 123-137.
- Leroi-Gourhan 1988**, LEROI-GOURHAN A., *Dictionnaire de la Préhistoire*, Presses Universitaires de France, 1277 p.
- Le Ribault 1973**, LE RIBAUT L., *L'exoscopie, méthode de détermination des évolutions subies par les grains de quartz au cours de leur histoire géologique, par l'étude des aspects superficiels au microscope électronique à balayage*, Thèse de doctorat, Université Paris Sud.
- Le Ribault 1975**, LE RIBAUT L., L'exoscopie, méthode et applications, *Notes et Mémoires de la Compagnie Française des Pétroles*, n° 12, Paris, 230 p. Paris : Compagnie Française des Pétroles, Service Géologique D.C.E.P.

Leueup 1962, LENEUP N., Les pseudo-Oolithes ferrugineuses des plages de Côte d'Ivoire, *Compte rendu sommaire de la société géologique de France*, 5, p. 145-146.

Letavernier & Ouzouf 1987, LETAVERNIER G., OUZOUF J.-C., La gélifraction des roches et des parois calcaires. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 3, p. 139-145. <https://doi.org/10.3406/quate.1987.1841>

Loeblich & Tappan 1987, LOEBLICH A.-R., TAPPAN H., *Foraminiferal Genera and their Classification*, New-York: Van Nostrand Reinhold Company, 970 p. - via World Register of Marine Species.

Loeblich & Tappan 1988, LOEBLICH A.-R., TAPPAN H., *Foraminiferal genera and their classification*, New York : Van Nostrand Reinhold Company, 2 volumes, 1694 p.

Logan et al. 1964, LOGAN B.W., REZAK R., GINSBURG R.N., Classification and Environmental Significance of Algal Stromatolites, *Journal of Geology*, 72 (1), p. 68-83.

Mansur-Francomme 1986, MANSUR-FRANCHOMME M.E., Microscopie du matériel lithique préhistorique. Traces d'utilisation, altérations naturelles, accidentelles et technologiques, *Cahier du Quaternaire*, 9, Paris : CNRS, 288 p.

Masson 1981, MASSON A., *Pétoarchéologie des roches siliceuses, intérêt en Préhistoire*, Unpublished PhD, University of Lyon.

Masson 1986, MASSON A., Nouvelles contributions aux études pressigiennes, *Revue archéologique de l'Ouest*, Supplément 1, p. 11-120.

Mathieu & Lozet 2011, MATHIEU C., LOZET J., *Dictionnaire encyclopédique de science du Sol*, Lavoisier, 733 p.

Mathieu et al. 2011, MATHIEU R., BELLIER J.-P., GRANIER B., Manuel de micropaléontologie, *Carnets de Géologie - Notebooks on Geology*. Édition numérique.

Mauger 1985, MAUGER M., *Les matériaux siliceux utilisés au paléolithique supérieur en Île-de-France*, Unpublished PhD, University of Paris I Panthéon-Sorbonne.

Michel et al. 2004, MICHEL J.-P., CARPENTER M.-S.N., FAIRBRIDGE R.-W., Dictionnaire des sciences de la terre, 4^e édition, Paris : Dunod, 495 p.

Michel 2022, MICHEL M., *Entre altération et fonction. Impact des processus post-dépositionnels sur la conservation et la reconnaissance des traces d'utilisation des outils lithiques. Vers une meilleure compréhension fonctionnelle des sites gravettiens de l'ouest de l'Europe*, Thèse de doctorat de l'Université de Liège.

Millot et al. 1959, MILLOT G., RADIER H., MULLER-FEUGA R., DEFOSSEZ M., WEY R., Sur la géochimie de la silice et les silicifications sahariennes, *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lor.*, 12(2), p. 3-15.

Miskovsky 1987, MISKOVSKY J.-C., *Géologie de la Préhistoire : méthodes, techniques, applications*, Association pour l'étude de l'environnement géologique de la préhistoire, 1269 p.

- Moret 1935**, MORET L., Une géométrie biologique : la structure des éponges siliceuses fossiles, in *La Terre et La Vie*, Revue d'Histoire naturelle, tome 5, n°6, p. 252-270.
- Moureau & Brace 2000**, MOUREAU M., BRACE G., *Dictionnaire des sciences de la terre*, Paris : Technip, 1096 p.
- Parish & Durham 2015**, PARISH R., DURHAM E., The problems with visual identification of Dover and Fort Payne chert, *Southeastern Archaeology*, 34 (1), p. 71-83. <https://doi.org/10.1179/2168472314Y.0000000003>
- Perraud 1967**, PERRAUD A., *Notice explicative de l'esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/500 000*, Abidjan : ORSTOM, 93 p.
- Peryt 1983**, PERYT T.-M., *Coated grain*, Berlin: Springer (éd.), p. 3-6.
- Plaisance & Cailleux 1958**, PLAISANCE G., CAILLEUX A., *Dictionnaire des sols*, Paris : La Maison Rustique, 604 p.
- Platel et al. 1992**, PLATEL R., MEUNIER F.J., RIDET J.M., *Des Protozoaires aux Echinodermes*, Paris : Ellipses, 224 p.
- Philip 1965**, PHILIP G.-M., Classification of echinoids, *Journal of Paleontology*, p. 45-62.
- Poignant 1974**, POIGNANT A.-F., Les Algues calcaires fossiles : leur intérêt stratigraphique, *Newsletters on stratigraphy*, 3 (3), p. 181-192.
- Pomerol et al. 2005**, POMEROL C., LAGABRIELLE Y., RENARD M., *Éléments de Géologie*, Paris : Dunod.
- Primault 2003**, PRIMAULT J., *Exploitation et diffusion des silex de la région du Grand-Pressigny au Paléolithique*, Unpublished PhD, University of Paris X – Nanterre.
- Purser 1980**, PURSER B.H., *Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents. Tome 1, Les éléments de la sédimentation et de la diagenèse*, Paris : Technip et Rueil-Malmaison : Institut français du pétrole, 366 p.
- Rimstidt & Cole 1983**, RIMSTIDT J.-D., COLE D.-R., Geothermal mineralization: I. The mechanism of formation of the Beowawe, Nevada, siliceous sinter deposit, *American Journal of Science*, 238 (8), p. 861-875.
- Rio 1982**, RIO M., *Les accidents siliceux dans le Crétacé du bassin Vocontien (Sud-Est de la France), Contribution à l'étude de la silicification des formations calcaires*, Lyon : Université Claude-Bernard-Lyon I, Documents des Laboratoires de géologie, 84, 179 p.
- Rippka et al. 1979**, RIPPKA R., DERUELLES J., WATERBURY J. B., HERDMAN M., STANIER R. Y., Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria, *Microbiology*, 111(1), p. 1-61.

Salvador 1994, SALVADOR A., *International Stratigraphic Guide. A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology and Procedure*. Geological Society of America.

Sanchez de la Torre 2015, SANCHEZ DE LA TORRE M., *Las sociedades cazadoras-recolectoras del Paleolítico superior final pirenaico. Territorios económicos y sociales*, thèse Universitat de Barcelona. Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, 587 p. <http://hdl.handle.net/10803/286779>

Scharl et al. 2021, SCHARL S., DENIS S., COLLIN J.P., ALLARD P., DELVIGNE V., GEHLEN B., DE GROOTH M., KOCH I., SHYLE D., Studying Neolithic lithics – from a cross-border dialogue to a common language, *Journal of Neolithic Studies*, 23, p. 115-128.

Séronie-Vivien & Séronie-Vivien 1987, SÉRONIE-VIVIEN M., SÉRONIE-VIVIEN M.R. (1987), *Les silex du Mésozoïque nord-aquitain. Approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique*, Société Linéenne de Bordeaux.

Séronie-Vivien et al. 2006, SÉRONIE-VIVIEN M., SÉRONIE-VIVIEN M.R., FOUCHER P., L'économie du silex au Paléolithique supérieur dans le bassin d'Aquitaine. Le cas des silex à lépidorbitoïdes des Pyrénées centrales. Caractérisation et implications méthodologiques, *Paléo*, 18, p. 193-215. <https://doi.org/10.4000/paleo.316>

Séronie-Vivien 2009, SÉRONIE-VIVIEN M.R., Répartition géographique des différents types de silex à lépidorbitoïdes utilisés au Paléolithique supérieur en Aquitaine. Première contribution : Dordogne (Caminade), Lot (Le Piage - Pégourie - Cloup de l'Aze), Gironde (Beauregard), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 106(2), p. 293-296. <https://doi.org/10.3406/bspf.2009.13849>

Shepard & Young 1961, SHEPARD F.P., YOUNG R., Distinguishing between beach and dune sands, *Journal of Sedimentary Petrology*, 31, p. 196-214.

Sheperd 1972, SHEPERD F.P., *Flint. Its origin, properties and uses*, London : Faber and Faber, 256 p.

Sizaret 2002, SIZARET S., *Genèse du système hydrothermal à fluorine-barytine-fer de Chaillac (Indre, France) : approche texturale par la méthode ASM, géochimie de la minéralisation et origine de l'hydrothermalisme*, Thèse de doctorat, Université d'Orléans.

Slanski 1992, SLANSKI M., *Terminologie et classification des roches sédimentaires, formées de silice, silicates, carbonates et phosphates*, Manuels et méthodes, Orléans : BRGM, 22, 133 p.

Smale 1973, SMALE D., Silcretes and associated silica diagenesis in southern Africa and Australia, *Journal of Sedimentary Research*, 43(4), p. 1077-1089.

Smith 1984, SMITH A.-B., Classification of the Echinodermata, *Palaeontology*, 27, (3), p. 431-459.

Stapert 1976, STAPERT D., Some natural surface modifications on flint in the Nethe, Netherlands, *Palaeohistoria*, 18, p. 7-42.

Storz 1928, STORZ M., Zur petrogenesis des Sekundären Kieselgesteine in der Südlichen Namib, in Kaiser E. (ed.), *Die Diamantenwüste Südwest-Afrikas*, Berlin : Dietrich Reimer, p. 254-282.

Taylor & Waeschenbach 2015, TAYLOR P.D., WAESCHENBACH A., Phylogeny and diversification of Bryozoans, *Paleontology*, vol. 58, part 4, p. 585-599.

Thiry et al. 2014, THIRY M., FERNANDES P., MILNES A., RAYNAL J.-P., Driving forces for the weathering and alteration of silica in the regolith: implications for studies of prehistoric flint tools, *Earth Science Reviews*, 136, p. 141-154. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.05.008>

Thiry & Milnes 2017, THIRY M., MILNES A., Silcrettes: Insights into the occurrences and formation of materials sourced for stone tool making, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 15, p. 500-513.

Thiry & Milnes 2024, THIRY M., MILNES A., Quaternary periglacial silicifications in the Paris Basin, *BSGF - Earth Science Bulletin*, 30 p., doi.org/10.1051/bsgf/2024008

Thiry & Ribet 1999, THIRY M., RIBET I., Groundwater silicification in Paris Basin limestones: fabrics, mechanisms, and modeling, *Journal of Sedimentary Research*, 69, p. 171-183.

Tomasso 2014, TOMASSO A., *Territoire, système de mobilité et système de production. La fin du Paléolithique supérieur dans l'arc liguro-provençal*, Unpublished PhD, University of Nice Sophia-Antipolis and University of Pisa.

Tomasso et al. 2019, TOMASSO A., BINDER D., FERNANDES P., MILOT J., LÉA V., The Urgonian chert from Provence (France): the intra-formation variability and its exploitation in petro-archeological investigations, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11 (1), p. 253-269. <https://doi.org/10.1007/s12520-017-0541-2>

Trauth et al. 1978, TRAUTH N., VILAS-BOAS G., THIRY M., BADAUT D., EBERHART J.-P., Silex et chailles du Bassin de Paris. Modifications minéralogiques lors de leur altération, *Science géologique*, 31(4), p. 173-183.

Tufféry et al. 2019, TUFFERY C., DELVIGNE V., FERNANDES P., BRESSY-LEANDRI C., RENAULT S., Collecte, gestion et valorisation des données sur les formations et les gîtes à silex en France : pour des plateformes cartographiques et de publications partagées, *Archéologies numériques*, 3(1). <https://doi.org/10.21494/ISTE.OP.2019.0351>

Tufféry et al. 2021, TUFFERY C., DELVIGNE V., FERNANDES P., BRESSY-LEANDRI C., Vers l'harmonisation des données et des méthodes : l'utilisation d'applications mobiles et d'une plateforme cartographique pour la collecte de géomatériaux et la constitution des lithothèques, *Archéologies numériques*, 2021(3). <https://doi.org/10.4000/revuehn.1603>

Turq 2003, TURQ A., *De la matière première lithique brute à la mise à jour de l'objet archéologique : propositions pour une meilleure exploitation du potentiel informatif du matériel lithique illustrées par quelques exemples du Paléolithique aquitain*, Unpublished HdR, University of Perpignan.

Turq 2005, TURQ A., Réflexions méthodologiques sur les études de matières premières lithiques, *Paléo*, 17, p. 111-132. <https://doi.org/10.4000/paleo.883>

UCMP : University of California Museum of Paleontology, Berkeley - USA <https://ucmp.berkeley.edu/collections/databases/>

Ulyott et al. 1998, ULLYOTT J.-S., NASH D.-J., SHAW P.-A., Recent advances in silcrete research and their implications for the origin and palaeoenvironmental significance of sarsens, *Proceedings of the Geologists' Association*, 109(4), p. 255-270.

Umeda 2003, UMEDA M., Precipitation of silica and formation of chert-mudstone-peat association in Miocene coastal environments at the opening of the Sea of Japan, *Sedimentary Geology*, 161, p. 249-268.

Valensi 1955, VALENSI L., Étude micropaléontologique des silex du Magdalénien de St-Amand (Cher), *Bulletin de la Société préhistorique française*, p. 584-596. <https://doi.org/10.3406/bspf.1955.3263>

Vallin et al. 2013, VALLIN L., CASPAR J.P., GUILLEMET G., MASSON B., OUZOUF J.C., Altérations des artefacts préhistoriques en silex par les processus périglaciaires : Présentation des expériences conduites au centre de géomorphologie du CNRS de Caen, *Quaternaire*, 24 (3), p. 259-266. <https://doi.org/10.4000/quaternaire.6658>

Van Der Lee et al. 2003, VAN DER LEE J., DE WINDT L., LAGNEAU V., GOBLET P., Module-oriented modeling of reactive transport with HYTEC, *Computers & Géosciences*, 29(3), p. 265-275.

Vilas Boas 1975, VILAS BOAS G., *L'altération des accidents siliceux, silex et chailles dans les formations paléogènes du Bassin de Paris*, Unpublished PhD, University of Strasbourg, 110 p.

Villain 1981, VILLAIN J.-M., Les Calcisphaerulidae : Intérêt stratigraphique et paléoécologique, *Cretaceous Research*, 2 (3-4), p. 435-438.

Wall & Dale 1968, WALL D., DALE B., Modern dinoflagellate cysts and evolution of the Peridiniales, *Micropaleontology*, 14, (3), p. 265-304.

Williams-Thorpe et al. 1999, WILLIAMS-THORPE O., POTTS P.J., WEBB P.C., Field-Portable Non-Destructive Analysis of Lithic Archaeological Samples by X-Ray Fluorescence Instrumentation using a Mercury Iodide Detector: Comparison with Wavelength-Dispersive XRF and a Case Study in British Stone Axe Provenancing, *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 215-237.

Wilson et al. 1974, WILSON M.J., RUSSELL J.D., TATE J.-M., A new interpretation of the structure of disordered a-cristobalite, *Contributions to Mineralogy Petrology* 47, p. 1-6.

Woodward 1830, WOODWARD S., *A Synoptic Table of British Organic Remains*, London: Brown & Green, 50 p.

Woolnough 1927, Woolnough W.-G., The duricrust of Australia, *Jour. Roy. Soc. New South Wales*, 61, p. 24-53.

Création graphique Stéphane Renault — CNRS, LAMPEA, Aix-en-Provence, France
Mise en page Martin Dulong — Prestataire indépendant, Paris, France

Imprimé en France par le Service Imprimerie d'Aix Marseille Université - PSI - Aix-en-Provence
Dépôt légal 4^e trimestre 2024

ISBN 978-2-9581289-6-8
ISSN 2118-8211