



**HAL**  
open science

## **Constitution d'une "Pigmentoθήque": un outil pour comprendre l'approvisionnement en matériaux colorants durant la Préhistoire. Rapport intermédiaire 2021**

Hélène Salomon, Emilie Chalmin, Claire Chanteraud, Aurélie Chassin de Kergommeaux, Marianne Le Turnier, Giorgia Sardelli, Bernard Schmitt, Mathilde Waymel, Yvan Coquinot, Claudia Defrasne, et al.

### ► To cite this version:

Hélène Salomon, Emilie Chalmin, Claire Chanteraud, Aurélie Chassin de Kergommeaux, Marianne Le Turnier, et al.. Constitution d'une "Pigmentoθήque": un outil pour comprendre l'approvisionnement en matériaux colorants durant la Préhistoire. Rapport intermédiaire 2021. [Rapport de recherche] 2213729, DRAC - SRA Auvergne Rhône Alpes. 2022. hal-03539914

**HAL Id: hal-03539914**

**<https://hal.science/hal-03539914>**

Submitted on 2 Mar 2022

**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.

**CONSTITUTION D'UNE « PIGMENTOTHÈQUE » : UN OUTIL POUR  
COMPRENDRE L'APPROVISIONNEMENT EN MATÉRIAUX COLORANTS DURANT  
LA PRÉHISTOIRE**

**RAPPORT INTERMÉDIAIRE 2021**

---



*Rédaction du rapport :*

Hélène Salomon, Émilie Chalmin, Claire Chanteraud, Aurélie Chassin de Kergommeaux, Marianne Le Turnier, Giorgia Sardelli, Bernard Schmitt, Mathilde Waymel

*Avec la collaboration de :* Yvan Coquinot, Claudia Defrasne, Anne-Lise Develle, Olivier Dubreuil, Raphaël Gallet, Dominique Gasquet, Eric Goemaere, Julien Jacquet, Quentin Lemasson, Brice Moignard, Claire Pacheco, Laurent Pichon, Cécile Pignol, Magali Rossi, Fayçal Soufi, Christophe Tuffery

Responsables d'opération :

**Émilie Chalmin** Maître de conférence, Université Savoie-Mont Blanc – Laboratoire EDyTeM

**Hélène Salomon** Chargée de Recherche, CNRS – Laboratoire EDyTeM





## **Documents administratifs**

**Auteurs** : Émilie Chalmin (UNI), Hélène Salomon (UNI)

**Code d'opération** : 2213729

**Responsable de l'opération** : Émilie Chalmin (UNI), Hélène Salomon (UNI)

**Nature de l'opération** : Prospection thématique (PRT)

**Couverture géographique** : Région Auvergne Rhône-Alpes – Départements Ardèche et Savoies

**Dates de l'intervention** : 2021

**Mots clés du thésaurus** : art pariétal, pigment, matière première, géochimie, pétrographie

**Chronologie** : Paléolithique

**Lieu de dépôt** : Laboratoire EDyTeM, Université Savoie-Mont-Blanc, Le Bourget-du-Lac

**Keywords** : *rock art, pigment, raw material, geochemistry, petrography*

**Titre** : Constitution d'une « pigmentothèque »

**Sous-titre** : un outil pour comprendre l'approvisionnement en matériaux colorants durant la Préhistoire



PRÉFET DE LA RÉGION AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Arrêté n° 2020/444 du 25 MAI 2020  
portant autorisation de projet collectif de recherches.

Le Préfet de région ;  
Officier de la Légion d'honneur ;  
Commandeur de l'ordre national du Mérite

Vu le code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté préfectoral n° 2020-39 du 6 février 2020, portant délégation de signature à Monsieur François MARIE, chargé de l'intérim des fonctions de directeur régional des affaires culturelles Auvergne-Rhône-Alpes en matière d'attributions générales ;

Vu l'arrêté 2020-03 du 2 mars 2020, du Directeur Régional des Affaires Culturelles par interim de la région Auvergne-Rhône-Alpes, portant subdélégation de signature en matière d'administration générale ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR84202000006, de demande d'opération archéologique arrivé le 6 janvier 2020 ;

Vu l'avis de la commission territoriale de la recherche archéologique (CTRA), Commission Sud-Est en date du 4 février 2020 ;

#### ARRÊTE

**Article 1** - Madame Emilie CHALMIN est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de projet collectif de recherches à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 décembre 2022, sise en :

RÉGION : AUVERGNE-RHONE-ALPES

- DEPARTEMENT : ARDECHE
  
- DEPARTEMENT : SAVOIE

Intitulé de l'opération : constitution d'une pigmentothèque.

Programme de recherche : Axe 3. Les expressions graphiques préhistoriques : approches intégrées des milieux et des cultures.

Code de l'opération : **2213729**

#### **Article 2 - prescriptions générales**

Les recherches sont effectuées sous la surveillance du conservateur régional de l'archéologie territorialement compétent et conformément aux prescriptions imposées pour assurer le bon déroulement scientifique de l'opération.

Le responsable scientifique de l'opération informe régulièrement le conservateur régional de l'archéologie de ses travaux et découvertes. Il lui signale immédiatement toute découverte importante de caractère mobilier ou immobilier. Il revient au préfet de région de statuer sur les mesures définitives à prendre à l'égard des découvertes.

À la fin de l'année civile, le responsable scientifique de l'opération adresse au conservateur régional de l'archéologie, en triple exemplaire papier plus un exemplaire au format pdf, un rapport accompagné des plans et coupes précis des structures découvertes et des photographies nécessaires à la compréhension du texte. L'inventaire de l'ensemble du mobilier recueilli est annexé au rapport d'opération. Il signale les objets d'importance notable. Il indique les études complémentaires envisagées et, le cas échéant, le délai prévu pour la publication.

**Article 3 - destination du matériel archéologique découvert**

Le responsable prend les dispositions nécessaires à la sécurité des objets mobiliers. Le mobilier archéologique est mis en état pour étude, classé, marqué et inventorié. Son conditionnement est adapté par type de matériaux et organisé en fonction des unités d'enregistrement. Le statut juridique et le lieu de dépôt du matériel archéologique découvert au cours de l'opération sont fixés conformément aux dispositions légales et réglementaires et aux termes des conventions passées avec les propriétaires des terrains concernés.

**Article 4 - versement des archives de fouilles**

L'intégralité des archives accompagnée d'une notice explicitant son mode de classement et de conditionnement et fournissant la liste des codes utilisés avec leur signification, fait l'objet de la part du responsable de l'opération d'un versement unique. Ce versement est détaillé sur un bordereau récapitulatif établi par le responsable de l'opération, dont le visa par le préfet de région vaut acceptation et décharge. Le lieu de conservation est désigné par le préfet de région.

**Article 5 - prescriptions particulières**

**Article 6** - le Directeur régional des affaires culturelles par intérim est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Emilie CHALMIN.

Fait à Lyon, le

25 MAI 2020

Pour le Préfet de Région, et par délégation,  
le Directeur régional des affaires culturelles par intérim  
et par subdélégation  
Le Conservateur régional de l'archéologie



Karim GERNIGON

---

**COPIES A :**

[Préfet(s) du(des) département(s) concerné(s)]     Mairie(s)    Gendarmerie     Propriétaire(s) du(des) terrain(s)





## Remerciements

Ce programme tire avantage du support logistique de l'université de Savoie-Mont-Blanc et du laboratoire EDyTeM – UMR 5204 du CNRS dont une partie de l'équipe du thème de recherche « Ressources et patrimoines » est investie dans le programme.

C'est grâce au soutien du Service Régional de l'Archéologie de la région Auvergne Rhône Alpes que ce projet a vu le jour et a pris de l'ampleur. Il s'agit ici d'un double soutien, à la fois financier mais surtout scientifique, puisque les responsables du Service ont vu l'intérêt d'accompagner la constitution de cette matériauthèque en relation avec les lithothèques de matières siliceuses, nous permettant, d'établir un réseau national et international.

Nous remercions pour cela Karim Gernigon, Conservateur régional de l'Archéologie pour son soutien amical. Nos remerciements s'adressent aussi à Laure Devillard qui a géré pendant ces cinq dernières années la partie administrative de ce projet et à l'AVDPA pour la gestion des crédits. Nous souhaitons souligner ici l'effort financier non négligeable qui a été réalisé par le SRA et qui a permis de faire fonctionner une équipe pour les activités de terrain et pour les analyses. Nous tenons encore à remercier l'Université de Savoie-Mont-Blanc pour son accompagnement financier (projets MASCARA 2 et TRANSFERT) et la plateforme ASTRE pour l'accès aux instruments de mesure (DRX, MEB-EDS, en particulier).

Merci aux membres de la CTRA, qui ont évalué le dossier et ont ainsi permis de donner une existence scientifique à ce programme de recherche.

Nos remerciements chaleureux s'adressent aussi à la famille Gueneau qui nous a guidé au milieu du troupeau de vaches jusqu'à l'affleurement de Beauregard et qui a partagé avec nous de nombreuses archives et témoignages sur l'histoire de leur village. Enfin, nous remercions l'ensemble des collègues et collaborateurs, bénévoles comme professionnels, qui ont apporté leur connaissance de terrain, leur expertise scientifique, leur savoir-faire pour construire cette matériauthèque : Yvan Coquinot et Brice Moignard (C2RMF), Didier Gourier (Chimie ParisTech), Emmanuel Malet et Gilles Ménard (EDyTeM), Pauline Martinetto (Institut Néel), Neri Garnier et Cyril Soustel (Réserve naturelle des gorges du Gardon), Thierry Montecinos (association de spéléologie niçoise), Esther Lopez-Montalvo et François Bon (TRACES - Université de Toulouse Jean-Jaurès).

Nous sommes très reconnaissante du soutien scientifique qui nous a été accordé par le Parc National de la Vanoise, nous permettant d'échantillonner la mine de Machefer à Bessans.

Et enfin, un immense merci à la famille Genuite pour son accueil généreux et chaleureux !



## Listes des spécialistes, participants et des étudiants

**Émilie Chalmin** / USMB - EDyTeM : direction de projet, prospections, analyses physico-chimiques, encadrement d'étudiants, lexicque, BdD, thésaurus, rédaction du rapport

**Hélène Salomon** / CNRS - EDyTeM : direction du projet, prospection, documentation, analyses physico-chimiques, pétrographique, BdD, lexicque, thésaurus, encadrement d'étudiants, rédaction et mise en page du rapport

**Lucile Beck** / CEA : mesures PIXE

**Estelle Camizuli** / indépendante : Géologie minière, SIG

**Claire Chanteraud** / USMB - EDyTeM : prospection, pétrographie, analyses physico-chimiques, lexicque, BdD, contribution au rapport

**Aurélie Chassin de Kergommeaux** / USMB - EDyTeM : prospection, pétrographie, analyses physico-chimiques, lexicque, BdD, préparations d'échantillons, contribution au rapport

**Claudia Defrasne** / CNRS - EDyTeM : prospection, opération archéologique du Trou de la Féclaz et d'Otello

**Laure Dayet** / TRACES : méthodologie

**Vincent Delvigne** / ULg - PACEA : matériauthèque (BdD géomatères), formations, prospection, lexicque

**Anne-Lise Develle** / CNRS - EDyTeM : analyse XRF, MEB-EDS, dispositif porte-échantillon

**Olivier Dubreuil** / CEA : traitement de mesures chimiques et aide à la mise en page

**Paul Fernandes** / Paléotime - PACEA : matériauthèque (BdD géomatères et SIG), formations, lexicque

**Raphaël Gallet** / CNRS - EDyTeM : dispositif porte-échantillon

**Dominique Gasquet** / USMB - EDyTeM : pétrographie, lexicque

**Kim Genuite** / USMB - EDyTeM : géomorphologie

**Eric Goemaere** / IRScNB : prospection, pétrographie, physico-chimie, lexicque

**Patricia Guillermin** / Musée du Grand Aven d'Orgnac : accueil de la matériauthèque

**Manuel Henry** / GET : analyses physico-chimiques

**Matthieu Lebon** / MNHN : prospection, analyses physico-chimiques

**Quentin Lemasson** / C2RMF : mesures PIXE et traitement mesures chimiques

**Marianne Le Turnier** / U-Bordeaux Montaigne - EDyTeM : prospection, étude du Trou de la Féclaz

**Esther López Montalvo** / CNRS TRACES : prospection

**Guilhem Mauran** / MNHN : prospection, analyses physico-chimiques

**Romain Mensan** / indépendant - TRACES : prospection

**Brice Moignard** / C2RMF : PIXE

**Julien Monney** / indépendant - EDyTeM : prospection, documentation

**Claire Pacheco** / C2RMF : mesures PIXE et traitement mesures chimiques

**Laurent Pichon** / C2RMF : mesures PIXE et traitement mesures chimiques



**Cécile Pignol** / USMB - EDyTeM : archivage, BdD

**Jean-Victor Pradeau** / collaborateur : prospection, pétrographie, lexique

**Magali Rossi** / USMB - EDyTeM : pétrographie, lexique

**Giorgia Sardelli** / USMB - EDyTeM - U-Ferrara : prospection, préparation d'échantillons, pétrographie, MEB, PIXE, lexiques, contribution au rapport

**Bernard Schmitt** / CNRS - IPAG : spectroscopie de réflectance diffuse (analyse et traitement de données), création du PIG@SSHADE, contribution au rapport

**Fayçal Soufi** / USMB - EDyTeM : préparation d'échantillons

**Christophe Tuffery** / INRAP-CEPAM : BdD géomatiques, application de terrain, formations

**Mathilde Waymel** / ENSG : BdD, Appli terrain, contribution au rapport

Étudiants depuis 2016 :

**Mathilde Waymel** – licence ENSG 2020/2021 – soutenance en septembre 2021

**Marianne Le Turnier** – master archéométrie université de Bordeaux Montaigne 2020/2021 – soutenance en juin 2020

**Iris Querenet Onfroy de Bréville** – master préhistoire université de Paris 1 2020/2021 – soutenance en juin 2021

**Claire Chanteraud** - doctorante USMB : prospection et analyses physico-chimiques. Thèse soutenue le 18 septembre 2020

**Aurélien Chassin de Kergommeaux** - master géologie 2018/2019 : prospections, pétrographie et analyses physico-chimiques. Projet long de fin d'étude (ENS Lyon) 2020 : prospection, pétrographie, analyses physico-chimiques Doctorante USMB depuis le 1 septembre 2020

**Giorgia Sardelli** - doctorante Université de Ferrara et USMB (co-tutelle Vinci) depuis le 1 octobre 2020 : prospections, pétrographie et analyses physico-chimiques.

**Gauthier Trumel** – master préhistoire université de Toulouse Jean-Jaurès 2018/2019 – soutenance en septembre 2019

**Margot Demange** : master géologie 2016/2017

**Florent Betsch** : master enseignement physique chimie 2016/2017

**Claire Shang** : master enseignement physique chimie 2016/2017

**Eva Fabro** : master géologie 2015/2016

**Laura Guenoden** : licence, analyses physico-chimiques 2015/2016

L'équipe du PCR « pigmentothèque » s'agrandit progressivement. Les collaborateurs sont impliqués à différents niveaux de la chaîne opératoire de la prospection à l'archivage en passant par les caractérisations et leur spatialisation.

L'intégration de certaines de ces recherches dans un travail universitaire a pour corollaire des contraintes liées au rendu des mémoires mais aussi à la pérennité des travaux universitaires et de l'enregistrement et du traitement des données. Cela peut jouer sur l'implication de nos différents partenaires tant sur le terrain que dans l'étude du matériel. En particulier, dès la première campagne de prospection, les méthodes d'enregistrement et les champs de descripteur, de même que les modalités d'enregistrement ont été définies pour qu'ils puissent être suivis et repris d'une intervention à l'autre, d'une campagne à l'autre avec les mêmes caractéristiques descriptives et le même vocabulaire. Leur évolution a été suivie d'année en année avec un retour aux premiers enregistrements.

## Préambule

L'année 2021 s'inscrit dans la continuité du programme pluriannuel 2020-2022 de la *Pigmentoθήque*, pour lequel nous avons explicité les différents objectifs généraux et les différentes actions à mener au titre des trois années dans le rapport de 2019. L'objectif de ce rapport intermédiaire est de rendre compte des actions menées et des avancées du projet durant l'année 2021.

Les évaluations des rapports précédents ont déjà souligné la robustesse et l'efficacité de la méthodologie mise en place pour l'étude des matières ferrugineuses. Cette année, nous détaillons le perfectionnement de cette méthodologie en se focalisant principalement sur les contextes géologiques (*cf.* chapitre 3) et les analyses spectroscopiques afin d'en partager les divers aspects concrets : gestion des données de terrain, des données analytiques, mise à disposition de ces données, traitement des mesures. Nous présenterons donc les nouveaux apports méthodologiques de l'année (*cf.* chapitre 5). Bien qu'ancrée initialement dans le département de l'Ardèche, les prospections ont, depuis le début de ce programme de recherche, été élargies géographiquement de manière à encadrer les recherches menées sur d'autres sites et contextes archéologiques et pour appréhender la grande diversité des roches riches en fer dans les nombreux contextes géologiques et géomorphologiques où elles se forment, se concentrent et se déposent (*cf.* chapitre 7). De cette manière, il est possible de prendre en compte la grande diversité de contexte de formation et de dépôt de matières colorantes, mais aussi de proposer un cadre solide pour les divers contextes dans lesquels nous-mêmes et nos collègues étudions les matières colorantes. Nous présenterons dans ce rapport les prospections menées de la fin de l'année 2020 à la fin de l'année 2021 (*cf.* chapitre 6) qui se sont déroulées en naviguant entre les contraintes de déplacement (automne 2020, printemps 2021) et mettant à profit les missions de terrain sur les sites archéologiques sur lesquels l'équipe est impliquée. Ne pouvant cependant s'étendre sur toute la France, une autre pigmentothèque voit le jour (PCR PIGMENT-HO, Nouvelle Aquitaine dir. Matthieu Lebon et Laure Dayet), ce qui annonce le développement d'une structuration à l'échelle de la France avec le démarrage prochain d'un programme ANR (*cf.* chapitre 9).

Dans les conditions irrégulièrement bloquantes de l'année 2021, les objectifs initiaux ont encore fait l'objet d'ajustements, de reconsidérations des possibilités et souvent de créativité pour assurer les opérations de terrain, les analyses, les préparations d'échantillon et l'encadrement des étudiants impliqués dans le programme de recherche. L'opportunité a dû guider nos pratiques dans ce contexte où la préparation d'échantillons s'est révélée particulièrement problématique durant l'absence longue et la reprise douce de notre collègue préparateur fortement affecté par l'épidémie. Prendre en charge, nous-mêmes, une partie des préparations a été très chronophage et a généré un retard considérable pour la mise en place des analyses qui étaient prévues. Par ailleurs, c'est l'encadrement des étudiantes qui a été notre absolue priorité durant cette année avec deux démarrages de thèse et l'encadrement de deux stages de master 2 dans une période chaotique. Cet investissement est absolument indispensable

à la prise d'autonomie des étudiantes qui ont pu ainsi contribuer au présent rapport avec des données nouvelles et des communications en colloque. Nous avons pu accéder sans contrainte à notre laboratoire et, bien que fortement retardées, les campagnes d'analyse (PIXE - C2MRF) et de prospections ont pu se dérouler dans de bonnes conditions. Il n'en reste pas moins que nous sommes conscientes de ne pas donner l'impression de suivre les recommandations de la CTRA concernant la finalisation du travail de recherche sur l'espace géographique initial (Ardèche-Gard). Ce n'est pas un refus de notre part, nous abondons dans le même sens que celui des recommandations qui nous ont été faites. Les circonstances n'ont pas été favorables à la finalisation des prospections dans ce secteur (nous dépendons des possibilités d'accueil à la Voulte) et nous avons pris du retard dans la préparation des échantillons. Ce retard est en court de remédiation et sera entièrement résorbé durant l'année 2022 avec l'embauche en CDD d'un préparateur au laboratoire EDyTeM (financement ANR). Nous voyons donc le bout du tunnel et ce poste clef pourra ainsi soulager nos activités quotidiennes.

Par ailleurs, la dynamique de recherche sur l'Ardèche a ralenti du fait du départ en post-doctorat de Claire Chanteraud qui poursuit néanmoins diverses actions au sein de la *Pigmentoθήque*. Le terrain ardéchois ne peut qu'être réinvesti au cours de la l'année 2022, notamment autour des travaux au Mas d'Aiguilhon avec Patricia Guillermin.

La période de rédaction imposée durant le printemps 2020 se concrétise durant cette année 2021 par la publication des quatre articles soumis en 2020, après qu'ils ont été acceptés et corrigés dans le courant de l'année 2021 (*cf.* chapitre 8). C'est durant cette période imposant le travail de synthèse et de rédaction qu'a été refondu le lexique accompagnant les descriptions macro- et mésoscopiques pour le rendre plus exhaustif. Il permet désormais de décrire les différentes roches ferrugineuses (*cf.* annexe 6).

L'année 2021 est également marquée par deux réalisations favorisant la construction du réseau national (voire au-delà) que nous appelons de nos vœux, avec la création du PCR PIGMENT-HO en Nouvelle Aquitaine (dir. Matthieu Lebon et Laure Dayet), le montage d'un programme ANR entre EDyTeM, le HNHP (MNHN), BBees et l'UMS 2AD. Cette ANR démarre en janvier 2022.

De manière synthétique, nous reprenons dans le tableau les différents objectifs que nous nous étions fixés pour cette triennale 2020-2022 avec une indication du degré d'avancement des tâches. L'avancement de ces tâches est ainsi le résultat de nos choix d'adaptation au contexte actuel et aux opportunités qui se sont présentées au cours de l'année.

Objectifs à court terme < 1 an	Activités en 2021	Avancée
Lexique gîtes*	correspondance avec l'appli et la fiche papier	95%
Lexique macro- méso- microscopie*	petites corrections de certains termes et validation	95%
Application de terrain et fiche papier	Opérationnelles et partagées	95%
Thésaurus PACTOLS*	travail sur l'adaptation du lexique au thésaurus, Mise en place de l'arborescence	10%
Formation à l'utilisation de l'application de terrain*	tutoriel et 2 formations (en visio et sur le terrain)	100%
Dépôt de la Pigmentothèque au Musée de l'Aven d'Orgnac*	reporté	0%
Formation étudiante (WDXRF)*	pas d'opportunité cette année	
Formation étudiante (PIXE)*	Analyses réalisées	50%
Formation étudiante (tracéologie des matières colorantes)*	Stage M2 de février à mai 2021 préparation d'un article en anglais	80%
Formation étudiante (application de terrain et routines sous QGIS, début De construction de l'atlas)*	L'application est accompagnée de tutoriels. Plusieurs partenaires ont reçu ce support de travail qui a été adapté à leurs besoins (pays, régions, programmes des recherche)	95%
Transfert des méthodes 1	Tutoriel pour l'utilisation de l'appli de terrain	100%
Transfert des méthodes 2	Tutoriel pour la préparation des échantillons (découpe, inclusion en résine, polissage, litholamellage)	80%
Transfert des méthodes 3	Tutoriel pour la BdD de description des échantillons	80%
Transfert des méthodes 4	Tutoriel pour le prétraitement et le traitement des mesures PIXE	60%
Journée Pigmentothèque 2021	Réunion sous format mixte (à EDyTeM et en visio) avec de nombreux participants et partenaires puis utilisation de l'appli sur le terrain (Bauges)	100%
Traitement des analyses PIXE*	Préparation d'un article sur les données géochimiques des standards du programme de recherche	60%
Nouvelle campagne pour l'ICP	échantillonnage	70%
Autres méthodes d'analyse compatibles avec le terrain : la reflectance diffuse	augmentation du jeu de références, publication d'un article	50%
Ardèche*	report de la visite de la Voulte, secteur de Soyons Echantillons préparés en cours d'analyse	80%
Vallée du Rhône*	Bauxite du secteur des Baux-de-Provence	50%
Savoie*	Bauges	
Thématique : oolithe ferrugineuse	prospection dans l'Yonne, consultation de lithothèques (Lyon, Ecole des Mines de Paris), don de l'Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique	
Pourtour du Massif Central	Côte d'Or, Yonne, Indre/Creuse	
Intégration de lithothèques	Oolithes ferrugineuses (Belgique et Eifel en Allemagne) Bauxites du Var et du Vaucluse	100%
Vocabulaire des traces anthropiques catalogue de traces et méthodes de documentation*	Avancé durant le stage de Master 2	80%
Enquête sur les lithothèques	Une nouvelle déclaration spontanée (C2RMF) + École des Mines de Paris + Lithothèque de l'ENS de Lyon + Intégration des oolithes ferrugineuses (Belgique et Eifel en Allemagne) et bauxites du Var	10%
Structuration : PCR Aquitaine*	Projet PIGMENT-HO (dir. L. Dayet et M. Lebon) : 1ère Année	100%
ANR Color-Sources*	dir. M. Lebon, redéposée. Démarrage en 2022	100%
Objectifs à long terme : 3 ans	Activités en 2021	Avancée
référentiel de matières vallées Ardèche et Gardon*	Secteur de Valence : Soyons. Documentation macro-, Méso- et microscopique à homogénéiser et compléter	85%
Construction de la base de données	Intégration des descripteurs et des champs contraints dans le tableur avec une nouvelle interface (formulaires) et des scripts pour le suivi du remplissage des fiches	90%
Cartographie des gîtes / SIG*	appli de terrain, développement dans QGIS, atlas	80%
Préparation de la publication bilingue (français/ anglais) des lexiques gîtes et Macro- méso- micro*	Pas d'avancée	50%
Approche statistique des mesures géochimiques obtenues en PIXE*	Approche mise en place par CC validée en cours de publication	100%
Comparaison des analyses ICP/PIXE Et WD-XRF*	Echantillons préparés	10%
Recherche des biais analytiques entre appareils selon les échantillons (effets de matrice, etc.)*	Campagne PIXE en juillet 2021 à AGLAE. Besoin de nouveaux traitements des mesures	50%
Ouverture du projet à l'international	Italie (université de Ferrara), Espagne (Université du Pays Basque), Etats Unis (Université du Missouri)	

\* objectifs annoncés dans le projet de trienal 2020-2022





# Table des matières

<b>Documents administratifs</b>	<b>3</b>
<b>Remerciements</b>	<b>7</b>
<b>Listes des spécialistes, participants et des étudiants</b>	<b>8</b>
<b>Préambule</b>	<b>11</b>
<b>Table des matières</b>	<b>15</b>
<b>1 Problématique</b>	<b>21</b>
1.1 Résumé . . . . .	21
1.2 Objectifs . . . . .	23
1.3 À l'origine du projet . . . . .	24
1.4 Les objectifs à long terme de la <i>Pigmentoθήque</i> . . . . .	25
<b>2 Recherches de provenance de matières colorantes : état des lieux et positionnement</b>	<b>27</b>
2.1 Questionner les territoires de la Préhistoire . . . . .	27
2.2 Contextualisation . . . . .	29
2.3 Recherche des sources des matières colorantes . . . . .	31
2.4 Les limites actuelles . . . . .	35
2.5 Définir les objectifs des exploitations de matières colorantes . . . . .	36
<b>3 Point sur les matières minérales colorantes riches en fer</b>	<b>39</b>
3.1 Type I : formations riches en fer sédimentaire . . . . .	40
3.2 Type II : formations riches en fer associées à des minéralisations . . . . .	43
3.3 Type III : fer concentré par l'altération météorique de roche préexistante . . . . .	43
3.3.1 Type IIIA : fer dans les profils d'altération . . . . .	45
3.3.2 Type IIIB : minéralisations altérées . . . . .	46
3.3.3 Type IIIC : accumulation de fer par piégeage . . . . .	50
3.4 Autres formations combinant plusieurs mécanismes génétiques et évolutifs . . . . .	50
3.5 Formations riches en fer non oxydé et magnétite . . . . .	50
<b>4 Méthodes</b>	<b>53</b>
4.1 Recherche documentaire . . . . .	54
4.2 Prospection . . . . .	54
4.3 Caractérisation des matières géologiques . . . . .	55

4.3.1	Description des faciès de matières colorantes du terrain au laboratoire . . . . .	56
4.3.2	Analyses : apports et limites . . . . .	57
4.4	Adaptation de la démarche aux objets archéologiques . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Synthèse des apports méthodologiques</b>	<b>63</b>
5.1	La fiche terrain en papier : amélioration . . . . .	63
5.2	Une refonte de l'application de terrain . . . . .	65
5.2.1	Passage sous QGIS . . . . .	66
5.2.2	Structuration des champs . . . . .	66
5.2.3	Développement d'une application de terrain collaborative . . . . .	67
5.2.3.1	Application Input basée sur le plugin <i>Mergin</i> de QGIS . . . . .	67
5.2.3.2	Mise au point d'un formulaire dédié . . . . .	68
5.2.3.3	Ajout de fonctionnalités secondaires . . . . .	69
5.2.3.4	Évaluation de l'application . . . . .	70
5.2.3.5	Évolution et déploiement de l'application . . . . .	70
5.3	La carte comme outil de recherche . . . . .	72
5.3.1	QGIS : outil de génération semi-automatique d'atlas . . . . .	72
5.4	Descriptions gîtologique et pétrographique, adaptation à partir des lithothèques . . . . .	75
5.5	D'un long tableur à une base de données des échantillons . . . . .	78
5.5.1	Les données d'entrée : les critères de description des roches . . . . .	78
5.5.2	Construction des formulaires . . . . .	80
5.5.2.1	Carte d'identité des échantillons . . . . .	80
5.5.2.2	Implémenter la base de données . . . . .	81
5.5.2.3	Synthèse des données . . . . .	81
5.5.3	Administration d'une base de données en construction . . . . .	85
5.5.4	Perspectives . . . . .	88
5.5.4.1	Une base de données géoréférencée... . . . .	88
5.5.4.2	... consultable en ligne... . . . .	88
5.5.4.3	... et interopérable . . . . .	88
5.6	Prise de vue des échantillons : contrôle de la couleur . . . . .	89
5.7	Traitements mécaniques des matières riches en oxydes de fer : apport de la tracéologie	90
5.7.1	Contexte de mise en place des expérimentations et objectifs . . . . .	90
5.7.1.1	Objectif des expérimentations : caractériser les stigmates d'abrasion sur des matières ferrugineuses . . . . .	90
5.7.1.2	Lacunes : manque de standardisation dans la méthodologie (entre autres) . . . . .	90
5.7.1.3	Pertinence de cette recherche : créer un référentiel expérimental fiable et reproductible pour l'abrasion sur des différentes matières colorantes . . . . .	90
5.7.1.4	Choix des matières premières et des paramètres expérimentaux . . . . .	90
5.7.2	Expérimentations et documentation . . . . .	94
5.7.2.1	Objectif de la documentation des surfaces modifiées . . . . .	94
5.7.2.2	Mesures des stries à grossissement mésoscopique au stéréomicroscope . . . . .	94

5.7.3	Résultats . . . . .	95
5.7.3.1	Tendances par paramètre . . . . .	95
5.7.3.2	La matière colorante . . . . .	95
5.7.3.3	L'adjuvant . . . . .	96
5.7.3.4	Les matières abrasives . . . . .	98
5.7.3.5	Le temps . . . . .	100
5.7.3.6	Le mouvement . . . . .	102
5.7.3.7	Les facettes . . . . .	102
5.7.4	Données numériques par les mesures de stries . . . . .	105
5.7.4.1	Abrasé sur du grès . . . . .	105
5.7.4.2	Abrasé sur un voile abrasif . . . . .	108
5.7.5	Discussion . . . . .	111
5.7.5.1	Limites des paramètres . . . . .	111
5.7.5.2	Arrivons-nous à distinguer des surfaces d'abrasion différentes ? . . . . .	112
5.7.5.3	Futur du référentiel : Comment sert le référentiel qui a été créé ? . . . . .	112
5.8	Réflectance bidirectionnelle des roches ferrugineuses . . . . .	113
5.8.1	Validation des mesures et vaste échantillonnage de la <i>Pigmentotheque</i> . . . . .	113
5.8.2	Perspectives en lien avec la spectroscopie de réflectance diffuse . . . . .	114
<b>6</b>	<b>Prospections de fin 2020 à fin 2021</b> . . . . .	<b>117</b>
6.1	État des lieux des zones prospectées . . . . .	117
6.2	Prospections dans le secteur des Baux-de-Provence - Bouches-du-Rhône . . . . .	121
6.3	Prospections dans le secteur de Chaillac - Indre . . . . .	125
6.3.1	Introduction . . . . .	125
6.3.2	Résultats de la prospection . . . . .	127
6.4	Le bassin versant de l'Yonne : Côte-d'Or, Yonne, Nièvre, Seine-et-Marne . . . . .	129
6.4.1	Prospections dans le tronçon médian du bassin versant de l'Yonne (oolithes et grès ferrugineux) . . . . .	129
6.4.1.1	Le Mio-Pliocène et les couvertures limoneuses . . . . .	129
6.4.1.2	Le Crétacé : La Puisaye, cénomanien supérieur, c2b . . . . .	132
6.4.1.3	Le Néocomien . . . . .	132
6.4.1.4	Jurassique moyen et supérieur . . . . .	133
6.4.1.5	Le Lias . . . . .	133
6.4.2	Prospections dans le secteur aval du bassin versant de l'Yonne . . . . .	134
6.5	Monte Lessini, Vérone, Italie . . . . .	136
6.5.1	Cadre général . . . . .	136
6.5.2	Les dépôts géologiques prospectés . . . . .	136
6.5.2.1	Ponte di Veja . . . . .	139
6.5.2.2	Sant'Andrea . . . . .	140
6.5.2.3	San Bortolo . . . . .	141
6.5.2.4	Ca' Vecchi . . . . .	141
6.5.2.5	Monte Serea . . . . .	141
6.6	Projet « Chuchwayha : Homme et Nature en Similkameen » . . . . .	143



<b>7 Observation, analyse et description des échantillons géologiques</b>	<b>149</b>
7.1 Les sources de matières colorantes en Savoie . . . . .	149
7.1.1 Matériel et méthode . . . . .	149
7.1.2 Mâchefer . . . . .	150
7.1.3 Le Trou de la Féclaz . . . . .	156
7.1.4 Conclusion . . . . .	163
7.2 Premières analyses des matières des Monts Lessini . . . . .	164
<b>8 Lien avec les collections de matières colorantes archéologiques</b>	<b>171</b>
<b>9 Diffusion et valorisation</b>	<b>173</b>
<b>10 Développement du réseau</b>	<b>177</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>181</b>
<b>11 ANNEXES</b>	<b>193</b>
<b>ANNEXE 1 – Fiche terrain et lexique</b>	<b>195</b>
<b>ANNEXE 2 – Application de terrain</b>	<b>209</b>
<b>ANNEXE 3 – Formulaire de terrain sous QGIS</b>	<b>215</b>
<b>ANNEXE 4 – Tutoriels</b>	<b>225</b>
11.1 Atlas . . . . .	225
11.2 Application de terrains . . . . .	225
11.3 Projet vierge . . . . .	225
11.4 Projet bibliothèque . . . . .	225
<b>ANNEXE 5 – Atlas</b>	<b>227</b>
<b>ANNEXE 6 – description méso- microscopique</b>	<b>235</b>
<b>ANNEXE 7 – Liste reflectance diffuse</b>	<b>291</b>
<b>ANNEXE 8 – Liste des gîtes</b>	<b>305</b>
<b>ANNEXE 9 – Prospection Chaillac</b>	<b>323</b>
<b>ANNEXE 10 – Prospection Yonne</b>	<b>333</b>
<b>ANNEXE 11 – Prospection Lessini</b>	<b>355</b>
<b>ANNEXE 12 – Échantillons des Monts Lessini</b>	<b>377</b>
<b>ANNEXE 13 – Analyses PIXE des standards</b>	<b>381</b>
<b>ANNEXE 14 – Poster</b>	<b>383</b>

**ANNEXE 15 – RAPPORT CTRA**

**385**



# Partie 1

## Problématique

### 1.1 Résumé

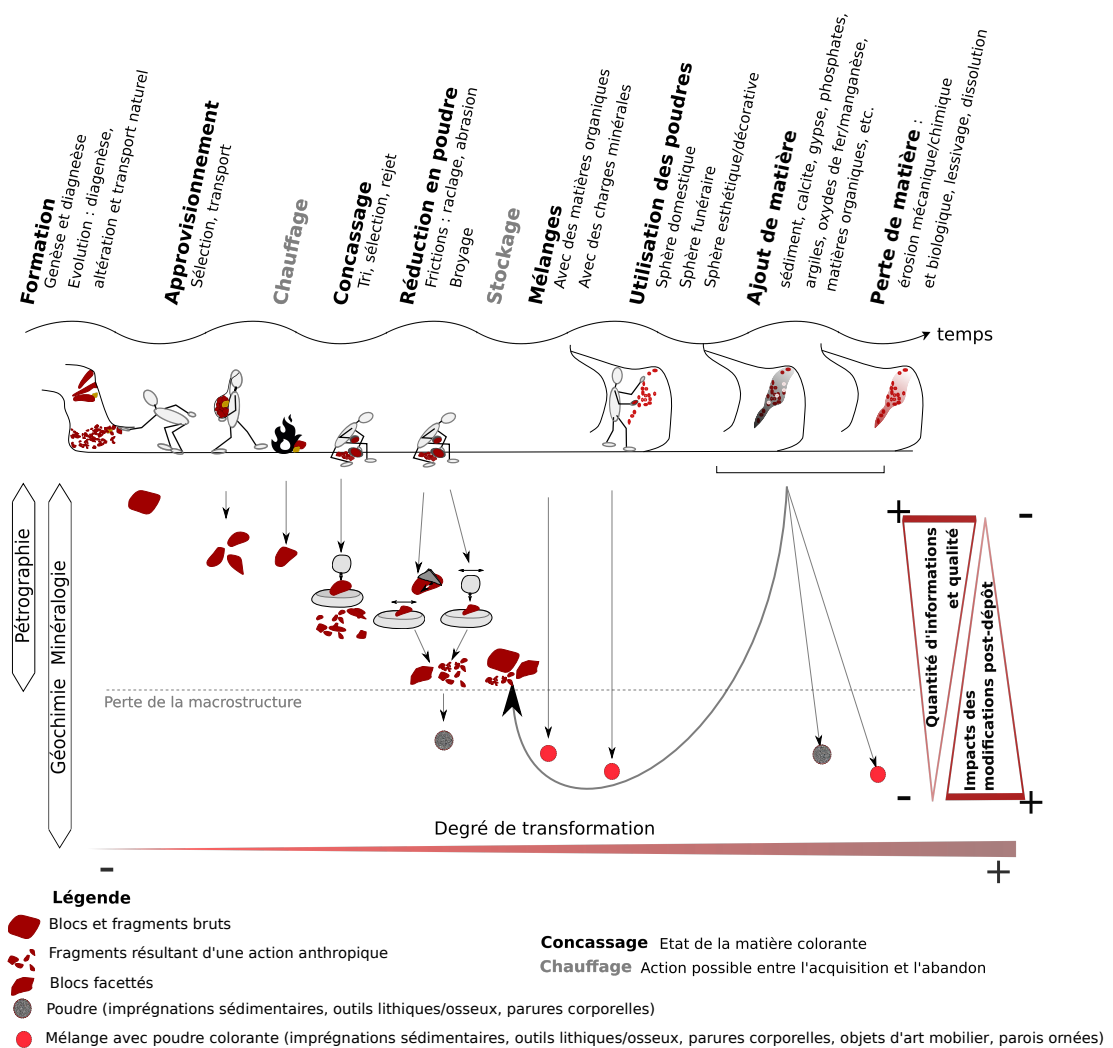


Figure 1.1 : Schéma récapitulatif des méthodes d'analyse, des chaînes opératoires, des évolutions des matières, des modifications qu'elles ont enregistrées et des pertes d'information. DAO : H. Salomon.

Fréquemment présentes dans les dépôts archéologiques depuis la fin du Moustérien et utilisées dans l'art pariétal à partir du Paléolithique supérieur, les matières colorantes semblent s'inscrire au

cœur des sociétés préhistoriques dans différentes pratiques (techniques, artisanales et symboliques). La plupart des peintures des sites ornés recensés dans la région du sud-est de la France (une trentaine de grottes et d'abris-sous-roche) ont été réalisées avec un mélange de matières riches en oxydes de fer pour obtenir une large gamme de nuances de couleurs du jaune au rouge. Pour désigner ces matières colorantes, l'utilisation fréquente des mots « pigment » ou « ocre », parfois abusive, implique un type d'usage (réalisation de peintures ou de cosmétiques) mais ne permet pas de décrire objectivement ces matières, temps que les problématiques et les recherches se concentrent sur les applications, soit le segment terminal des chaînes opératoires. Les matières colorantes présentent un certain nombre de propriétés physico-chimiques (propriétés sensibles visuellement et au toucher, d'ordre mécanique et colorantes principalement) qui permettent de les transformer, de les façonner, de les réduire en poudre, de les mélanger avec d'autres substances, de les appliquer sur différentes matières ou de les utiliser comme matière-outil. De la source d'approvisionnement jusqu'à la réduction en poudre, ces actions de transformation induisent des modifications irrémédiables de la structure pétrographique de la ressource minérale d'origine (Figure 1.1).

Si l'étude de ces matières colorantes par des méthodes physico-chimiques couplées aux approches classiques de pétrographie est à même de renseigner sur les déplacements des groupes humains, au même titre que d'autres matières minérales (matières siliceuses destinées à être taillées, fossiles), ce type d'analyse requiert au préalable de bien connaître les matières dont il est question, ce qui implique d'appréhender leur mode de formation et d'évolution de même que les contextes dans lesquels elles peuvent être retrouvées en s'intéressant aux gîtes d'approvisionnement existants, en s'attachant à en décrire les spécificités, les variations verticales et latérales et en cherchant à restituer l'évolution de leur accessibilité au cours du temps. Par la grande diversité des caractéristiques des matières premières colorantes mises au jour dans les différents sites archéologiques, il nous est d'ores et déjà possible de conclure à l'existence passée de plusieurs sources d'approvisionnement. Pourtant notre connaissance des gîtes d'extraction et des formations géologiques qui ont orienté les choix de matières premières colorantes reste encore peu développée et lacunaire. C'est pourquoi nous avons mis en place une équipe qui travaille depuis 2016 à la construction d'une *Pigmentoθήque*, dont l'objectif repose sur la connaissance des matières colorantes naturelles provenant dans un premier temps d'une zone comprise entre les gorges de l'Ardèche et du Gardon où se concentrent de nombreux sites ornés et des sites d'occupation durant le Paléolithique. Dans cette aire géographique, qui fait office de laboratoire pour la mise en place de la *Pigmentoθήque*, il est alors possible de renforcer la connaissance des ressources minérales ferrugineuses par un aller-retour entre les collections archéologiques et les formations géologiques nombreuses et plurielles. Cette région présente en effet une partition des ensembles géologiques et géomorphologiques qui offre un terrain d'investigation privilégié pour distinguer les matières riches en oxydes de fer en fonction de leur genèse et de leur évolution. Depuis 2016, les contextes géologiques investigués et l'aire géographique explorée ont été étendus à travers la région Auvergne-Rhône-Alpes et, ponctuellement, au-delà (Ile-de-France, Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées), à la faveur des fouilles archéologiques auxquelles participent les membres du projet. L'enjeu de l'établissement d'un référentiel de ressources minérales colorantes repose sur la capacité d'établir, pour chaque gisement ou groupe de gisements, une carte d'identité qui soit suffisamment pertinente et singulière, en prenant en considération leur dynamique pour ensuite faire des rapprochements concordants avec les matières colorantes cohésives trouvées en fouille. Bien que basée sur des méthodes existantes, l'originalité de la construction de cette *Pigmentoθήque* est bien de s'intéresser à la diversité et à la pluralité des matières naturelles présentant des caractéristiques reconnaissables à



Figure 1.2 : Coupe naturelle formée par le Rieussec, ruisseau situé entre les communes de Salavas et Vagnas (Ardèche) et mettant au jour des dépôts alluviaux contenant des éléments riches en fer. Photo : H. Salomon.

différentes échelles pour les comparer à des roches colorantes trouvées en fouille en contexte d'habitat et/ou d'art rupestre.

La difficulté d'établir un tel référentiel réside en particulier dans la très grande richesse et la grande diversité des matières premières susceptibles de produire des pigments exploitables durant la Préhistoire, la modification des gîtes au cours du temps (en particulier suite à l'érosion et aux exploitations minières anciennes comme récentes) et l'envergure parfois très limitée de certaines formations et des affleurements (Figure 1.2). Il est donc important de s'appuyer sur une documentation robuste des formations géologiques, des exploitations dont elles ont fait l'objet au cours du temps (documentation minière) et de procéder à des prospections en multipliant l'échantillonnage et en considérant différents contextes géologiques et géomorphologiques. Pour faire une comparaison entre les sources potentielles et les différents matériaux archéologiques, il est essentiel de s'appuyer sur la complémentarité des signatures pétrographique, minéralogique et chimique (Figure 1.1).

## 1.2 Objectifs

L'objectif principal de l'édification de la *Pigmentoθήque* réside dans la mise en place d'un outil dynamique en lien avec les autres matériauthèques, en particulier le *Réseau des lithothèques* (Bressy & Bintz (2002); Fernandes (2012); Fernandes *et al.* (2013); Tomasso *et al.* (2013); Fernandes (2015)) qui permette de restituer les premières séquences des chaînes opératoires et ainsi d'aborder les questions de choix opérés et contraints par la nature des matières premières disponibles, les stratégies, les connaissances et les valeurs partagées, les réseaux d'approvisionnement, les modalités de circulation des matières, des hommes ou des idées et les espaces dans lesquels se sont inscrites les sociétés au cours du temps. C'est en effet le point de départ des chaînes opératoires qui permet de

restituer les éléments à partir desquels on peut reconnaître des traditions culturelles. Pour aborder ces problématiques, l'établissement de référentiels géologiques se place désormais comme un préalable indispensable à la mise en évidence des exploitations des ressources minérales par les populations de la Préhistoire. L'analyse des réseaux de circulation des matières colorantes trouve ainsi tout son sens dans le contexte plus large de l'exploitation de l'ensemble des matières (ressources siliceuses destinées à la taille, les coquilles, la faune). Au-delà de la détermination des caractéristiques des matières premières et de la distance qui sépare les gîtes des sites archéologiques, la mise en place de la *Pigmentoθήque* vise à restituer de manière systémique, c'est-à-dire par un dialogue avec les travaux menés sur l'exploitation des autres ressources, et dans la diachronie, la fluctuation des territoires, les modalités d'exploitation des ressources et les aires d'influence.

Les roches riches en oxy(hydro)des de fer et de manganèse utilisées durant le Paléolithique jusqu'au Néolithique sont très diversifiées. Ces roches, associées à des contextes de formation et d'évolution des contextes géologiques, présentent des caractéristiques remarquables à différentes échelles d'observation (nature des minéraux porteurs du fer, niveau d'oxydation du fer, concentration en fer, couleur, texture, fabrique, éléments figurés, état de fraîcheur *versus* état d'altération, ciment et matrice, inclusions minérales, couleur et pouvoir colorant, dureté), d'où la nécessité d'adopter une approche méthodologique solide multi-échelle et multi-proxi pour identifier et décrire ces matières et leurs origines géologiques et être à même de les comparer entre elles.

Ces méthodes, qu'elles soient ou non destructives, se révèlent plus ou moins efficaces en fonction des contextes géologiques et archéologiques étudiés, mais aussi du fait de la composition des roches analysées, dont les constituants sont souvent présents en quantités et concentrations très variables au sein d'un même gisement géologique (filon, strate, horizon...), voire d'un même objet. Les travaux récents ont démontré la nécessité de recourir à des moyens d'investigation complémentaires dans le cadre d'observations et d'analyses multiscalaires (Salomon *et al.* (2016)). Les critères descriptifs, fondés sur les géosciences et les méthodes d'identification des empreintes des gîtes (par la pétrographie, la minéralogie et la géochimie) ont été fixés et la méthodologie peut être appliquée à un vaste corpus de références géologiques. Cependant, des améliorations méthodologiques sont encore nécessaires pour obtenir des mesures fiables de la composition chimique à une résolution satisfaisante. La *Pigmentoθήque* sert donc aussi à mettre à disposition des échantillons pour ces développements analytiques.

### 1.3 À l'origine du projet

La construction de la *Pigmentoθήque* est la conséquence de la rencontre des investigations isolées menées par plusieurs membres du programme (JM, HS, ECh et JVP), initiées depuis 2003 dans différentes régions françaises. Ces premières actions, sous forme d'investissements intermittents bénévoles ou comprises dans des programmes de recherche de courte durée, et concernant des régions isolées (sud-est et sud-ouest du Bassin parisien, Dordogne, Hérault, sud de l'Ardèche, nord du Gard, Alpes-Martimes) ont donné non seulement l'occasion de croiser les expériences et les sources documentaires, mais encore, avec la contribution des membres de l'équipe formée depuis 2016, de poser les principes fondamentaux et fondateurs de la mise en commun de ces références géologiques et d'harmonisation des modalités d'enregistrement, de caractérisation et de traitement des collections de référence et enfin de leur spatialisation.

Trois collections sont à l'origine de la constitution d'une première base de réflexion et de la mise

en commun de matières géologiques géolocalisées et au minimum identifiées :

- La collection de Julien Monney, récoltée de façon systématique autour des sites ornés de la vallée de l'Ardèche du sud de l'Ardèche au nord du Gard sur plusieurs années. Cette collection a été intégralement intégrée à la *Pigmentothonèque* et a servi de point de départ pour retourner sur les lieux de prospection.
- La collection de Jean-Victor Pradeau établie lors de sa thèse dans le Var à la fois de façon systématique autour des sites d'étude (Castellar-Pendimoun et Nice-Giribaldi) et également de façon thématique en fonction des matières identifiées sur ces sites. Cette collection est conservée et archivée au sein de la base de données du CEPAM (ETICALP). Une partie a été dupliquée pour être intégrée à la *Pigmentothonèque*.
- Hélène Salomon collecte depuis 2003 des matières ferrugineuses et riche en oxyde de manganèse de façon thématique en lien avec les matières qu'elle identifie sur les sites qu'elle étudie. Ces collectes s'étendent de la Belgique au sud de l'Hérault de façon ponctuelle. Sa collection a fini d'être intégrée à la *Pigmentothonèque* durant l'année 2019.

Dans un premier temps, les travaux se sont donc concentrés sur une zone géographique qui fait office de laboratoire pour la mise en place de la *Pigmentothonèque*, à savoir l'aire située autour des gorges de l'Ardèche et du Gardon, étant donnée la collection déjà existante. De plus, une forte concentration de sites paléolithiques, notamment des grottes ornées se situe dans cette aire géographique. Enfin cette aire représente dans un espace resserré, de nombreuses formations géologiques mettant à disposition des roches riches en fer, aux caractéristiques tranchées du fait de la pluralité de leur genèse. Il s'agit donc d'un espace géographique privilégié pour aborder la diversité des ressources de matières colorantes qui ont pu être largement exploitées dans un contexte géologique contrasté.

## 1.4 Les objectifs à long terme de la *Pigmentothonèque*

Le PCR *Pigmentothonèque* a vocation à atteindre plusieurs objectifs en cours de réalisation à l'échéance de plusieurs années :

- l'élaboration d'un **atlas des ressources** riches en oxy(hydroxy)des de fer et de manganèse disponible sous la forme d'une base de données informatisées comportant une documentation photographique multiscalair du terrain à l'échelle microscopique, les informations de localisation, de géologie, les caractéristiques lithologiques, pétrographiques et physico-chimiques des références géologiques, mais aussi disponible de manière physique en plusieurs lieux de conservation (EDYTEM et Musée d'Oragnac l'Aven),
- **géoréférencer** les formations à matières colorantes à l'échelle du sud de l'Ardèche et du nord du Gard dans un premier temps, une extension géographique est amorcée et profite d'opérations archéologiques et des collaborations en cours et des collaborations (cf. projet 2021)
- **comparer** avec des séries de roches pigmentaires mises au jour sur des sites **archéologiques**, voire comparaison avec des peintures ou dessins sur parois (cf. partie V. Connexion avec les collections archéologiques),



- **diffuser** auprès des acteurs concernés les banques de données de géomatères colorantes de référence, en précisant leurs caractéristiques intrinsèques,
- **former les collègues** et les futurs collègues à la reconnaissance et à la caractérisation des matières colorantes, afin que ce type de vestiges soit traité dans de bonnes conditions dès la fouille de manière à être étudiés,
- **diffuser nos apprentissages** tant en ce qui concerne la caractérisation de ces matières que pour ce qui est de la spatialisation des informations générées afin que les résultats des différentes équipes puissent être comparés et croisés.

## Partie 2

### Recherches de provenance de matières colorantes : état des lieux et positionnement

L'exploitation des matières colorantes constitue un champ de pratiques qui suscite l'intérêt de la communauté scientifique depuis les commencements des recherches en Préhistoire (par ex. Lartet & Christy (1865); Rivière (1887), p. 196; (de Mortillet & de Mortillet 1910), p. 555; Moissan (1902b), (Moissan 1903b)) mais elles n'ont été étudiées sous l'angle des chaînes opératoires que depuis une dizaine d'années. Ces matières, riches en manganèse pour les noires et en fer pour les rouges, les orangées et les jaunes, sont fréquemment appelées « ocres ». Terme, dont la polysémie est remarquablement riche et plurielle, « ocre » renvoie à de très nombreuses réalités et représentations, parfois opposées. L'ambiguïté tient en partie à son étymologie (du grec *ωχρα* issu de *ωχρος* signifiant alternativement : pâle, couleur instable, jaune de l'œuf...). Mais plus encore, à l'échelle de l'histoire de ce terme, c'est entre la désignation de la couleur, de la matière ou de la matière transformée (matériau) que se crée une diversité grandissante de ses acceptions, généralisant parfois jusqu'à la contradiction (Triat (2010) : 16; Salomon (2009) : 41-52; Tromeur (1998)). Le glissement de la matière à la couleur et inversement est omniprésent, mais n'informe ni sur la couleur ou la nuance (jaune, orange, rouge, brun, pâle, sombre, etc.) ni sur la matière elle-même (naturelle ou transformée par des actions anthropiques, minéraux chromogènes, roches enrichies en minéraux chromogènes) et rend difficile la compréhension des objectifs des exploitations auxquelles les matières colorantes ont donné lieu dans les différents contextes d'enregistrement.

Les matières colorantes se présentent par ailleurs sous différentes formes, blocs et fragments bruts ou modifiées par des actions techniques, et le plus souvent réduites à l'état de poudre ou de petits débris. Les poudres et mélanges, que l'on retrouve sur divers vestiges ou imprégnées dans les sédiments, sont plus ou moins bien conservées. Ces dépôts sont fréquemment observés sur des outils lithiques taillés et non taillés, des outils en matière dure animale, des éléments de parures corporelles, des objets d'art mobilier, couvrant les squelettes dans certaines sépultures, appliqués sur les parois.

#### 2.1 Questionner les territoires de la Préhistoire

Alors que les matières colorantes sont nombreuses et se présentent sous différentes formes sur les sites archéologiques, la recherche des ressources n'a pas été développée jusqu'à très récemment. C'est pourtant une riche source d'informations à valeur géographique. Ceci justifie d'étudier plus en détail les stratégies mises en œuvre pour leur exploitation en insérant l'étude des ressources dans l'analyse des chaînes opératoires (figure 2.2). Ceci revient à questionner non seulement les modalités de déplacement des matières colorantes par les groupes humains qui les ont utilisés, mais aussi les

modalités d'utilisation, les usages, les goûts et les préférences, c'est-à-dire ce qui nous permet, à nous préhistoriens, de reconnaître les traditions culturelles.

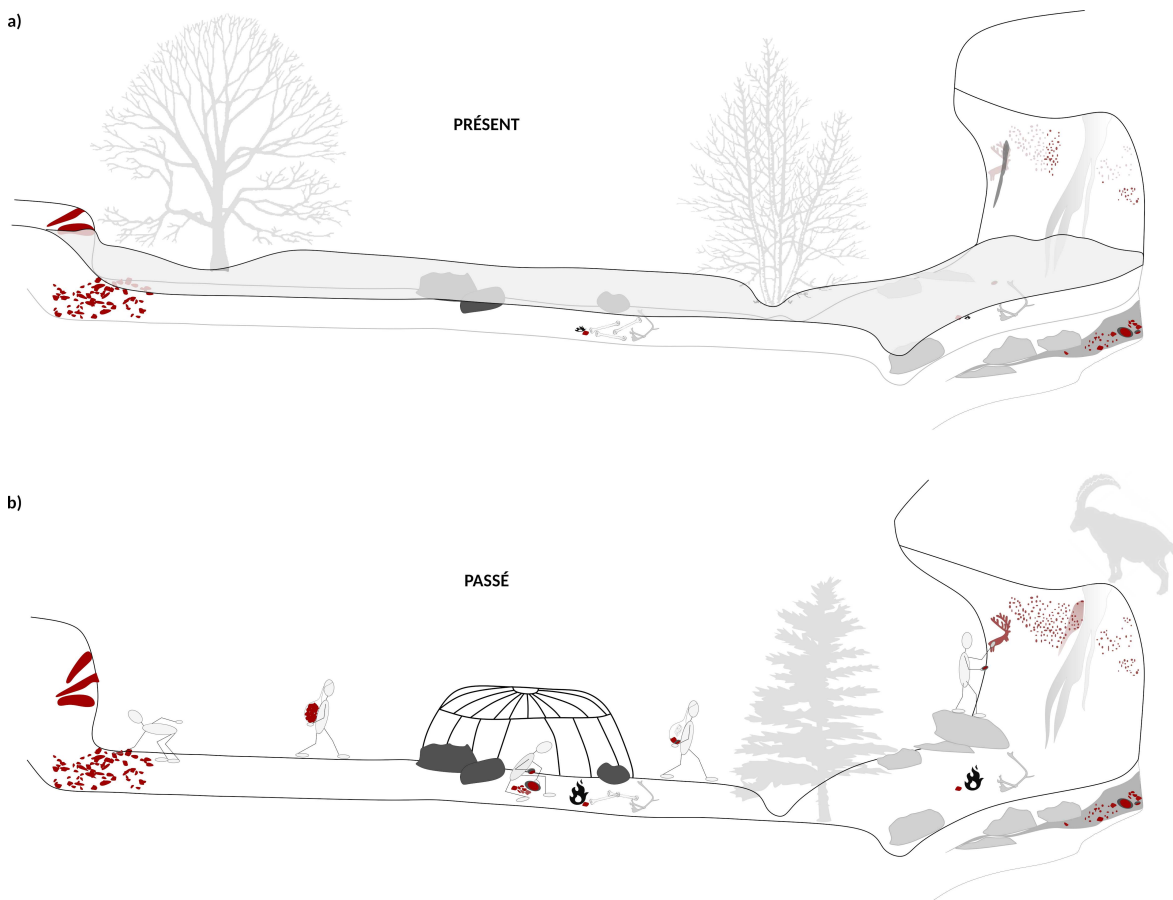


Figure 2.1 : Schémas représentant le champ couvert par la *Pigmentoθήque*. La connaissance des matières premières utilisées et des modalités d'approvisionnement renseignent sur l'ensemble des choix opérés dans le passé, sur les temporalités des activités humaines et naturelles et sur les spatialités des groupes humains. Il s'agit de représenter les trajectoires des matières premières et transformées, les installations et déplacements humains et les modifications des implantations humaines sous l'effet d'aménagements anthropiques et d'origine environnementale. En haut (a), illustration des effets du temps sur les lieux fréquentés par les groupes humains, en bas (b), illustration des dynamiques humaines et physiques dans le passé. DAO : H. Salomon

Définir les territoires de la Préhistoire repose sur le principe d'identification d'ensembles culturels au sein desquels les codes et les normes sont fondés sur des connaissances partagées (Aubry (2005) ; Bon (2009) : 250). Si la définition de territoire peut varier d'une discipline à l'autre, en archéologie préhistorique, on tente de définir les territoires comme l'espace investi culturellement (reconnu par les groupes qui l'habitent comme par les groupes extérieurs), exploité économiquement, où se transmet la culture et où se reproduit la société (Binford (1979) : 259 ; Godelier (2009) : 97). En s'assurant l'accès à des ressources minérales et vivantes, ces groupes humains ont délimité des territoires, construits et déconstruits au cours du temps, qui peuvent être reconnus comme des réseaux de lieux faits de relations entre matières, humains, installations et déplacements (Binford (1980) ; Bon (2009) : 254 ; Delvigne, 2021 ; Gould & Saggars (1985)). Bien qu'il s'agisse d'un enjeu majeur de l'archéologie préhistorique, l'identification de l'étendue des territoires préhistoriques sur la base de liens entre

les lieux d’approvisionnement et les lieux où sont déposés les matières colorantes se heurte à des difficultés. En effet, le transport des ressources entre un point et un autre peut être assuré par : (i) plusieurs groupes différents ne se reconnaissant pas d’identité commune, mais échangeant des matières premières d’un groupe à l’autre, ou (ii) un groupe traversant les territoires d’autres groupes afin d’y prélever des ressources. Par conséquent, les déplacements de matières premières ne peuvent pas être considérés comme un reflet direct de l’emprise territoriale d’un groupe donné. Pour ces raisons, nous ne sommes pas en mesure de distinguer les acquisitions directes et les échanges, et donc d’établir les limites des territoires à travers l’acquisition de matières premières. En revanche, l’approche permet de reconstituer les réseaux de circulation des ressources et, par extension, les réseaux de circulation humaine à une période donnée (Bourdier (2013); (?)).

Pour définir les territoires nomades de la Préhistoire, par métonymie, on considère que le territoire est l’espace dans lequel circulent les matières, car les matières sont déplacées par les hommes qui véhiculent ainsi leurs idées. Il est aussi souvent appelé « espace parcouru » en cherchant à distinguer ce qui relève d’acquisitions directes ou indirectes de matières premières.

Ainsi, la notion de litho-espace permet de tracer l’espace géographique défini par l’extension maximale esquissée par l’origine des matières premières retrouvées sur un habitat individualisé. Pourtant, la simple assimilation du litho-espace à l’espace géographique exploité et au territoire n’est pas suffisante puisqu’elle ne permet pas de considérer les mécanismes sous-jacents à l’acquisition des ressources, en particulier, à savoir si l’acquisition était directe ou non (Delvigne (2016)), dans quelles temporalités s’inscrivaient ces acquisitions et quels critères gouvernaient les choix de matières premières.

L’approche sito-centrée donne un point de vue sur la gestion de l’espace très limité et reste une première analyse et représentation qui isole le site des autres lieux de fréquentation humaine. Cette approche permet néanmoins, dans un premier temps d’établir la relation entre les lieux où les ressources ont été prélevées et les lieux de consommation. En revanche, c’est l’ensemble des interconnexions entre lieux qui est porteur de sens dans un espace donné qui est alors considéré comme un territoire.

Pour une compréhension des relations inter-espaces, l’analyse des récurrences dans la fonction des sites et dans l’utilisation des matières premières autorise l’établissement des réseaux de lieux préhistoriques, dont l’image s’approche des données de l’ethnologie et de la géographie. Travailler sur les réseaux de lieux permet donc de représenter le maillage territorial par grande période en raisonnant sur les lieux fréquentés et occupés, d’une part, et les lieux vides de fréquentation, éventuellement évités, d’autre part (Delvigne *et al.* 2019).

## 2.2 Contextualisation

La nécessité de mettre en évidence et de déterminer l’origine géologique, voire géographique, des matières premières colorantes qui ont été employées, tant sur les sites d’habitat que dans les sites ornés, n’est pas aussi ancienne que les recherches consacrées à l’étude des provenances de matières premières siliceuses destinées à être taillées.

Pour ces dernières, l’investissement a commencé dès les premières recherches en préhistoire (Dammour (1865)). Ce type de démarche a été notamment motivé par la volonté de trouver des correspondances de matières premières entre les équipements taillés de la Préhistoire et des ressources particulières, selon une approche centripète. Cependant, ce type de démarche est resté longtemps biaisé par

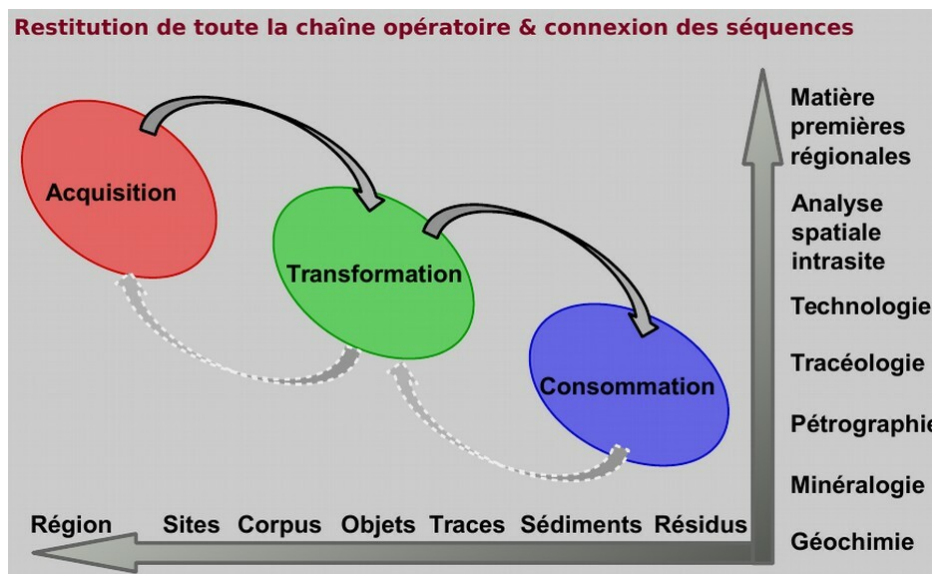


Figure 2.2 : Schéma général positionnant le projet de la *Pigmentoθήque* dans l'approche globale de la chaîne opératoire des matières lithiques et colorantes. DAO : H. Salomon

la faible connaissance des contextes géologiques favorables à la formation des ressources minérales et du domaine minéral exploité par les populations préhistoriques. En particulier, de nombreuses difficultés se sont révélées lorsqu'il s'est agi de décrire et de caractériser les échantillons de référence, conservés dans différents types de lithothèques. Quant à réaliser des comparaisons à l'échelle suprarégionale, il s'est avéré que ces difficultés devenaient trop nombreuses pour être aisément surmontées. Le besoin d'harmoniser non seulement les méthodes d'échantillonnage des matières siliceuses de référence, mais aussi le vocabulaire employé a donné lieu à la constitution et à la diffusion de bases de données utilisables pour « élaborer un outil fiable au service de la reconstitution des géo-domaines d'approvisionnement » (Fernandes *et al.* (2013)) et à la mise sur pied de lexiques partagés entre les équipes scientifiques et mis à disposition des contributeurs et des étudiants.

Ainsi, les lithothèques de roches siliceuses ont ouvert la voie sur le plan de la réflexion concernant les principes fondamentaux de l'étude des ressources minérales employées durant la Préhistoire, mais encore, en mettant en place des méthodologies et des lexiques, dont nous pouvons bénéficier en les adaptant à nos objets d'étude. La longue expérience en matière d'étude des ressources siliceuses se traduit par le référencement, la description/caractérisation et la cartographie de très nombreuses ressources de manière systématique et ce dans un réseau suprarégional (Réseau de lithothèques) devenu un réseau national en 2019 avec la naissance du GDR Silex.

Le regard porté par les préhistoriens sur les matières colorantes est assez différent car c'est principalement pour des questions de conservation et de restitution des grottes ornées que se sont posées les questions des ressources colorantes exploitées (Couraud & Laming-Emperaire (1979) à Lascaux ; Cabrera-Garrido (1978) à Altamira, Audouin-Rouzeau & Plisson (1982) pour tester l'intérêt d'étudier les matières colorantes sous forme de résidus et de blocs cohésifs, solides ; Chalmin (2003) autour des oxydes manganèse de Lascaux, Ekaïn et Combe Saunière ; Jezequel *et al.* (2011) sur les matières colorantes de la grotte Blanchard). Puis, ont commencé à se développer une série d'études consacrées principalement à la caractérisation et à l'analyse de vastes corpus de matières non plus appliquées, mais encore cohésives, c'est-à-dire des matières premières brutes, fragmentées et facetées qui ont

conservé leur structure pétrographique (Salomon (2009) sur la Grotte du Renne et Combe Saunière ; Beck *et al.* (2012) sur la Grotte du Renne, Dayet (2012) et Dayet *et al.* (2015) sur la collection de Diepkloof Rochshelter en Afrique du Sud, Pradeau (2015) sur les matières colorantes employées durant le Néolithique dans le sud-est de la France ; Billard *et al.* (2016) sur les oolithes ferrugineuses en Belgique et en Normandie). Tous sont partis des sites pour chercher à documenter les ressources qui correspondaient à l'assemblage mis au jour : il s'agit donc, pour commencer, d'une approche centrée. Partageant les mêmes objectifs que nos collègues lithiciens (dont certains sont impliqués dès le commencement de la *Pigmentoθήque*, comme Paul Fernandes et Guillaume Bocaccio, et maintenant, Vincent Delvigne et Christophe Tuffery), nous nous inspirons de leur longue expérience afin de rattraper le retard immense qui concerne la connaissance des matières colorantes et de la diversité des ressources qui auraient pu être exploitées durant la Préhistoire.

En vérité, l'identification des ressources est bien au fondement de l'étude des chaînes opératoires et permet de faire le lien entre les séquences en raisonnant sur les qualités des matières exploitées, des choix opérés au fil des modifications jusqu'aux rejets (Figure 2.2) :

- en partant des choix de matières premières pour renseigner tant les espaces minéraux fréquentés que les choix opérés de matières en fonction des critères d'exploitabilité, c'est-à-dire les « goûts », les possibilités techniques et les objectifs de production ;
- en poursuivant avec les méthodes mises en œuvre pour les exploiter en fonction des propriétés intrinsèques des matières premières ;
- en finissant par les applications qui ont laissé des traces d'usure et des résidus sur les matières supports, intentionnels ou accidentels. C'est en effet à la finalité ou aux finalités que l'on pourra accéder pour autant que ces matières auront été reconnues, identifiées et que leurs propriétés auront été mises en évidence.

En confrontant les matières colorantes collectées au sein de la *Pigmentoθήque* avec les vestiges colorants et colorés de différents sites, nous serons en mesure de présenter les propriétés des matières qui ont été recherchées et qui ont orienté la sélection, voire le tri sur les sites habités.

Pour appréhender ces chaînes d'opérations, de choix, d'objectifs et de réalisations, nous croisons deux axes d'échelles d'analyse en nous intéressant aux formations géologiques riches en oxyhydroxy-des de fer, aux affleurements, à la disponibilité, à l'accessibilité, à la diversité et à la multiplicité de ces nombreuses ressources minérales et aux matières colorantes mises au jour sur les sites en cours d'étude, sous leurs différentes formes : solides et cohésives (blocs et fragments) et déstructurées (résidus sur divers vestiges, imprégnations sédimentaires, matières appliquées volontairement sur divers supports). Ces objets et références géologiques sont déterminés, caractérisés et documentés par leurs caractéristiques visuelles, et mécaniques (résistance), minéralogiques, lithologiques et chimiques pour faire les liens entre la composition, les propriétés physico-chimiques (couleur, résistance, texture, etc.) et les différentes échelles d'observations.

### **2.3 Recherche des sources des matières colorantes**

La question de l'origine et la provenance des matières colorantes utilisées pendant la Préhistoire remonte à la reconnaissance d'un art antédiluvien (Cartailhac & Breuil (1903)), dès les premières analyses cherchant à connaître la nature de ces matériaux, que ceux-ci soient trouvés en contexte archéologique ou sur des parois (Courty (1902), Moissan (1902a), Moissan (1903a)), mais cette question a

rapidement été délaissée jusqu'au début des années 1980. Le développement des outils analytiques a alors permis d'améliorer les connaissances concernant ces matières colorantes, en particulier d'un point de vue structurale (DRX), morphologique (MEB) ainsi que pour accéder à la composition chimique des éléments mineurs et traces (ICP-MS, PIXE, ...) (Lorblanchet *et al.* (1988), Menu & Walter (1992), Weinstein-Evron & Ilani (1994)). Des méthodes isotopiques ont également été mises en œuvre pour tracer les quartz associés aux oxydes de fer (Smith & Pell (1997)). Pourtant l'intérêt pour ces matières colorantes et le potentiel d'information concernant des aspects aussi bien techniques que stratégiques n'a pris de l'ampleur que plus récemment (Salomon (2009), d'Errico *et al.* (2010), Mathis *et al.* (2014), Pradeau *et al.* (2014)). Effectivement, les matières colorantes présentent une grande diversité de natures, de caractéristiques, d'origines ; ce qui leur confère une multitude de qualités sensibles qui n'ont été que peu interrogées au regard de leurs propriétés chimiques et structurales. Seule une approche complète intégrant la compréhension de ces propriétés sensibles en les comparant avec des matières géologiques de référence peut permettre d'aller au-delà de la question de l'origine pour aborder les questions de stratégies et les notions de techno-économie.

Au regard des tentatives (et réussites) d'identification de sources d'approvisionnement des matières colorantes, qu'elles soient des roches ferrugineuses ou manganèuses, il est important de comprendre les difficultés méthodologiques qui rendent particulièrement délicates, d'une part, la description des gisements ou affleurements à partir d'une sélection d'échantillons représentatifs pouvant révéler de grandes disparités et, d'autre part, une interprétation fiable de la présence d'éléments chimiques caractéristiques parfois difficiles à quantifier. L'une des méthodes les plus utilisées pour chercher à identifier ces éléments caractéristiques est de chercher les corrélations existantes entre certains éléments et le fer ou le manganèse. Il semble en effet primordial de distinguer des éléments associés d'une part à la roche encaissante, d'autre part aux différentes phases minérales présentes au sein des roches colorantes et enfin aux oxydes de fer et de manganèse pour :

- singulariser les empreintes chimiques des différentes phases minérales présentes au sein d'une matière première colorante ou d'une matière colorante transformée,
- comparer les matières sur leurs caractéristiques communes, c'est-à-dire sur les caractéristiques chimiques des phases contenant du fer pour éviter de prendre en compte la combinaison des chimies des autres phases minérales contenues dans les matières premières ferrugineuses
- et singulariser l'empreinte chimique des matières déposées ou appliquées sur des supports en évitant les signatures des matières des supports de la coloration et des matières ajoutées après application sur le support.

La méthode mise en place par l'équipe de Popelka-Filcoff *et al.* (2008) est fondée sur la recherche des interdépendances de certains éléments avec le fer. Selon les matières, certains éléments ont teneurs proportionnelles à celles du fer (plus il y a de fer et plus ces éléments sont proportionnellement abondants). De telle sorte qu'en rapportant les teneurs de ces éléments au fer (sous la forme de logarithmes centrés sur le fer), les données ne sont plus tributaires de la grande variabilité de la teneur en fer d'un bloc à l'autre au sein d'une même formation géologique ou d'une zone à l'autre d'un bloc. Ce principe tient au fait que les roches ferrugineuses contiennent, souvent à l'état de trace, des métaux de transition accompagnés de certaines terres rares, car le «comportement» chimique de ces éléments sont proches, c'est-à-dire qu'ils sont solubilisés et précipitent dans les mêmes conditions physico-chimiques (T, red-ox) (par ex. Beauvais (1999) ; Blot (2004)).

Les oxydes de fer présentent ainsi une forte affinité chimique avec les métaux de transition, en particulier avec le vanadium, le chrome, le manganèse, le cobalt, le nickel, le cuivre, le zinc, l'arsenic, le molybdène et l'antimoine, ce qui explique que, fréquemment, la teneur de ces éléments est corrélée à la teneur en fer. De plus, dans le cas des altérites ferrugineuses, les rapports de teneurs élémentaires dans la roche-mère sont le plus souvent conservés dans les faciès altérés, mais dépendant aussi des conditions d'altération auxquelles la roche a été exposée (Smith & Pell (1997), Popelka-Filcoff *et al.* (2012)). Pour définir l'empreinte de chaque matière première ferrugineuse, il convient donc d'identifier les éléments traces corrélés au fer qui contribuent à en définir la signature chimique.

Bien que la constitution de référentiels géologiques soit encore insuffisante, l'accroissement des sources potentielles documentées permet d'appliquer cette démarche à de nombreuses roches colorantes ferrugineuses ou manganées prises dans des contextes divers, qu'il s'agisse de références géologiques ou d'objets archéologiques, mais surtout de comparer les roches archéologiques et géologiques avec des poudres appliquées (peintures ou dessins pariétaux ou mobilier, résidus sur les outils qui ont servi à réduire les roches colorantes en poudre et outils mis en contact avec des poudres colorantes lors de diverses activités).

Documentant des formations géologiques à grande extension géographique, de nombreuses recherches ont permis de restituer une carte chimique des roches riches en oxydes de fer à grande échelle (Smith & Pell (1997), Popelka-Filcoff *et al.* (2012), par exemple). Cependant, dans des contextes géologiques contrastés qui nous intéressent dans le cadre de la *Pigmentothonne*, renfermant de nombreuses unités stratigraphiques à roches riches en (oxydes de) fer et manganèse (formations, membres, bancs remarquables), le nombre d'échantillons à réaliser et à analyser est alors très élevé. De plus, à l'image de l'environnement minéral, on doit s'attendre à ce que les corpus archéologiques révèlent des matières premières diversifiées, ce qui nécessitera de caractériser de nombreux objets ou échantillons.

Par conséquent, pour identifier les sources de matières premières riches en oxy-hydroxydes de fer et manganèse, il convient de référencer de nombreuses sources potentielles au sein des formations qui livrent de telles matières en prenant en considération leurs variations verticales et horizontales. Les résultats les plus prometteurs sont donnés par les travaux qui associent l'analyse de la roche elle-même par pétrographie et la caractérisation géochimique en parallèle d'une documentation précise des différentes formations géologiques susceptibles d'avoir été exploitées à l'échelle régionale.

Le choix des analyses est gouverné par une combinaison de facteurs, dont les plus importants sont la gamme d'éléments mesurés et la précision des mesures, d'une part, l'accessibilité et le coût des analyses, d'autre part, et enfin, la possibilité de modifier, voire de détruire partiellement l'échantillon (tableau 2.1).

Pour définir une démarche idoine, ces différentes méthodes, présentant chacune des avantages et des limites analytiques, sont confrontées en fonction de la nature des matières premières à caractériser et de la nature des échantillons (roches solides, poudres, poudres appliquées), en fonction des questions posées et de la diversité des matières premières dans les corpus archéologiques et dans l'environnement géologique.

On comprend bien alors que ces différents ajustements conduisent à utiliser des dispositifs analytiques différents qui rendent absolument indispensable, pour des comparaisons, le recours à des analyses pivots (communes à une sélection d'échantillons) et à l'emploi de standards qui permettent d'apprécier les précisions des différents dispositifs et d'établir le bien-fondé des comparaisons.



Tableau 2.1 : Observations et analyses des roches colorantes : apports et limites de différentes méthodes.

	Observation à l'oeil nu	Observation sous la loupe binoculaire	Microscopie optique en lumière transmise	Diffraction des rayons X	Diffraction des rayons X sur fraction argileuse	Fluorescence des rayons X (XRF)	Particule Induce X-ray Emission (PIXE)	Laser ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS)
Caractéristiques observées ou analysées	Couleur, dureté, homogénéité, inclusions remarquables	Minéraux reconnaissables, figures texture	Granulométrie, texture, structure, ciment, matrice, éléments figurés...	Qualitatif, semi-quantitatif phases cristallines	Qualitatif/semi-quantitatif phases argileuses	Analyse élémentaire quantitative	Analyse élémentaire quantitative	Analyse élémentaire quantitative
Préparation	Aucune	Aucune	Lame-mince (après imprégnation en résine), couverte ou non, sciage	Réduction en poudre	Réduction en poudre, décantation	Aucune	Aucune	Aucune, mais analyse possible sur lame-mince non-couverte, micro-destructive
Contrainte	Aucune	Aucune	Destruction du bloc lors de la préparation	Destruction du bloc lors de la préparation	Destruction du bloc lors de la préparation	Obtenir l'accès aux appareillages + multiplier le nombre de points	Obtenir un accès à des appareillages + multiplier le nombre de points	Obtenir l'accès à des appareillages
Coût	Aucun	Aucun	15-30 € par lame-mince	?	?	Obtenir l'accès aux appareillages	Obtenir un accès à des appareillages	30-100 € / échantillon
Temps	Quelques minutes	Quelques minutes	Observation : quelques heures. Préparation : plusieurs jours	Plusieurs heures + identification	Plusieurs heures + identification	2-5/point + dépouillement + traitement statistique	15 min/point + dépouillement + traitement statistique	?
Surface/volume analysé/observé	Toute la surface	Toute la surface	Tranche de 5-6 cm de long par 30 µm d'épaisseur	0,3 cm <sup>3</sup> de poudre environ	Fonction de la teneur en argiles	Environ 0,5-1 cm <sup>2</sup>	Surface analysées ajustables de 10 µm à 5 mm de diamètre x max 10 µm de profondeur	100 µm de diamètre
Nombre d'analyses / objet	1	1	1	1	1	Au moins 3 points	Au moins 3 points	3 points à plusieurs profondeurs
Échantillonnage	Toute la collection	Toute la collection	Quelques pièces brutes	Quelques pièces brutes	Quelques pièces brutes	Vaste corpus dont échantillons préparés et pièces facettées	Sélection dont échantillons préparés et pièces facettées	Petite sélection dont pièces facettées
Particularités	Qualité des matières premières	Structure des matières premières	Géologie	Phases cristallines	Fraction argileuse	Empreinte chimique moyennée sur 1 cm <sup>3</sup> environ	Empreinte chimique, analyses ponctuelles ou cartographies élémentaires	Empreinte chimique. Quantification des terres rares (REEs). Analyse ponctuelle
Apports	Premier tri du corpus	Première détermination des roches	Détermination des roches, de leur genèse, de leur fraîcheur et de leur parenté	Identification des minéraux	Identification des minéraux argileux	Quantification de la plupart des éléments majeurs et mineurs et de quelques traces à partir du calcium	Quantification de la plupart des éléments majeurs et mineurs et de quelques traces ; limites de détection faible	Quantification de tous les éléments, limites de détection très faibles
Limites	Premier examen peu informatif	À comparer avec des références géologiques	Limité à peu de pièces	Limité à peu de pièces, difficile de déterminer plusieurs phases ferrugineuses qui cohabitent. Pas d'empreinte pour les OIS	Limité à peu de pièces, difficile de déterminer plusieurs phases argileuses qui cohabitent. Pas d'empreinte pour les OIS	Éléments légers et traces pas ou mal dosés	Dépend de l'appareillage µPIXE très précis ; demande à multiplier le nombre de points sur des roches hétérogènes	Nombre réduit d'échantillons/pièces ; relativement coûteux

## 2.4 Les limites actuelles

D'après les différentes études cherchant à trouver des correspondances entre des matières colorantes archéologiques et une source d'approvisionnement, la méthode basée sur la corrélation d'éléments traces avec le fer ou le manganèse semble être la plus répandue et la plus prometteuse car elle permet de discriminer des grandes familles de formations de ces roches (Weinstein-Evron & Ilani (1994), O'Neill *et al.* (2004), Creagh *et al.* (2007), Jezequel *et al.* (2011), Beck *et al.* (2012), Bonneau *et al.* (2012), Mathis *et al.* (2014), Scadding *et al.* (2015), Zipkin *et al.* (2017)).

Cependant, la robustesse inégale des techniques analytiques utilisées ne permet pas toujours des comparaisons d'une étude à l'autre. En particulier, lorsque les zones de mesure ne sont pas identiques en position et en taille, ou si la préparation de l'échantillon diffère d'une technique à l'autre, ces comparaisons nécessitent l'utilisation systématique de protocoles rigoureux et similaires, ainsi que l'utilisation d'échantillons de référence identiques.

En effet, les concentrations élémentaires ne sont pas toutes dosées avec la même précision, certaines n'étant pas mesurées avec certains dispositifs analytiques. De ce fait, le croisement des différentes méthodes est rendu nécessaire et justifie que soient décrites et documentées les caractéristiques pétrographiques, cristallographiques et élémentaires des matières premières. Différentes méthodes d'observation et d'analyses ont été menées ou seront utilisées dans le cadre du PCR et dont les caractéristiques techniques et pratiques d'une part, et d'autre part, les apports et limites, sont synthétisés dans le tableau 2.1. L'étude des sources de matières premières colorantes repose en premier lieu sur une très bonne observation et description du matériel géologique frais et altéré prélevé sur le terrain. Ce type d'examen procure les meilleurs résultats en contrôlant un ensemble de paramètres relatifs à la genèse et à la position stratigraphique des ressources (stratigraphies, effets de site, patine, géomorphologie, documentation géologique, limites analytiques...).

Tous les outils, de l'œil à l'analyse élémentaire, doivent être intégrés pour relier les différentes échelles d'observation et d'analyse. Mais, bien entendu, les résidus, les imprégnations sédimentaires et les poudres appliquées ne peuvent être caractérisés par de simples observations et descriptions. La destruction de la roche initiale fait perdre l'une des caractéristiques les mieux reconnaissables des matières premières.

Par ailleurs, certains corpus de matières colorantes cohésives mises au jour sur des sites paléolithiques et néolithiques, ne sont composés que de très petits fragments dont les caractéristiques lithologiques sont difficiles à décrire, ou au sujet desquelles nous formulons de nombreux doutes (Castellar et Pendimoun, Régismont-le-Haut, la grotte aux Points, la baume d'Oulens, par exemple). S'agit-il de matières colorantes d'origines différentes ou de variations lithologiques au sein d'une même géomatière qui a autrefois été réduite en poudre ou à l'état de très petits débris ? C'est pourquoi nous complétons les observations par des analyses. Mais toutes ne permettent pas de répondre aux questions d'identification des matières premières ou de provenance.

Les analyses élémentaires par fluorescence des rayons X (XRF) permettent d'analyser de larges corpus, car les temps d'acquisition sont courts et cette méthode ne requiert pas ou peu de préparation des échantillons. Ces faits expliquent que cette méthode soit particulièrement prisée. En revanche, si chaque étude menée avec un appareillage différent dans des conditions expérimentales différentes apporte des données nouvelles et répond à une question ponctuelle (compatibilité chimique des matières premières comparées, discrimination entre certaines matières premières, présence de certains éléments diagnostiques, etc.), les résultats de différentes campagnes d'analyses ne peuvent pas être

comparés les uns aux autres. C'est pourquoi un gros effort méthodologique doit être consenti pour calibrer les appareils afin qu'ils ne fonctionnent pas comme s'il s'agissait d'analyser des produits normalisés issus de la production industrielle actuelle (contrôle qualité des produits). Cette méthode ne permet pas d'identifier les principaux éléments traces souvent les plus discriminants car les limites de détection des appareils sont assez élevées (Chanteraud *et al.* 2021).

## 2.5 Définir les objectifs des exploitations de matières colorantes

Au vu des ces nombreuses limites, la *Pigmentoθήque* est un outil relié aux collections archéologiques et à d'autres matériauthèques du patrimoine. Elle sert de support aux problématiques concernant les modalités de gestion des ressources colorantes et, potentiellement peut ponctuellement accompagner les travaux en archéoméallurgie pour ce qui est des ressources e minerais de fer.

Car, pour aborder les questions de provenance, il est indispensable

1. d'avoir recours à des références richement documentés, représentant la diversité et la variabilité des matières : pour ce qui est des matières colorantes, les références font encore défaut, même si, la documentation s'enrichit rapidement ces dernières années sous l'impulsion du PCR *Pigmentoθήque* ;
2. de connaître de manière approfondie les matières colorantes pour en apprécier les propriétés exploitables (ce pan de la recherche reste encore lacunaire) ;
3. de connaître aussi les propriétés intrinsèques qui font ces matières, c'est-à-dire les lithologies, leur minéralogie, leur géochimie et leur genèse, ce qui, en revanche s'est beaucoup développé depuis une dizaine d'années.

La *Pigmentoθήque* a donc vocation à soutenir les recherches concernant la restitution des ressources exploitées, les sens des déplacements, les espaces minéraux fréquentés, les critères passés de sélection des matières qui éclairent sur les objectifs de productions et des utilisations. Pour ce dernier point, la *Pigmentoθήque* sert aussi à renseigner sur les propriétés mécaniques, visuelles et texturales des roches (critères sensibles et d'exploitabilité) afin d'accompagner les expérimentations en cours et à venir (*cf.* Chapitre 5).

L'étude des matières premières colorantes et de leurs provenances se place en effet de manière cruciale au commencement de l'analyse des chaînes opératoires car en documentant les différentes ressources en roches riches en oxydes de fer ou de manganèse il devient possible de définir quelles matières premières avaient été choisies parmi les autres ressources disponibles. Ces ressources documentées sont systématiquement confrontées à des collections archéologiques (qui sont étudiées dans le cadre d'autres projets). En analysant les techniques de transformation des matières colorantes cohésives mises au jour sur ces nombreux sites archéologiques, il nous est possible d'identifier les savoir-faire propres à des groupes humains et d'apprécier de manière objective leurs connaissances des propriétés visuelles, texturales, mécaniques et chimiques des matières colorantes exploitées (dures, tendres, cassantes, compactes, résistantes, mais aussi leur couleur, leur pouvoir colorant, etc.). Cet aller-retour permet de renseigner sur les propriétés privilégiées selon les procédés d'obtention des produits (diverses poudres) et selon les activités (utilisation de la couleur, traitement d'autres matières), sur l'organisation de la production et sur la transmission des conventions culturelles et sociales.

La documentation de la pluralité et de la diversité des ressources oriente ainsi non seulement notre compréhension des techniques mises en œuvre pour les traiter mais aussi notre compréhension des qualités sensibles (visuelles, texturales, mécaniques) du produit fini recherché pour l'utilisation. Or, comme on le sait désormais, les matières colorantes n'ont pas été utilisées exclusivement dans le domaine des expressions décoratives/esthétiques voire rituelles (grottes ornées, art mobilier et sépultures) mais aussi dans la sphère des activités domestiques. C'est du moins ce que l'on est amené à interpréter en analysant les assemblages très abondants de roches colorantes issues des sites d'habitat (Ormesson, la Grotte du Renne à Arcy-sur-Cure, Régismont-le-Haut, etc.)

En somme, la *Pigmentotheque* en construction est un outil en support des recherches menées sur de nombreuses collections archéologiques. Cet outil ne pourrait exister sans questionner les matières colorantes découvertes sur les sites archéologiques qui révèlent des vestiges de différents types (roches solides brutes, fragmentées, facettées, incisées, raclées, mais aussi des résidus sur différents outils et des applications volontaires sur des objets décorés mobiliers ou sur des parois de grottes). Et inversement, cet outil se nourrit des découvertes archéologiques, de l'étude des assemblages mis au jour sur les sites préhistoriques. En particulier, pour apporter des éléments de réponse aux questions de stratégies d'approvisionnement en matières premières colorantes, nous opérons un aller-retour entre les différents contextes géologiques prospectés et les collections archéologiques qui sont actuellement étudiées par les membres du projet.



## Partie 3

### Point sur les matières minérales colorantes riches en fer

Cette partie de synthèse est intégrée à l'article publié dans le *Journal of Lithic Studies*, (Salomon et al. 2021). Nous avons choisi de présenter ici la version française, le lecteur pouvant se référer à la version anglophone en *open access*.

Les matières colorantes contiennent un pigment minéral. La poudre extraite peut transmettre sa couleur à une autre matière, soit en recouvrant la couleur initiale, soit en la transformant dans la masse (Pradeau (2015), p. 35-36). La grande diversité des matières utilisées durant la Préhistoire (Onoratini (2002)) tient autant à leur nature qu'aux très nombreux contextes de formation : oxy(hydroxy)des de fer (rouges, bruns, orangés, violacés, noirs) ou de manganèse (bruns et noirs) et roches composées ou colorées par ces minéraux. L'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) rouge plus ou moins sombre à violacée, la goethite ( $\text{FeO-OH}$ ) jaune à brune et divers mélanges d'oxy(hydroxy)des de fer plus ou moins hydratés et cristallisés (anciennement appelés limonite) sont fréquemment associés (Cornell & Schwertmann (2003)). Quant aux composés du manganèse, noirs, ils se déclinent sous forme de nombreuses variétés minéralogiques d'oxydes et d'hydroxydes purs ou enrichis en baryum et autres cations (Chalmin (2003)). Même si les couleurs principales sont peu nombreuses, il existe un large éventail de nuances dues à la cristallinité des minéraux, leur granulométrie, leurs proportions relatives, la porosité et à des mélanges avec d'autres phases minérales au sein des roches (Rouhtier (1963); Triat (2010); Cornell & Schwertmann (2003); Salomon (2019)). Le terme d'ocre est souvent utilisé dans un sens très étendu pour désigner toutes les matières minérales colorantes riches en oxy(hydroxy)des de fer (voire manganèse, ou kaolin pour certains) quelle que soit leur couleur (Brooks *et al.* (2018); David *et al.* (2019); Mackay & Welz (2008); Watts (2002); Wreschner (2002)). Ou bien elles sont définies dans un sens plus restreint, comme un mélange naturel de minéraux argileux et d'ox(hydroxy)des de fer, contenant éventuellement du quartz (Bar-Yosef Mayer *et al.* (2009); Cavallo *et al.* (2017); Cuenca-Solana *et al.* (2016); d'Errico *et al.* (2012); Dayet *et al.* (2017); Eiselt *et al.* (2011); Glavenchuk (2012); Henshilwood *et al.* (2011); Hodgskiss & Wadley (2017); Hovers *et al.* (2003); Iriarte *et al.* (2009); MacDonald *et al.* (2018); Popelka-Filcoff & Charrison (2012); Rifkin (2012); Rosso *et al.* (2014); Sajó *et al.* (2015); Velliky *et al.* (2018); Wadley (2013); Zipkin *et al.* (2017)). Cependant, les contextes de formation des matières colorantes, qu'ils soient sédimentaires (marin, continental ou altéritique), associés à une activité magmatique, métamorphique ou hydrothermale, voire combinés, sont véritablement pluriels impliquant des cortèges minéraux différents. C'est pourquoi ce terme d'ocre ne permet pas de décrire l'ensemble des matières minérales colorantes riches en fer, pas plus qu'il ne renseigne sur leur couleur. Il ne peut donc pas se substituer à des termes plus précis. La grande diversité génétique et évolutive des matières colorantes en fait d'excellents géomarqueurs (Blot (2004); Dayet *et al.* (2017); Denayer (2016); Goemaere *et al.* (2016); Jébrak & Marcoux

(2008); Pradeau *et al.* (2016); Rossi & Gasquet (2014); Thiry *et al.* (2006)).

Les formations riches en fer peuvent être classées en trois grands types fondés sur les mécanismes à l'origine de la ségrégation du fer (Fig. 3.1) :

### 3.1 Type I : formations riches en fer sédimentaire

Le type I regroupe le fer sédimentaire : dans les *formations sédimentaires* (Fig. 3.1 n°1), le fer s'est déposé en même temps que le sédiment ou a été mobilisé lors de la diagenèse (Denayer (2016); Jébrak & Marcoux (2008); Rossi & Gasquet (2014)).

- Le **fer rubané** (Banded-Iron Formation BIF) est une roche du Précambrien formée par précipitation chimique du fer et de la silice, faite d'une succession répétitive de lamines d'oxydes de fer (hématite ou magnétite) souvent noires à argentées, de shales carbonatés et de cherts rouges (Fig. 3.2 a et b). Le fer peut également se trouver sous la forme de carbonate (sidérite), silicates (greenalite ou minnesotaite), ou de sulfures (pyrite). C'est le minerai de fer le plus exploité au monde notamment dans les affleurements australiens, canadiens et africains (Cornell & Schwertmann (2003); Jébrak & Marcoux (2008); Robb (2005)).

- Les **oolithes ferrugineuses** (Fig. 3.2 c et d), ou minerais de fer oolithique, sont des roches sédimentaires typiquement d'âge phanérozoïque contenant du fer issu de l'altération continentale. Elles forment fréquemment des unités lenticulaires rouges à brunes riches en oolithes interstratifiées avec des roches carbonatées, argileuses ou gréseuses déposées dans des environnements marins peu profonds et très rarement en milieu lacustre (Cornell & Schwertmann (2003); Denayer (2016); Dreesen *et al.* (2016); Robb (2005)). Les oolithes sont des grains revêtus de moins de 2 mm dont le cortex ou le nucleus est composé d'oxydes ferriques (goethite, hématite), de carbonate de fer (sidérite), de silicates de fer (berthiérine) ou de chlorites ferrifères (chamosite). Les oolithes ferrugineuses sont divisées en deux types (Clinton et Minette) en fonction de leur composition et de leur mode de formation (Dreesen *et al.* (2016); Evans (1993)). Par exemple : Ordovicien en Normandie (Goemaere *et al.* (2016); Dreesen *et al.* (2016)), Dévonien dans l'Eifel et en Belgique (Billard *et al.* (2016); Goemaere *et al.* (2016); Dreesen *et al.* (2016); Denayer (2016); FIGURE), dans l'Hettangien (Ardèche, Cayeux (1909)), dans le Toarcien où l'on peut trouver des oolithes à ammonites (Galbrun *et al.* (1994)), dans le Bajocien supérieur en Normandie (Pavia *et al.* (2002)), et dans l'Aalénien et le Bajocien où l'on rencontre de la Minette (Waterlot *et al.* (1973); Dreesen *et al.* (2016)).

- Les **marnes, argilites, siltites et grès ferrugineux** (Fig. 3.2 e et f) sont des formations sédimentaires continentales ou marines rouge ou jaune significativement visibles dans le paysage. Ces roches se sont formées principalement au Paléozoïque supérieur, au Mésozoïque inférieur, et au Cénozoïque supérieur. Le fer, d'origine détritique et diagénétique, cimente les grains et imprègne le sédiment. Les oxy(hydroxy)des de fer diagénétiques, authigènes et automorphes, se forment par oxydation de minéraux préexistants comme la magnétite, la biotite, l'ilménite ou par pseudomorphose de goethite, biotite ou pyrite (Cornell & Schwertmann (2003); Vinchon (1984)).

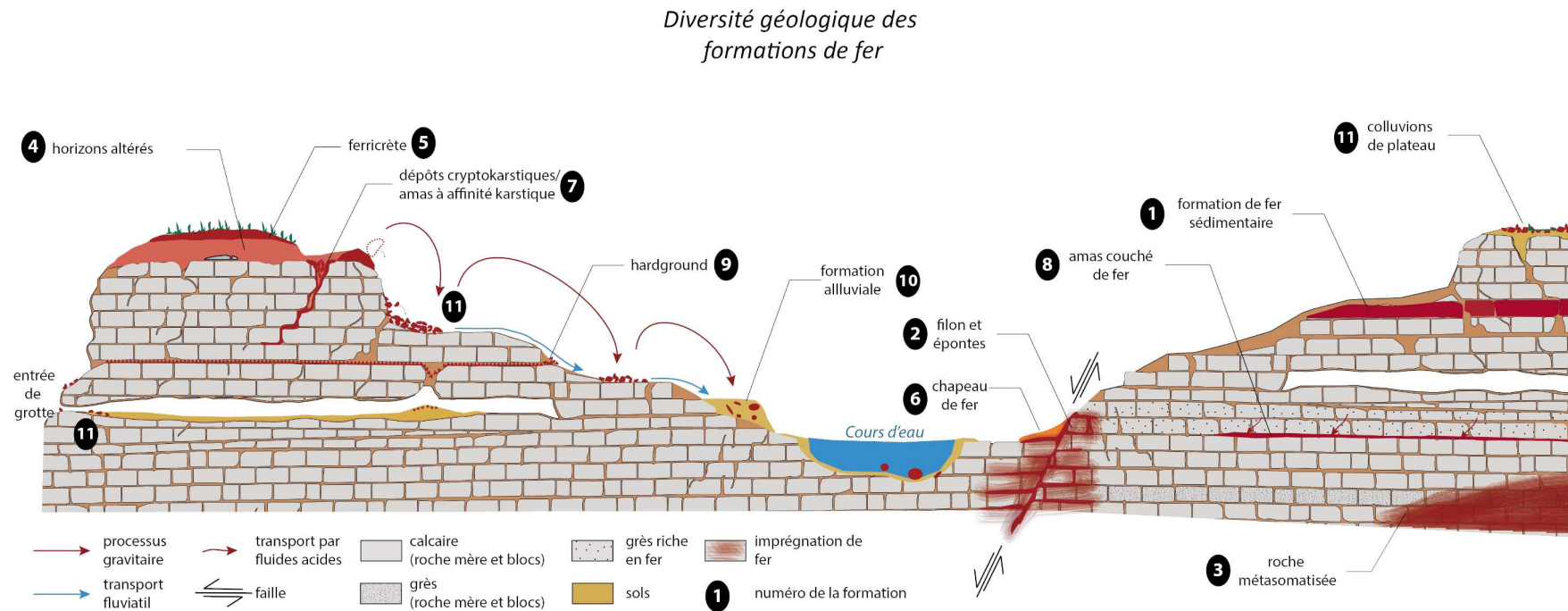


Figure 3.1 : Schéma représentant la diversité des formations riche en fer et leur évolution. Sans prétendre à l'exhaustivité, ce schéma illustre les principaux types de formation et de processus d'altération en prenant en compte la notion de chaîne évolutive (Fernandes & Raynal (2006)). DAO : C. Chanteraud et A. Chassin de Kergommeaux, modifié d'après Chanteraud (2020).



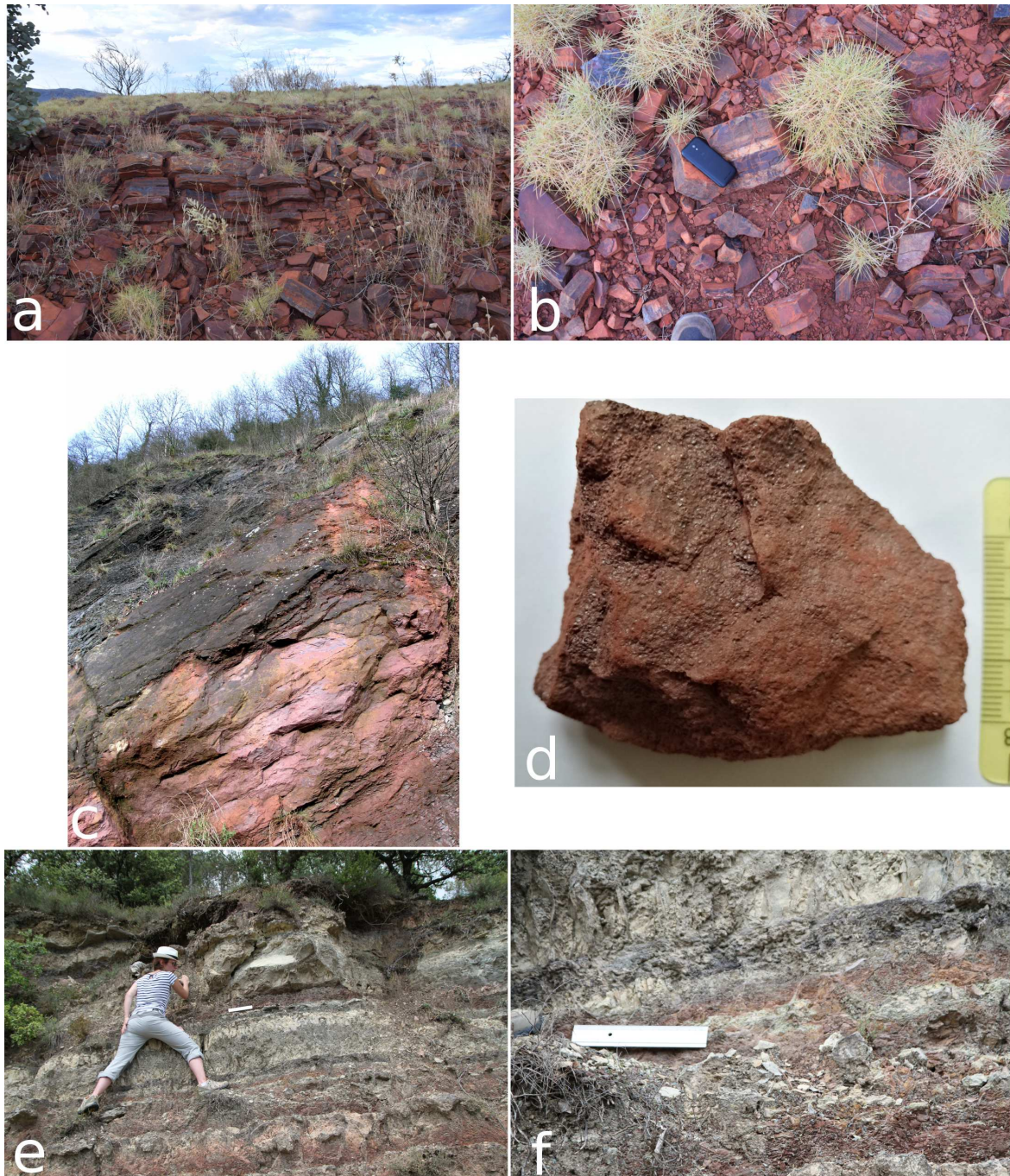


Figure 3.2 : a-b) Banded Iron Formation, Rio Tinto's Marandoo mine, Western Australia, c-d) Oolitic ironstone (hématite oolithique) intercalée entre des bancs de shales du Frasnien et du Famennien, Huy, Belgique, e-f) Marnes ferrugineuses et calcaire du Lias insterstratifiés, Molière, Gard, France. Photos : a & b : A. Chassin de Kergommeaux, c - f : H. Salomon.

- D'autres formations **sédimentaires** plus ponctuelles, principalement **continentales**, voient la genèse de matières riches en oxy(hydroxy)des de fer. Les fers des marais (bog iron stone; Denayer *et al.* (2011); Thelemann *et al.* (2017)) sont le résultat de précipitations de fer récentes voire sub-actuelles suite à des réactions d'oxydo-réduction dans les lacs ou les marais de l'hémisphère nord (Stanton (1972)).

### 3.2 Type II : formations riches en fer associées à des minéralisations

Le type II runit les formations associées à des **minéralisations**. Elles correspondent à un remplissage de fracture ouverte (diacalse, faille...) par des minéraux précipités à partir de fluides aqueux chauds (filon hydrothermal, Fig. 3.1 n°2 et 3, Fig. 3.3 a - d), même si les dépôts syndiagenétiques peuvent être stratiformes. Le fer y est souvent associé aux Pb, Zn, Ag, Sb, Ba, Au, Cu... (Blot (2002); Jébrak & Marcoux (2008); Kholodov *et al.* (2012); Rossi & Gasquet (2014)). Les gîtes sont de faible extension géographique, d'ampleur hectométrique, et leur localisation sur les cartes géologiques n'est pas toujours précisée sauf en cas d'exploitation minière bien documentée. C'est alors la matière extraite, plutôt que la composition minéralogique du corps métallogénique qui est indiquée.

Il en existe différents types, comprenant les minéralisations de fer-plomb-zinc et les Iron-Oxyde-Copper-Gold-Deposites (IOCG), essentiellement composés d'oxyde et de sulfure de fer (Rossi & Gasquet (2014)). Par métamorphisme de contact, les fluides minéralisateurs imprègnent sur quelques centimètres la roche encaissante aux épontes (Fig. 3.1 n°2).

Des roches peuvent également être imprégnées par des oxydes de fer à plus ou moins grande échelle, ce qui est dû à de la métasomatose par percolation ou diffusion comme les calcaires ferruginisés de Pierremorte (Gard, Fig. 3.1 n°3 et Fig. 3.3 e et f). Le fer peut soit provenir d'apports extérieurs soit de minéraux préexistants dans la roche encaissante (Jébrak & Marcoux (2008)).

Les minerais de fer des sources, ou sources ferrugineuses (Denayer *et al.* (2011)) apportent à la surface du fer mobile qui s'oxyde et précipite en formant des encroûtements. Des bactéries contribuent à l'oxydation et la minéralisation du fer présent en forte concentration dans l'eau (James & Ferris (2004); Mustoe (1981)).

### 3.3 Type III : fer concentré par l'altération météorique de roche préexistante

**Type III** : Dans ces formations, le fer est concentré suite à l'altération continentale de roches pré-existantes selon le processus suivant favorisé et amplifié sous climat chaud et humide (Beauvais & Colin (1993); Triat (2010); Kholodov *et al.* (2012); Widdowson (2007); Fig. 3.1 n°4, 5 et 7, Fig. 3.4) :

- 1- infiltration d'eaux météoriques, activité biologique et hydrolyse induisant le lessivage des sols et des roches ;
- 2- dissolution des minéraux riches en fer (glaucosite, pyrite, chlorite, phyllosilicates...) et transport des ions fer ;



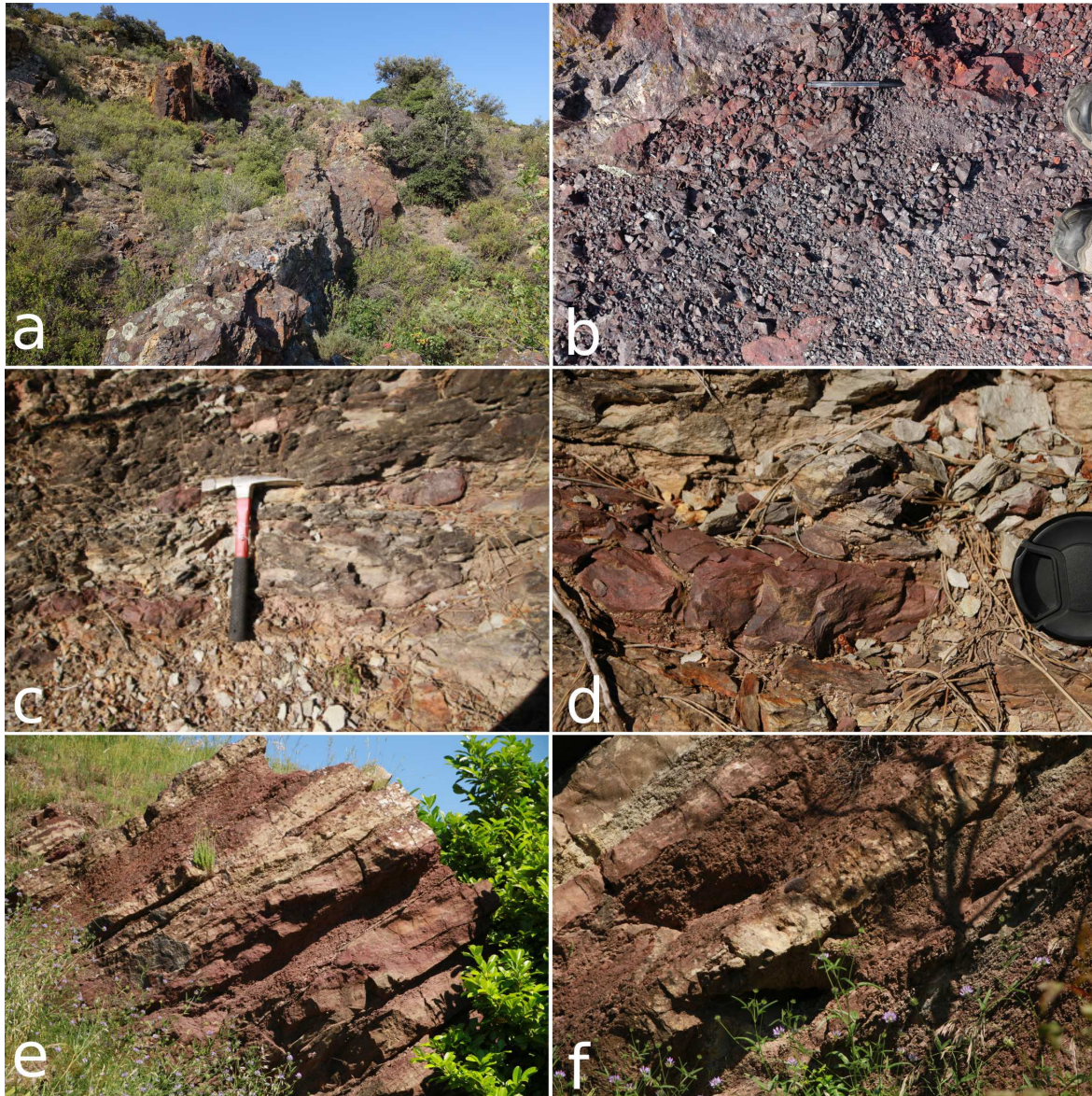


Figure 3.3 : a-b) Veine hydrothermale d'hématite et quartz au contact entre les marnes-gypse dur Trias et diverses formations carbonatées du Jurassique inférieur, Lesquerde, France, c-d) Veine d'hématite hydrothermale dans un grès arkosique du Trias, Bordezac, France, e-f) Veine d'hématite stratiforme et calcaire calovien métasomatisé, Pierremorte, France. Photos : H. Salomon.

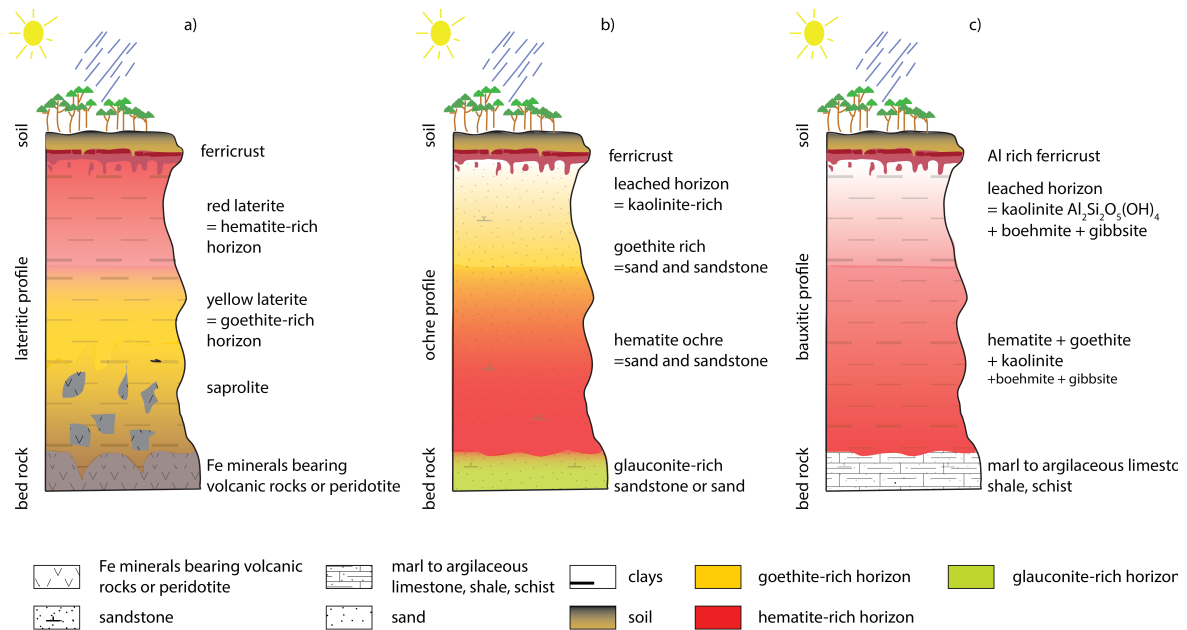


Figure 3.4 : Profils d'altération : a) latérite, b) ocre, c) bauxite. DAO : A. Chassin de Kergommeaux (d'après Coquinot & Salomon (2013); Triat (2010)).

3- dépôt, concentration, piégeage du fer lorsque les conditions Eh/pH changent, au contact soit de roches carbonatées (calcaire, dolomie), soit de lithologies différentes et précipitations du fer sous forme de sulfures et carbonates qui s'oxydent (goethite, hématite).

Ces modifications laissent place à des formations constituées de superpositions d'horizons lessivés et d'horizons plus ou moins enrichis en fer, avec des cuirasses ou ferricrêtes (ou croûtes) indurées riches en fer, des horizons à pisolithes et lithoclastes ferrugineux, des horizons argilo-ferrugineux et des horizons mobilisant des fragments de roche mère altérés (Fig. 3.4).

### 3.3.1 Type IIIA : fer dans les profils d'altération

Les profils d'altération (Triat (2010) : Fig. 10 p. 123) sont souvent appelés indifféremment latérites ou altérites, voire sols ferrallitiques (Fig. 3.4).

- **Altérite** (Beauvais & Colin (1993); Gourdon-Platel *et al.* (2000)) : horizons d'altérations en place sur la roche mère dont ils sont issus, conservant l'architecture et contenant souvent des fragments de la roche mère remaniée avec des minéraux hérités, des minéraux néoformés dont des oxy(hydroxy)des de fer et diverses concrétions (Lozet & Mathieu (2002)).

- **Ferricrête** : synonyme de « cuirasse ferrugineuse » au sein de profils d'altération plus ou moins développés (Fig. 3.5 c et d; Widdowson (2007)).

- **Latérite** (Fig. 3.1 n°4, Fig. 3.4 a) : Il s'agit d'une roche d'altération superficielle de roches magmatiques riches en minéraux ferromagnésiens, fortement évoluées dans un contexte tropical humide ou équatorial, et ayant subi une altération chimique intense. Elle est caractérisée par un profil pédologique composé d'horizons superposés enrichis en aluminium et en fer sous forme de gibbsite, kaolinite, oxydes et hydroxydes de fer. A la base du profil, les fragments de roche mère sont nombreux

(saprolite). Le profil est surmonté par une cuirasse ferrugineuse lorsqu'il est exposé à des alternance d'humectation et dessiccation (Beauvais & Colin (1993); Beauvais (1999); Lozet & Mathieu (2002); Pavia *et al.* (1971); Triat (2010)).

- **Ocres** (Fig. 3.4 b, Fig. 3.5 e et f) : Les ocres sont un faciès de sable/grès glauconieux (donc d'origine marine), altéré en contexte continental sous un climat chaud et humide lors d'un processus de latéritisation. Le fer provient principalement de l'hydrolyse de la glauconite en kaolinite. Cette altération a profondément changé la minéralogie et la composition de la roche d'origine ; enrichissement en kaolinite (et autres minéraux riches en alumine) mais aussi en différents oxydes et hydroxydes de fer (Guendon & Parron (1985); Onoratini (2002); Triat (2010)).

- **Terra rossa** (Fig. 3.1 n°4, Fig. 3.5 g et h) : Terme peu usité, désignant des argiles rouges, résidus de la dissolution des calcaires et dolomies (décarbonatation), avec appauvrissement en  $\text{SiO}_2$ , et enrichissement en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Les terra rossa se développent au sommet de bancs carbonatés. Cette altération (fersiallisation) est caractéristique des climats sub-tropicaux ou méditerranéens, chauds à saisons contrastées (Lozet & Mathieu (2002)).

- **Amas à affinité karstique** (Fig. 3.6 a) : altération directe des calcaires en argiles riches en fer et croûtes ferrugineuses présentes en surface ou sous forme de placage au fond des dépressions et cavités karstiques (Salomon & Pomel (2005)). La structure bréchiq ue résulte de la fragmentation des dépôts ferrugineux accumulés dans le karst (Fig. 3.6 a-4).

- **Bauxite** (Fig. 3.7 a et b) : Roche sédimentaire ou résiduelle composée d'oxy(hydroxy)des d'aluminium, accompagné d'oxy(hydroxy)des de fer, de minéraux argileux (kaolinite), et titanés (rutile, anatase). De structure variable souvent pisolithique, elles ont deux origines : autochtone (primaire) issue de l'altération de type latéritique en place de la roche mère (marne/calcaire argileux et argilite/schiste), ou allochtone (resédimentée) issue du transport des éléments de couches d'altération ferrallitique, redéposés à l'aval du bassin-versant souvent dans les karsts et altérés de nouveau (de Lapparent (1930); Guendon & Parron (1985); Nicolas (1968); Valetton (1996)).

- **Fer sidérolitique** ou Bohnertz : le terme « sidérolitique » renvoie à la fois à un découpage stratigraphique abandonné depuis plusieurs dizaines d'années, correspondant à une période marquée par de fortes altérations continentales remontant à l'Eo-Oligocène, et aux produits de cette altération (cuirasses latéritiques) plus ou moins remaniés, et éventuellement stockés dans des poches karstiques (*cf.* type III C : amas cryptokarstiques). Il s'agit de pisolithes de goethite et d'hématite emballés dans des argiles souvent ferrugineuses (Gourdon-Platel & Lambert (1986); Gourdon-Platel *et al.* (2000); Gourdon-Platel *et al.* (1996); Rosenthal (1991); Simon-Coinçon *et al.* (2000); Thiry *et al.* (2006)).

### 3.3.2 Type IIIB : minéralisations altérées

Les roches et minéraux formés dans les situations précédemment exposées peuvent ensuite évoluer et être significativement modifiées par des altérations météoriques. Ils sont appelés **chapeaux de fer** ou *gossan* (Fig. 3.1 n°6) : Lorsque les filons atteignent la surface, des chapeaux de fer se forment, sièges d'altération météorique favorisant l'oxydation des sulfures en oxy(hydroxy)des de fer au contact de l'eau atmosphérique. Dans les niveaux inférieurs les conditions d'oxydo-réduction deviennent réductrices entraînant la précipitation massive des éléments lessivés (Pb, Zn, Cu) dans les couches supérieures créant une zone de cémentation caractéristique (Rossi & Gasquet (2014); Blot (2004); Jébrak & Marcoux (2008); Kholodov *et al.* (2012)).



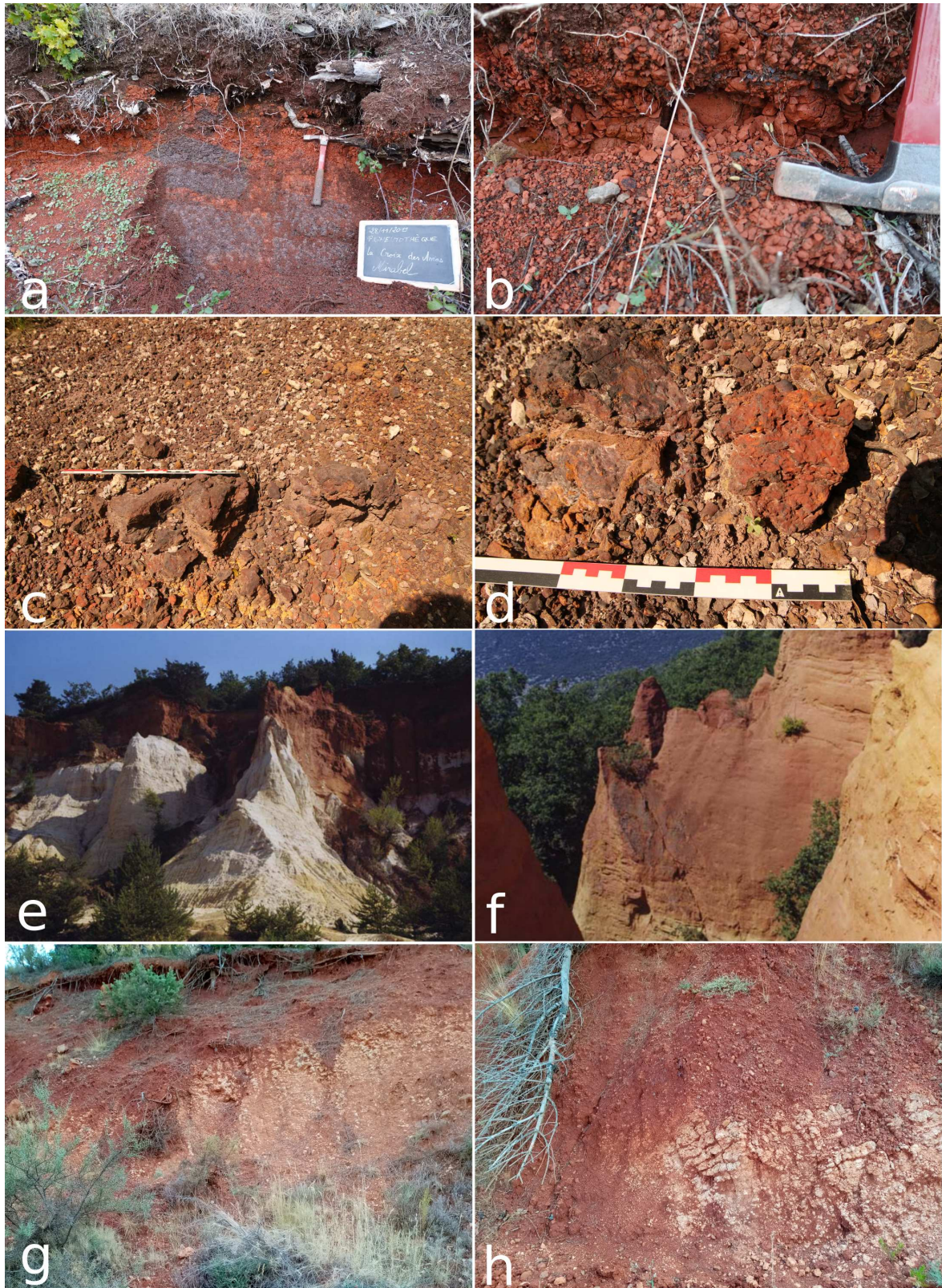
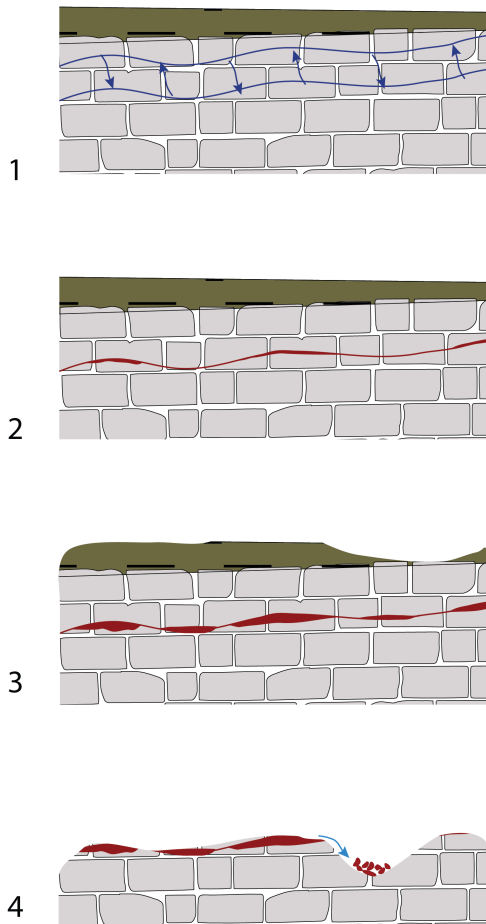


Figure 3.5 : Formation d'oxydes de fer dans des profils d'altération : a-b) Paléosol formés sur une coulée basaltique, Mirabel, Ardèche, France, c-d) Cuirasse ferrugineuse formée dans les dépôts sableux du Cenomanien. Le profil contient des horizons riches en kaolinite et des horizons de sable et grès ferrugineux, La Capelle-et-Masmolène, France, e-f) Profil des ocres issues de l'altération de sables glauconieux de l'Albien et du Cenomanien, Roussillon, Vaucluse, France, e) en haut : cuirasse ferrugineuse sous laquelle apparaît un horizon de sable argileux riche en hématite; en bas : horizon lessivé de sable kaoliniteux, f) horizons jaunes riches en goéthite et rouges riches en hématite, g-h) Terra Rossa formée sur un banc de marne calcaire du Gargasien-Clansayésien supérieur, Maury, Pyrénées-orientales, France. Photos : H. Salomon.



## a) weathering iron deposit



## b) cryptokarstic formation

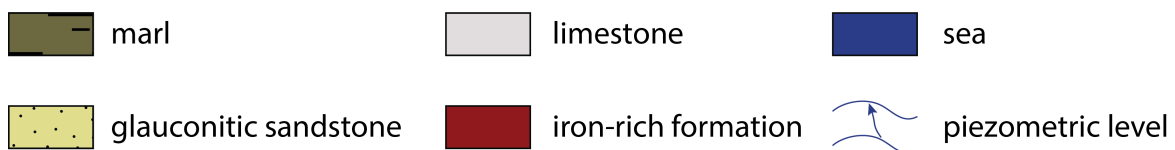
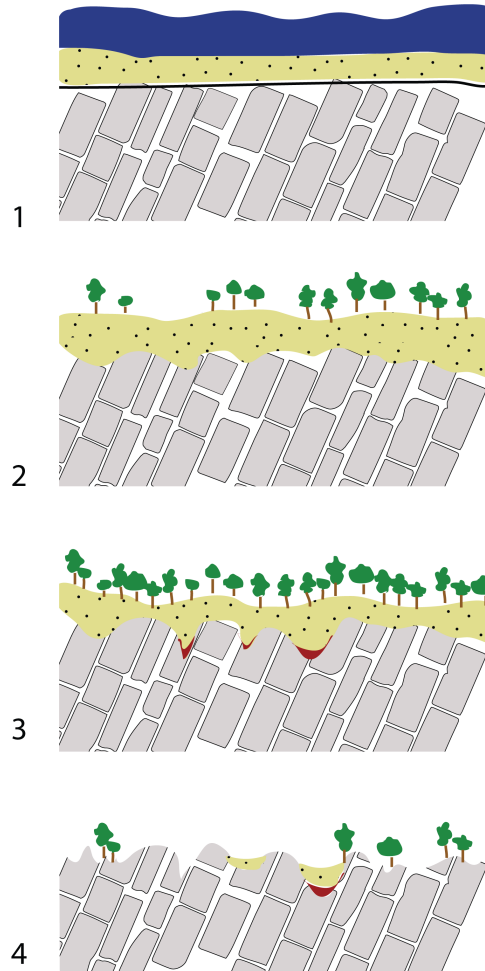


Figure 3.6 : Formation de a) dépôts ferrugineux issus de l'altération dans un karst : 1-2) altération directe de calcaire en minéraux argileux riches en fer, 3) lessivage et précipitation de fer au contact de strates ou dans les karsts, 4) érosion de la partie supérieure des strates, précipitation et accumulation du fer dans les dépressions karstiques ; b) dépôts cryptokarstiques de fer : 1) dépôt de sable riche en glauconite sur une strate calcaire, 2) croissance d'une végétation tropicale – lessivage du fer par percolation d'eau acides, altération du calcaire et formation de cryptokarsts, 3) le climat tropical humide accélère la karstification et la précipitation du fer au contact entre le grès glauconieux et le calcaire, 4) érosion quaternaire et altération de des formations riches en fer. DAO : A. Chassin de Kergommeaux (after Quinif (1993)).



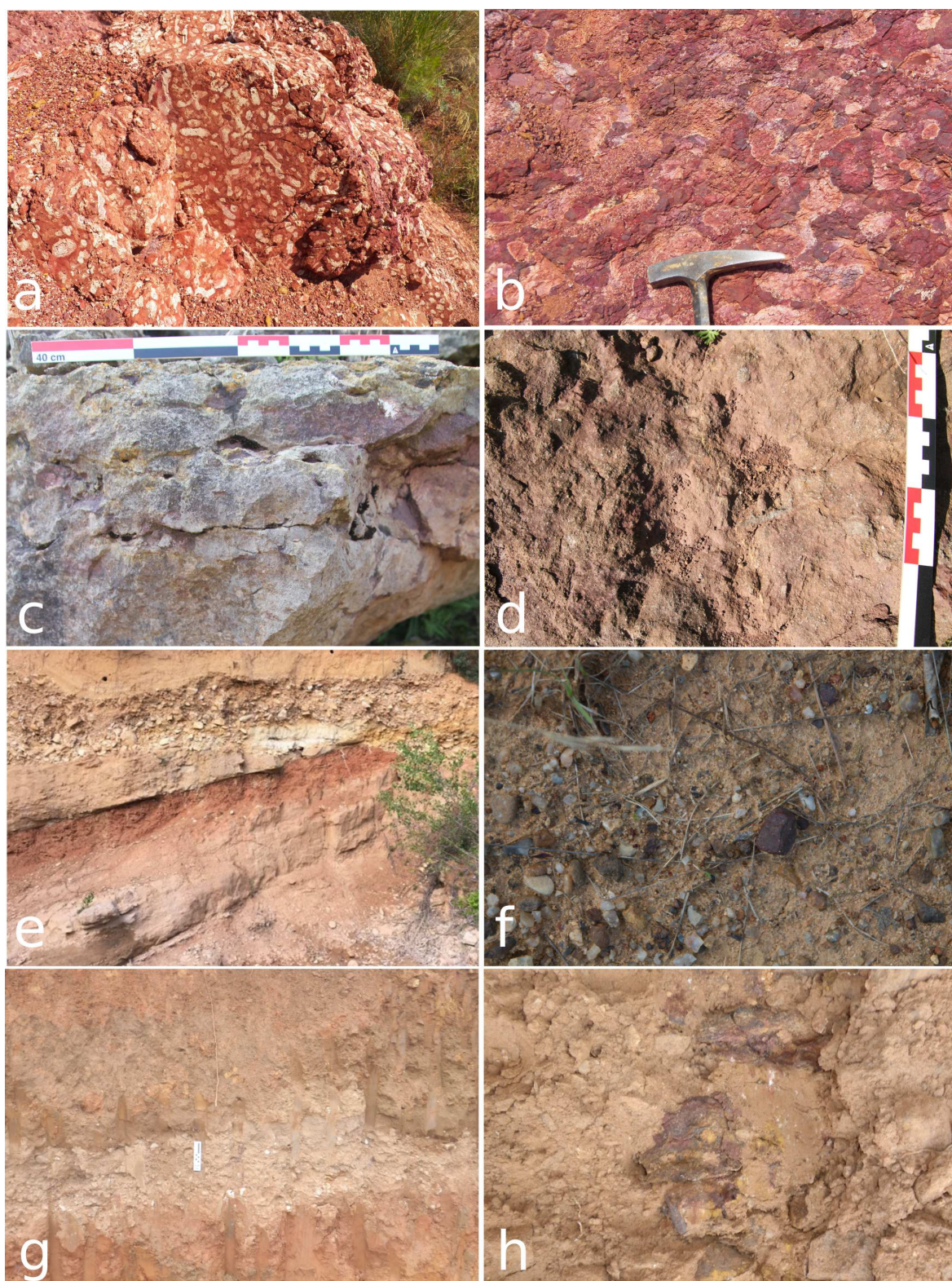


Figure 3.7 : a-b) Bauxite allochtone piégée dans un karst du Jurassique moyen, Cazouls-lès-Béziers, Héault, France, c-d) Calcaire ferruginisé, Aalénien, La Rouse, Ardèche, France, e-f) Galet riche en fer dans des alluvions récentes et du Crétacé, Vagnas, Ardèche, France, g-h) Colluvions contenant des fragments de croûte ferrugineuses de l'Eocène, Cussac, Dordogne, France. Photos : a & b : J.-V. Pradeau, c-h : H. Salomon.



### 3.3.3 Type III C : accumulation de fer par piégeage

- **Amas cryptokarstique** (Fig. 3.1 n°7 et 3.6 b) : Remplissage de karst par des matières altérées sous l'effet du climat tropical humide (sables glauconieux oxydés/altérés) et formation de croûtes au contact avec la roche encaissante : éponte, mur. Les eaux de percolation non seulement attaquent les calcaires, ce qui accélère la karstification, mais aussi lessivent les sables sus-jacents entraînant un dépôt de fer issu des glauconies au contact calcaire-sable, sous forme de placages et de croûte (Quinif (1993); Salomon & Pomel (2005)).

- **Amas couchés** (d'après Rouhtier (1963)). Dépôt stratiforme de fer (principalement goéthite et assemblage d'hydroxydes de fer plus ou moins hydratés) au contact de deux roches de lithologie différente (ex. calcaire et shale) et suivant les bancs sédimentaires (parallèles aux bancs et strates) suite à l'altération météorique des couches sus-jacentes (Fig. 3.1 n°8).

## 3.4 Autres formations combinant plusieurs mécanismes génétiques et évolutifs

- **Lahn Dill** : Minerai de fer essentiellement d'hématite et de quartz identifié dans les vallées de la Dill et de la Lahn en Allemagne. Il résulte de la combinaison de processus volcano-sédimentaires, diagénétiques et hydrothermaux tardifs (Flick & Nesbor (1988); Flick *et al.* (1990); Nesbor (2007)).

- **Calcaires ferrugineux et ferruginisés** (Fig. 3.7 c et d) : roches calcaires, dans lesquelles la calcite a été entièrement ou en partie remplacée par des oxy(hydroxy)des de fer lors de la sédimentation, de la diagenèse, voire d'injections hydrothermales (ex. calcaires à entroques de l'Hettangien de Thoste, Yonne, Salomon (2019), Cayeux (1909)).

- **Hardground ferrugineux** (Fig. 3.1 n°9) : encroûtement de la partie supérieure d'un banc carbonaté (Préat *et al.* (1999)).

- **Les gisements alluvionnaires** (Fig. 3.1 n°10, 3.7 e et f) et **colluvionnaires** (Fig. 3.1 n°11, 3.7 g et h) : matières allochtones transportées dans les alluvions et les colluvions formant de vastes nappes de cailloutis ferrugineux et parfois consolidées sous la forme de poudingues (Fig. 3.8 a et b). Il s'agit principalement de concrétions ferrugineuses (Fig. 3.8 b; genèse par altération, *cf.* gisements d'altération) et de galets. Les dépôts colluvionnaires forment des nappes discontinues de fragments plus ou moins roulés d'épaisseur variable à flanc de colline ou en pied de versant (Denayer *et al.* (2011)).

Les roches et minéraux formés dans les situations précédemment exposées peuvent ensuite évoluer et être significativement modifiés par des altérations météoriques (Fig. 3.1, 3.8 c et d).

## 3.5 Formations riches en fer non oxydé et magnétite

Le fer contenu dans les sulfures (pyrite, marcassite, mispickel, Fig. 3.8 e et f), sulfates (jarosite), carbonates (sidérite), phosphates (vivianite) et silicates (chlorites, glauconite) de fer peut, par altération



Figure 3.8 : Figure 8 : a) Poudingue contenant des galets riches en hématite et en goéthite, Campanien, La MoulINETTE, Hérault France, b) Concrétions (pisolithes) riches en oxydes de fer, Les Vans, Ardèche, France, c-d) Profil d'altération d'une séquence fluvio-lacustre de l'Eocène inférieur : sable et grès ferrugineux, e-f) Fossiles pyritisés puis oxydés (principalement des ammonites) dans des marnes du Lias, Les Assions, France, c) moules d'ammonites avec colorations jaune orangé résultant de l'oxydation des fossiles pyriteux, d) ammonite pyritisée et oxydée dans les dépôts de marnes. Photos : H. Salomon.

et chauffage, s'oxyder pour donner de l'hématite et de la goethite voire de la magnétite transformant des matières non colorantes en matières colorantes. La magnétite noire peut aussi s'oxyder en hématite.

Rendre compte non seulement de cette diversité génétique, mais aussi de la variabilité horizontale et verticale à l'échelle des gîtes et de chaque formation géologique demande donc de mettre en place une stratégie d'échantillonnage adaptée à chaque situation. C'est bien en évaluant et en documentant les nombreuses ressources, en décrivant leurs propriétés et leur accessibilité qu'il devient possible d'appréhender les critères qui ont guidé les choix passés. La sélection des matières premières ne peut être établie qu'au regard des caractéristiques des ressources, comparées entre elles, mais encore, au regard des fonctions qui leur étaient réservées dans le cadre de leur utilisation (Pradeau *et al.* (2016); Salomon (2019)).

## Partie 4

### Méthodes

L'ensemble des méthodes développées dans le cadre de la *Pigmentotheque* s'appuie sur l'expérience du *réseau des lithothèques* ainsi que sur les méthodes déjà adaptées aux matières colorantes en contexte archéologique par la plupart d'entre nous. Depuis 2016, la démarche générale est restée la même et basée sur les grandes étapes de la recherche documentaire, la prospection, la caractérisation et enfin la redistribution spatiale de ces données. En revanche, au sein de chaque grande étape, les méthodes n'ont cessé d'être réajustées et améliorées au vue des verrous rencontrés et suite à des échanges de pratiques au sein de l'équipe grandissante de la *Pigmentotheque*. En effet, des formulaires ont évolué et ont été ensuite validés par les collègues de disciplines différentes (archéologues, conservateurs, géologues, physico-chimistes, ...).

A partir des différentes étapes de cette démarche, il est possible d'alimenter une boîte à outil opérationnelle dans un objectif de partage au sein de la communauté scientifique avec une documentation à vocation pédagogique pouvant ensuite alimenter la réflexion et la comparaison avec le matériel archéologique (Figure 4.1).

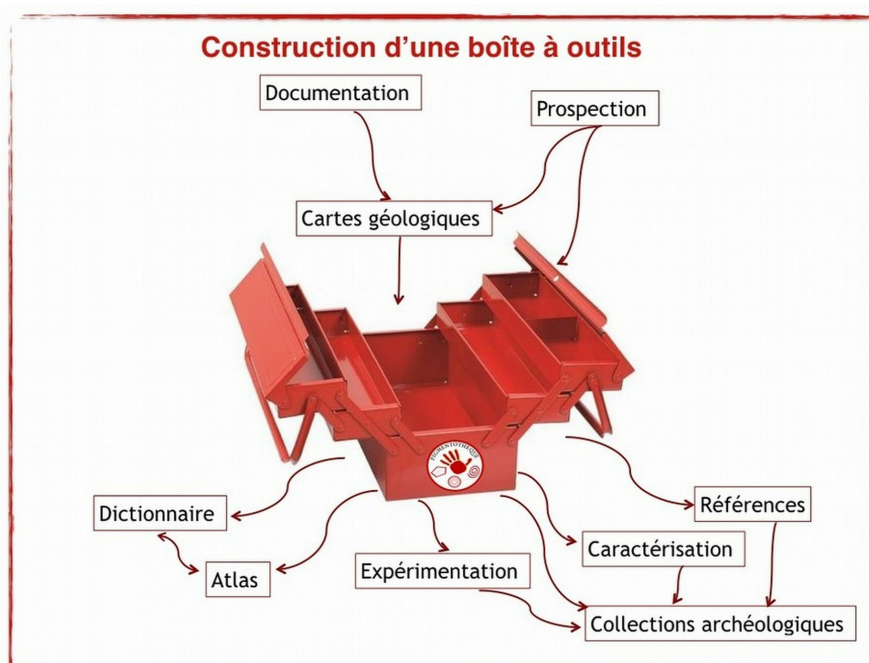


Figure 4.1 : Illustration de la construction de la boîte à outils dédiée à l'étude des matières colorantes.



## 4.1 Recherche documentaire

La sélection des sites à prospector repose en premier lieu sur une recherche documentaire. Elle s'appuie principalement sur les sources du BRGM (cartes géologiques, notices, mémoires et rapports, Dumas (1876)), les archives minières et les monographiques en géologie auxquelles sont croisées différentes sources d'information telles que la toponymie, les observations des terrains le long des routes avec *Google Street View* et les observations des photos aériennes et satellites à différentes époques disponibles sur le *Géoportail* et *Remonter le temps* – [remonterletemps.ign.fr](http://remonterletemps.ign.fr) (Figure 4.2). Cet ensemble de documents permet de définir les lieux à prospector.



Figure 4.2 : Comparaison de photographies aériennes et satellites à différentes époques entre Molières-sur-Cèze et Saint-Florent- l'Auzonnet (Gard). De gauche à droite : Vue actuelle, photographie des années 50-60, fonds de carte topographique. Sources IGN (Remonter le Temps). Le terrib visible il y a 50 ans est actuellement complètement végétalisé et difficile à repérer dans le paysage.)

## 4.2 Prospection

Les principes fondamentaux de l'échantillonnage reposent sur l'enregistrement des points d'échantillonnage en renseignant les lithologiques présentes. L'individu est donc le lieu d'échantillonnage qui regroupe par conséquent plusieurs échantillons classés par lithologie.

Au moment de l'enregistrement du point d'échantillonnage sont documentés les coordonnées GPS affinées par une localisation sur une carte du BRGM au 1 :50000<sup>ème</sup>, voire une carte IGN au 1 :25000<sup>ème</sup>. La couche géologique dans laquelle les prélèvements sont réalisés est systématiquement renseignée. Dans la fiche d'enregistrement, un champ renseigne la ou les méthode(s) de géoréférencement (*cf.* annexe 1 : Lexique terrain).

Les informations environnementales sont aussi détaillées pour apporter des éléments de compréhension du contexte des découvertes. Ainsi, la position topographique des affleurements est-elle indiquée (fond de vallée, flanc de colline-pentes, plateau). Les conditions de récolte des géomatères sont indiquées à savoir si les matières sont accessibles en position primaire (dans sa formation d'origine), sub-primaire (à proximité immédiate de sa formation d'origine et toujours en relation avec cette dernière comme un éboulis de la roche d'origine), secondaire (à proximité de sa formation d'origine mais déconnectée de cette dernière, par exemple dans une formation superficielle : colluvions), secondaire issu d'une formation disparue (après transport : alluvions), la roche encaissante, son âge, le types récolte (sélective ou systématique), la taille des modules récoltés.

Nous indiquons aussi si ces matières ont été remaniées par des activités humaines (éléments de maçonnerie, haldes) ou mises au jour par des activités humaines (mines, percement de routes ou tranchées, exploitations souterraines). L'accessibilité actuelle et passée des matières colorantes est évaluée dès le terrain à partir de la documentation géologique et géographique et en fonction de l'anthropisation (aménagement du territoire, exploitations industrielles). Elle sera ensuite affinée par une étude géomorphologique au cas par cas. Pour ce faire, l'utilisation d'outils de géomatique sera privilégiée à différentes échelles de sorte à localiser les différents types de formations (primaire, sub-primaire, secondaire) et leur connexion tout en intégrant la notion de dynamique de ces gisements affleurant.

Les points négatifs visités sont systématiquement enregistrés. Il s'agit des lieux où des matières riches en fer/manganèse sont signalées dans la documentation (comme détaillée plus haut) mais où aucune ressource ou indice de ressource de matière colorante n'a pu être mis en évidence. Les situations qui expliquent ces absences peuvent être de plusieurs ordres :

1. il n'y a pas de ressource visible/accessible compte tenu d'une forte urbanisation ou de la modification radicale du paysage suite à des exploitations minières (épuisement des ressources, comblement du site minier, destruction complète du site), une modification de l'accessibilité du fait de la profondeur des labours,
2. les ressources indiquées dans la documentation géologique n'existent pas à l'affleurement à l'heure actuelle et n'ont jamais été à l'affleurement (minerais de fer exploités en galeries souterraines à plusieurs mètres voire dizaines de mètres sous le sol et comblées actuellement),
3. les ressources ne sont plus à l'affleurement aux lieux attendus suite à l'érosion ou des recouvrements par des colluvions et des alluvions,
4. ou encore, il y a un couvert végétal trop dense pour permettre l'accès au site ou une bonne visibilité, ce qui induit l'organisation d'une nouvelle visite à une période plus favorable.

Sur le terrain, la variabilité verticale et horizontale des matières mises à l'affleurement est documentée par un échantillonnage, la description et la couverture photographique des différentes lithologies présentes.

Jusqu'à cette année, l'enregistrement des sources de matières colorantes s'appuyait sur l'enquête SILEX\_V4 adaptée à la *Pigmentotheque* avec *Survey123forArcGIS*. Cette application utilisant *Survey123* développé par *ArcGIS*, s'est révélée, avec l'expérience, présenter des contraintes que nous avons souhaitées surmonter. En particulier, l'utilisation de logiciels sous licence payante risquait d'exclure des participants qui n'y avaient pas accès. Par ailleurs, la gestion des champs avec listes prédéfinies étaient peu pratique et enfin, l'interface nous est apparue contraignante du fait du déroulement continu des champs à remplir, que nous souhaitions organiser par onglets thématiques. Des modifications en profondeur ont été réalisées sur l'application de terrain et la fiche papier pour répondre à nos besoins (*cf.* partie 5).

### 4.3 Caractérisation des matières géologiques

La construction de la méthodologie analytique est basée sur la compréhension des différentes étapes permettant de transformer la matière première en matière transformée, utilisée et conservée. Le degré

de transformation induit une certaine perte d'information par rapport à la connaissance de la matière première. La figure 1.1 décrit les liens existant entre les méthodes nécessaires pour accéder à ces différents degrés d'information en fonction de ces étapes de transformation.

Elle représente l'évolution des matières exploitées avant et après leur utilisation (chaîne évolutive) et au cours de leur exploitation (chaîne opératoire). Les vestiges archéologiques cohésifs et les matières premières en position primaire occupent l'essentiel de notre attention pour le moment car ces objets/matières sont les plus riches d'informations. La *Pigmentotheque* aussi à aborder la chaîne évolutive (dont la taphonomie) pour mieux comprendre les matières colorantes utilisées et réduites en poudre.

### 4.3.1 Description des faciès de matières colorantes du terrain au laboratoire

Les travaux développés depuis une dizaine d'années par certains d'entre nous (JVP, HS, Ech, LD, LB, ML, EG) et de nombreuses équipes à travers le monde ont démontré que, comme pour de nombreuses autres roches, la signature d'une formation, d'un banc, voire d'un affleurement de matières riches en oxy(hydroxy)des de fer ou de manganèse, pouvait être définie par ses caractéristiques lithologiques et pétrographiques (mises en évidence aux échelles macro-, méso- et microscopiques), minéralogiques (nature et association de minéraux au sein de la roche, degré de cristallinité) et géochimiques (proportion des éléments majeurs, mineurs et en traces). Mais l'expérience montre aussi que le **diagnostic** le plus **fondamental** et le plus **routinier** est une **description des caractéristiques observables à l'échelle mésoscopique** (Pradeau *et al.* (2014), Pradeau (2015), Salomon (2009); Salomon *et al.* (2014); Pradeau *et al.* (2016), Billard *et al.* (2016)). Les caractéristiques des matières premières sont donc dans un premier temps définies en identifiant le type de roche dont il s'agit. En s'appuyant sur cette expérience collective, nous adaptons la démarche analytique aux échantillons géologiques.

C'est pourquoi nous avons fixé une série de champs de description qui sont remplis dès l'échantillonnage sur le terrain afin de documenter la variabilité des faciès présents au sein d'un même gîte. De plus, dès le terrain, puis en laboratoire, les qualités physico-chimiques sont décrites. Ce sont en effet les qualités sensorielles qui sont les premières reconnaissables et celles qui ont été appréciées durant la Préhistoire (couleur, dureté, compacité, homogénéité, pouvoir colorant).

Ces descriptions sont apportées de manière plus ou moins précise sur le terrain selon les possibilités d'observation et la nature des matières. Elles sont, par ailleurs accompagnées de photographies et souvent de schémas des affleurements et de la disposition des lithologiques au niveau de l'affleurement.

Les descriptions sont reprises, complétées, modifiées et précisées en laboratoire à différents grossissements.

Les observations à l'œil nu, à la loupe binoculaire et au microscope optique polarisant en transmission, mais aussi en réflexion, occupent une place absolument incontournable pour travailler sur tous les types de roches colorantes. Ces trois outils d'observation sont ici utilisés de manière complémentaire car ils permettent de faire le lien entre les différentes échelles d'observation et permettent de guider les analyses sensu stricto, qu'elles soient conduites sur la totalité de l'objet ou sur des parties choisies ou isolées de l'objet. Les références géologiques sont enregistrées en suivant les critères de description et de détermination des roches (décrites par leur texture, granulométrie, couleur, dureté, fabrique, éléments figurés comme les macro- et microfossiles, minéraux, ciment, matrice, porosité) en se référant à des chartes, telles que celles développées (Dunham (1962); Folk (1962)) et les chartes visuelles d'abondance, de granulométrie, d'orientation, de sphéricité et d'arrondi, de classement gra-

nulométrique (*cf.* annexe 6 : Lexique en cours.)

Une grande partie des caractéristiques intrinsèques quantitatives et qualitatives des roches colorantes sont ainsi restituées. Les roches colorantes sont donc bien définies par leur nature, leur variabilité, leur genèse et leur évolution.

La pétrographie reste l'une des méthodes d'investigation les plus instructives mais la préparation des échantillons présente souvent des contraintes importantes que Fayçal Soufi en tant que litholameleur tente de surmonter. En particulier, les matières très poreuses et tendres et les matières riches en argile se désagrègent lors de l'amincissement. La réimprégnation et l'inclusion sous vide ont déjà apporté des solutions satisfaisantes dans certains cas (*cf.* rapport 2019).

### 4.3.2 Analyses : apports et limites

Les analyses élémentaires et structurales sont complémentaires. En premier lieu, les observations et analyses de coupes fraîches et de sections polies en microscopie électronique à balayage permettent de croiser la description des morphologies des amas de cristaux, de la texture de la roche de l'organisation des constituants de la roche, des rapports d'abondance de phases et les analyses des éléments qui composent les différents constituants de la roche (phases minérales, éléments figurés, intraclastes, bioclastes). Ces inspections permettent aussi d'expliquer certaines observations faites en microscopie optique et renseignent sur les relations entre éléments pour mieux interpréter les mesures chimiques (PIXE et ICP).

Vient s'ajouter l'identification semi-quantitative des phases minérales qui renseigne sur la présence/ absence de certaines phases et leur rapport d'abondance approximatif. Cette analyse renseigne aussi sur l'état de cristallinité des phases minérales qui peut se révéler être un très bon indicateur de l'origine géologique de la roche analysée. L'analyse minéralogique repose le plus souvent sur des mesures en diffraction des rayons X (DRX) qui est la méthode la plus utilisée, puisqu'elle permet de mener une analyse globale d'une poudre ou de blocs. Il n'est donc pas nécessaire de prélever ni de réaliser quelques modifications de l'échantillon pour l'adapter à l'analyse. L'identification de ces phases se fait par référence à des bases de données très riches, alimentées depuis plus d'un siècle (ICDD : The International Centre for Diffraction Data). Dans le domaine des analyses élémentaires, une recherche dynamique s'est développée ces dernières années, explorant les potentialités de différentes méthodes de géochimie tant invasives ou requérant la préparation irréversible d'échantillons telles que l'activation neutronique - INAA, la spectrométrie à fluorescence de rayons X dispersive à longueur d'onde - WDXRF et la torche plasma - ICP-AES, ICP-OES, ICP-MS, voire micro-destructives par LA-ICP-MS. Concernant les méthodes non invasives et de surface, les plus employées sont la spectroscopie de fluorescence des rayons X - XRF, de laboratoire ou portable - p-XRF ou encore synchrotron - syn-XRF et l'utilisation de faisceau de particules extrait - PIXE. Le choix de ces techniques dépend de l'accessibilité de celles-ci autant que de la qualité de l'information requise (qualitative, semi-quantitative, quantitative, sensible ou peu sensible aux éléments trace, ...) et de la nécessité de conserver l'échantillon intact (préparation, destruction partielle ou totale). Ces différentes mesures visent à doser les teneurs en éléments ciblés sur les matières que l'on étudie avec plus ou moins de précision selon les équipements et selon les éléments dosés.

En théorie, certains éléments, piégés dans les roches, peuvent se révéler être des indicateurs discriminants.



Dans le cadre des premières analyses réalisées pour la caractérisation des prélèvements de matières colorantes géologiques, deux méthodes d'analyse élémentaire ont été mise en œuvre : la méthode PIXE (quantitatif, non destructif, focalisé) et les méthodes ICP-AES et ICP-MS (quantitatif, destructif, global). L'objectif étant ensuite d'adapter les modalités de comparaison avec des objets archéologiques.

Afin de comparer les données acquises par ces différentes analyses, il semble essentiel de passer par l'élaboration d'une série de standards dont la composition est proche des matières que nous analysons et qui permettront :

- premièrement de connaître avec précision les limites de détection des différents appareillages pour l'étude de ce type de roche,
- et deuxièmement, à terme de réaliser des comparaisons entre les analyses réalisées avec différents équipements.

Ces analyses ont donc été menées pour réaliser les premiers tests de faisabilité et évaluer leur charge informative en ce qui concerne la possibilité d'identifier et de mesurer les éléments traces qui définissent la signature chimique des roches colorantes de la *Pigmentotheque* et avec quel dispositif analytique les signatures auront les résultats suffisants pour répondre aux questions de provenance.

L'élaboration de standards dont les propriétés soient assez proches des échantillons à analyser est donc indispensable pour ajuster les conditions expérimentales. Une sélection de roches de référence provenant d'environnements géologiques contrastés a donc été réalisée et complétée avec des géo-standards certifiés (DR-N diorite, BE-N basalt, MA-N granite, BX-N bauxite et IF-G iron formation). Grâce à ces standards et références, il est alors possible de confronter la variabilité des formations géologiques voire de comparer aux dépôts poudreux, aux imprégnations et, de manière générale, aux vestiges non cohésifs de matières riches en oxy(hydr)oxydes de fer afin de les mettre en relation avec les matières colorantes solides. L'utilisation de ces standards est donc indispensable pour :

1. permettre l'intercomparaison d'une méthode analytique à une autre,
2. proposer un modèle prédictif des gammes d'éléments traceurs qui seront à même d'être détectés avec suffisamment de précision pour discriminer des sources,
3. choisir le dispositif analytique le plus susceptible de caractériser les matières colorantes avec la finesse requise.

#### **4.4 Adaptation de la démarche aux objets archéologiques**

Les matières colorantes et colorées issues de fouilles archéologiques présentent un certain nombre de contraintes qu'il est nécessaire de prendre en considération pour optimiser la méthodologie d'analyse de ces objets (Fig. 4.3). En effet, ceux-ci sont avant tout considérés comme précieux dans la mesure où ils sont des artefacts uniques qui permettent de documenter les pratiques, les usages et les techniques des sociétés du passé. De plus ces matières colorantes de tailles variables (entre quelques millimètres à plusieurs centimètres) peuvent être plus ou moins cohésives et plus ou moins tendres ce qui peut les rendre vulnérables et fragiles, en particulier lors de leur manipulation. Enfin, des matières colorantes présentent des traces d'exploitation se traduisant par des stigmates de percussion,

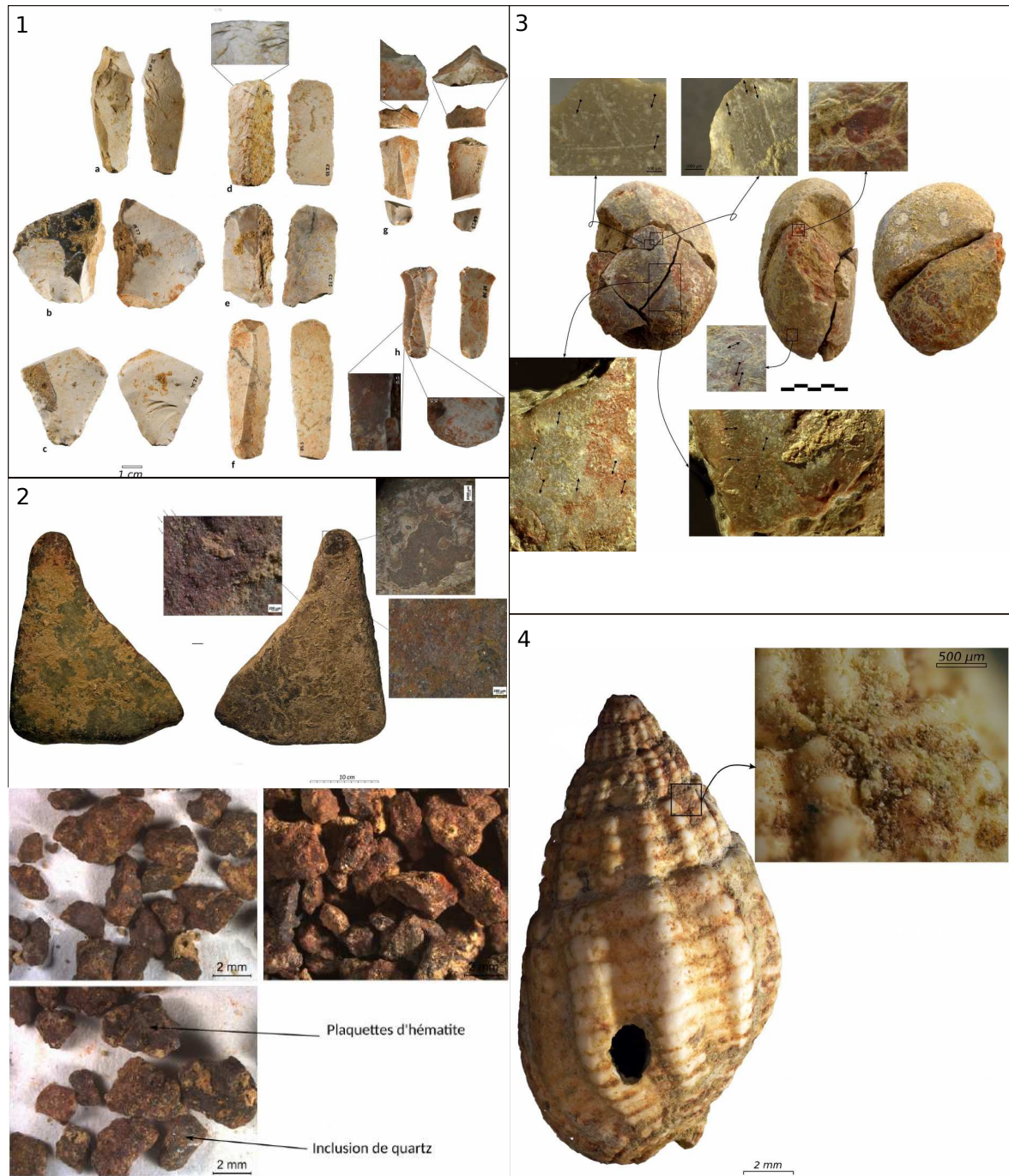


Figure 4.3 : Exemples de matières colorantes sur des outils et éléments de parure corporelle mis au jour à Régismont-le-Haut. Photos : H. Salomon.

des surfaces nivelées et striées, des incisions, des perforations voire, dans des cas exceptionnels, des gravures. Ces objets ne sont donc pas modifiés par nos analyses, il va de soit.

Concernant les objets présentant des traces de matières colorantes (les objets colorés : divers outils ou éléments de parure corporelle en matières dures animales, macro-outillage en roches non taillées, tels que les outils dormants ou les percuteurs, les outils taillés en roches siliceuses, mais encore des fragments décrochés des parois ornées, les imprégnations sédimentaires, ou enfin les os

humains), l'objet lui-même peut présenter des fragilités et une valeur patrimoniale importante.

Pour étudier ces objets tout en conservant leur intégrité, il est important d'établir des critères de description à l'échelle macro et mésoscopique avant de choisir et d'adapter la méthodologie analytique à employer (*cf.* partie 5).

Ensuite pour établir une méthodologie d'analyse, les techniques étant nombreuses, le choix de celles-ci dépend principalement de la disponibilité (accès, coût, temps), de la nécessité de préparer des échantillons, ainsi que de l'implication de la destruction partielle ou complète de l'échantillon. Ces choix seront déterminés par les questions motivant ces analyses. L'ensemble des possibilités et des spécificités de ces techniques ne sera pas présenté ici (pour les généralités voir Wilson & Pollard (2008), Malainey (2010); pour les techniques synchrotron voir Bertrand (2007), Cotte *et al.* (2009), Reiche & Chalmin (2013), mais une proposition de méthodologie générale basée sur les techniques les plus fréquemment utilisées est développée ici.

De façon générale, pour comprendre au mieux la matière colorante, qu'elle soit sous forme de micro-prélèvements de paroi ou de fragments compacts, une première observation sous loupe binoculaire sans aucune préparation est requise. Il est déjà possible d'accéder à une couleur ou un mélange de couleurs, une morphologie générale, une organisation de la matière, une granulométrie et l'identification de certains minéraux caractéristiques (comme le quartz, les micas, ...). Par ailleurs, ces premières observations à faible-moyen grossissement (en 6x et 150x), permettent d'appréhender les états de surface, en particulier, il est souvent possible de lister les contributions liées au milieu d'enfouissement à savoir les précipitations post-dépositionnelles, les sédiments, les contacts avec diverses matières dans le milieu d'enfouissement et les effets des manipulations lors ou après la découverte. Afin d'améliorer les conditions d'observation et de prise de vue, nous procédons à des reconstitutions d'image en focus stacking à partir de plusieurs clichés.

Préférentiellement sans préparation, l'observation au microscope électronique à balayage couplé à une sonde à énergie dispersive (MEB-EDS) permet en premier lieu de confirmer l'attribution des dépôts ou modifications dans le milieu d'enfouissement. Ensuite, il est possible d'accéder à la micro-morphologie, à l'organisation structurale ainsi qu'à l'analyse élémentaire de la surface des prélèvements ainsi que des objets de petite taille. L'absence totale de préparation impliquant le dépôt d'un film de matière carbonée ou d'or à la surface de l'objet analysé reste cependant souvent une limite, car des effets de charges dégradent la qualité des observations. L'utilisation d'un microscope électronique à effet de champ (MEB-FEG), ou d'un microscope avec un vide partiel peut permettre également de remédier à ce type de préparation.

En l'absence de préparation des matières colorantes, il est possible d'accéder à des analyses de surface de façon non-invasive avec des techniques comme la spectroscopie Raman et infrarouge pouvant être couplée à un système optique pour accéder à l'identification de constituants minéraux et organiques (e.g. FTIR (Darchuk *et al.* (2010), Bonneau *et al.* (2012), Hunt *et al.* (2016)); Raman (Hernanz *et al.* (2016), Rosina *et al.* (2018)). Ces techniques se révèlent souvent limitées par la formation de concrétion en surface des objets archéologiques (comme c'est le cas à la grotte aux Points). Les techniques de laboratoire de fluorescence (XRF) et de diffraction des rayons X (DRX) ne sont pas toujours faciles à mettre en œuvre pour des objets de très petite taille (quelques centaines de microns) pour accéder à la composition chimique et structurale. Il peut être nécessaire de procéder à des analyses plus spécifiques sur synchrotron pouvant couplées XRF et DRX à une échelle sub-micronique avec une forte sensibilité grâce à l'intensité du faisceau synchrotron (Creagh *et al.*

(2007), Huntley *et al.* (2014)), Reiche & Chalmin (2013)). Enfin, l'analyse élémentaire quantitative peut être obtenue sans préparation et sans dégradation d'échantillon grâce au faisceau extrait de l'accélérateur Grand Louvre (AGLAE) utilisant la technique d'analyse d'émission de photons X induite par particule (PIXE pour Particle induced X-Ray emission)(Creagh *et al.* (2007), Pichon *et al.* (2010), Beck *et al.* (2012)).

Pour pouvoir « rentrer » plus au cœur de la matière, il existe des techniques « faiblement » invasives comme la spectrométrie de masse à plasma induit couplée à l'ablation laser LA-ICPMS (Resano *et al.* (2005), Jezequel *et al.* (2011), Scadding *et al.* (2015)), ou la spectroscopie sur plasma induit par laser (LIBS) (Bruder *et al.* (2007), Lofrumento *et al.* (2011)), qui détruira une portion d'échantillon de quelques microns à plusieurs centaines de microns, mais permettant d'acquérir la variation de la composition chimique sur un profil de la surface de l'extérieur vers l'intérieur de l'objet.

Dans le cas particulier des micro-prélèvements de paroi (mais aussi pour quelques objets archéologiques sélectionnés), il est possible de réaliser des coupes transverses après avoir inclus dans la résine le prélèvement ou l'objet, afin de maintenir sa structure avant la découpe et le polissage. Il est alors possible d'accéder à la stratigraphie ou au cœur de l'objet étudié. Les techniques précédemment présentées peuvent alors être utilisées et la réalisation de cartographie chimique et structurale devient alors très pertinente avec différentes résolutions spatiales possibles. Il devient alors beaucoup plus facile de discriminer la part des différentes contributions entre les pollutions environnementales, les produits d'altération du substrat et la matière colorante proprement dite.

Concernant les objets colorants et colorés étudiés par les membres de l'équipe, une méthodologie commune a pu être mise en place. Ensuite en fonction du nombre de vestiges et des problématiques mises en jeu, cette méthodologie est adaptée soit pour gagner en efficacité lors de l'étude de grand corpus, soit pour gagner en pertinence, en sensibilité ou encore en résolution des résultats.

Description des méthodes pour chaque échelle d'observation :

- **Observation à l'échelle macroscopique en microscopie optique (MO)** : description pétrographique, macro et méso-morphologique des roches. Reconnaissance des contextes géologiques de formation des matières colorantes (Dreesen *et al.* (2016); Pradeau (2015); Salomon (2009), pp. 200). Les caractères observés sont décrits et nommer selon un vocabulaire standardisé, reporté dans des fiches individuelles (*cf.* annexe 6).
- **Observation et analyse élémentaire à l'échelle microscopique en microscopie électronique à balayage couplée à une sonde d'analyse dispersive en énergie (MED-EDX)**, accès à la micromorphologie : confirmation/infirmation des observations en MO, association morphologie avec la chimie, apport de connaissance sur les conditions de formation et d'altération de la roche. Les observations sont réalisées en mode SE (électrons secondaires) et en mode BSE (contrastes chimiques – électrons rétrodiffusés).
- **Analyse par diffraction des rayons X (DRX et  $\mu$ DRX)** : caractérisation des phases minéralogiques de la matière colorante : accès aux conditions de formation de la roche et de la roche mère si altération.
- **Analyse par sonde nucléaire PIXE (Particule induced X ray emission, AGLAE C2RMF, Paris)** : caractérisation de la géochimie jusqu'aux éléments traces : identification d'une si-

gnature liée à la roche mère et à l’affleurement d’origine. Quatre séries d’analyses ont été réalisées jusqu’à présent (février 2015, juillet 2018 février et avril-mai 2019). Au-delà de la caractérisation des matières colorantes, un aspect méthodologique est adossé à ces analyses. La constitution d’une base de références géologiques permet de comparer les résultats obtenus sur les mêmes roches avec différentes méthodes d’analyses (EDX, pXRF, PIXE, ICP) et sous différentes formes (bloc, coupe poli, poudre). Cette étude méthodologique devrait permettre de tester les effets de matrice liés au fer, d’apporter des arguments solides et quantifiés pour discuter la robustesse de la pXRF, et de développer un fichier de calibration de traitement des spectres bruts obtenus avec AGLAE. Les analyses ont été réalisées et dépouillées en suivant le protocole détaillé dans la littérature (Pichon *et al.* (2010), Beck *et al.* (2012), Mathis *et al.* (2014)). L’acquisition est réalisée avec un faisceau extrait de de 10  $\mu\text{m}$ , le signal est filtré avec un film d’Al de 50  $\mu\text{m}$  placé devant les détecteurs hautes énergies (HE1, HE2 et HE3), un filtre de 200  $\mu\text{m}$  de Cr devant HE3, et un filtre de 100  $\mu\text{m}$  de Be devant HE4 afin de minimiser l’influence de (Al, Si, Ca et Fe). Les limites de détection sont de l’ordre de quelques ppm (Mathis *et al.* (2014)).

## **Partie 5**

### **Synthèse des apports méthodologiques**

#### **5.1 La fiche terrain en papier : amélioration**

Aurélie CHASSIN DE KERGOMMEAUX, Hélène SALOMON, Claire CHANTERAUD, Emilie CHALMIN

Une fiche papier a été réorganisée pour dialoguer facilement avec l'application (dont le principe est développée dans la partie 5.2, ci-après). Elle reste un outil communément employée sur le terrain par plusieurs membres de l'équipe qui privilégient l'utilisation de la fiche papier sur laquelle figure un cadre réservé au schéma (les utilisateurs et utilisatrices de l'application reportent, pour leur part, leurs schémas dans leurs cahiers de terrain). Cette fiche apparaît ainsi retenir l'ensemble des informations sur un seul support. L'organisation est similaire à celle de l'application, malgré de menues différences rendues nécessaires pour la mise en page au format A4, adapté au terrain (Figure 5.1). Les différences concernent certaines lithologies peu communes qui sont alors renseignées dans la catégorie "autres". La numérotation sur la fiche permet de trouver les correspondances entre la notice et les champs à remplir (*cf.* notice, en annexe 1, Figure 11.1). Cette fiche est informatisée au retour de terrain, ou en fin de journée de terrain, en utilisant le formulaire sur QGIS (*cf.* annexe 3, comme détaillé dans la partie 5.2).





## 5.2 Une refonte de l'application de terrain

Matilde WAYMEL, Emilie CHALMIN, Hélène SALOMON, Aurélie CHASSIN DE KERGOMMEAUX, Claire CHANTERAUD

Le stage de licence de Mathilde Waymel (ENSG) avait pour objectif de mettre en place un outils de terrain adapté à nos pratiques. Il visait ainsi à adapter sous forme d'application le questionnaire que nous utilisions et    nous accompagner dans la gestion de nos données de terrain et dans la restitution des informations collectées.

Les objectifs retenus pour le stage consistent à répondre aux quatre besoins suivants : structurer les données et les migrer vers un format plus adapté, trouver un outil de terrain facilitant la collecte et le post-traitement, trouver un outil collaboratif de partage de données et enfin représenter les données en prenant en compte leur complexité.

Après avoir établi les besoins d'améliorations, les priorités suivantes ont été retenues :

- Structurer les données existantes : les informations sur les points étaient jusque-là stockées dans un document *Excel* où tous les champs étaient libres. Cela posait plusieurs problèmes : le remplissage du document était long et difficile, et l'hétérogénité des valeurs des champs rendait une cartographie impossible. Un premier besoin était donc de normaliser les champs, de les contraindre afin de pouvoir représenter les données et gagner en rapidité de remplissage (Figure 5.2);
- Trouver le moyen de simplifier le retour de terrain et la migration des données du format papier vers le format informatisé. Il fallait donc trouver un outil de terrain simple et efficace. En effet, des prospecteurs ou prospectrices privilégient l'enregistrement des données de terrain sur des fiches papier qu'il est nécessaire d'informatiser *a posteriori*;
- Mettre en place une base de données de travail collaborative pour pouvoir travailler plus facilement à plusieurs en trouvant une solution aux problèmes générés par de multiples versions et ce sur chaque poste de travail, ce qui nécessitait de très nombreuses corrections manuelles;
- Représenter les points avec leur contexte local, c'est-à-dire leur contexte géologique voire géomorphologique ainsi que les points figurant les relevés voisins. Le besoin n'est pas celui de produire des cartes en tant que produit fini, il s'agit plutôt de mettre en place un protocole de représentation qui pourra ensuite être réutilisé par l'équipe;

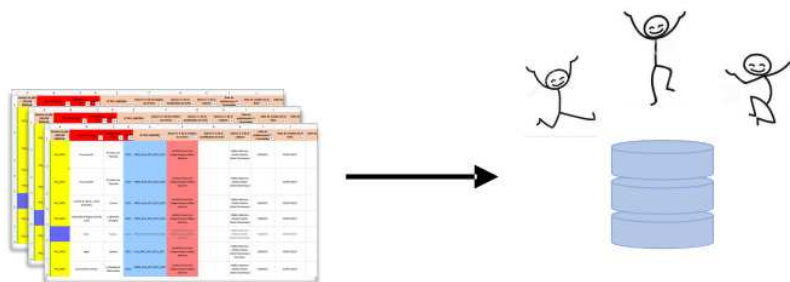


Figure 5.2 : Schéma de fonctionnement avant le début du stage. Schéma : M. Waymel



Le travail de structuration et de correction des données est indispensable, se fondant principalement sur les pratiques de terrain, sur les lexiques et notices et sur la volonté de mise à disposition des données des recherches menées dans la cadre du PCR. Cette phase de structuration et de correction a permis une meilleure représentation cartographique des prélèvements et consolide la poursuite du projet *Pigmentotheque*. En effet, nous tendons vers une plus grande facilité d'utiliser et vers une accélération du post-traitement, en particulier de la saisie des attributs des gîtes, en s'assurant un meilleur suivi des saisies de données. Enfin, nous tendons vers une lecture des données plus aisée et vers le déploiement de la base de données. Il nous restera encore quelques traitements à effectuer, notamment la correction des valeurs de certains attributs avec un retour aux données de terrain d'ores et déjà récoltées, ce qui impliquera d'adapter certaines descriptions anciennes aux attributs et aux valeurs contraintes retenues.

### 5.2.1 Passage sous QGIS

Les informations sur les relevés de terrain étaient stockées dans un tableur avec uniquement des champs libres. Plusieurs problèmes en résultaient. Le remplissage au retour du terrain était long et laborieux, beaucoup de fautes de frappe donnaient lieu à des nettoyages fastidieux des données saisies (orthographe, symboles, casse, mauvaise colonne, etc.), ce qui rendait toute cartographie difficile à mettre en œuvre. C'est pourquoi le fichier *Excel* a été transformé en une base de données Geopackage exploitable sur QGIS en contraignant les valeurs des attributs. Ce procédé a permis de créer un projet de visualisation et de corriger une partie des valeurs attributaires des points, pour pouvoir les représenter avec une légende parlante.

La première étape a été de centraliser les différentes versions du fichier afin de créer un unique fichier contenant tous les points prélevés. Cette partie du travail de nettoyage de la base de données a dû être réalisée à la main car les colonnes ne correspondaient pas toujours et n'étaient pas ordonnées de la même manière. Il y a donc aussi eu un travail "d'enquête" auprès des membres du projet pour savoir quelles colonnes il était pertinent de garder, avec quel nom, dans quel ordre et quelles contraintes étaient nécessaires. Le nom des colonnes a également constitué une question importante puisqu'il devait faire moins de 10 caractères tout en restant parlant. Cette limite de 10 caractères est due à QGIS, car certains traitements sur la couche provoquent une troncature des titres de champs s'ils sont plus longs. Ce fichier a ensuite été converti en csv puis intégré dans QGIS en ajoutant une géométrie grâce aux coordonnées qui étaient renseignées.

### 5.2.2 Structuration des champs

Le travail de structuration des champs a impliqué plusieurs membres de l'équipe pour décider quels champs allaient être contraints, définir les valeurs des choix multiples pour chacun, et réfléchir aux valeurs par défaut. Nous avons également ajouté de nombreux champs textuels pour des éventuels commentaires, qui permettent de nuancer ce qui a été renseigné ou pour ajouter une incertitude éventuelle, en respectant l'idée du formulaire papier et pour que les prospecteurs et prospectrices puissent décrire plus librement leurs observations.

Une fois la structure définie, il a aussi fallu corriger les valeurs déjà renseignées pour pouvoir faire une représentation cartographique de ces attributs. Cette étape n'a pas encore été complètement

réalisée. En effet, j'ai pu corriger les défauts de casse, de tirets et d'espace, par contre certains attributs n'ont pas été remplis selon les possibilités nouvellement définies et le choix d'une catégorie plutôt qu'une autre demande encore un retour sur les données. C'est par exemple le cas pour le type de lithologie des roches ou bien le type de gisement. Ce travail devra donc être poursuivi durant l'année 2022.

L'application est actuellement fonctionnelle et a permis de documenter plusieurs campagnes des prospection soit directement sur le terrain, soit au retour de terrain à partir des éléments renseignés dans la fiche gîte au format papier (cf. Figure 5.2 : fiche terrain en papier).

Le détail du fonctionnement de cette application se trouve en annexe 2, de même que le formulaire sous QGIS en annexe 3 et les tutoriels en annexe 4 qui permettent une prise en main et éventuellement, une adaptation.

### 5.2.3 Développement d'une application de terrain collaborative

Le besoin était donc celui d'une application de terrain adaptée au projet *Pigmentotheque*, avec une migration des données facilitée et rapide. Il fallait aussi que l'application fonctionne selon un système collaboratif, afin d'éviter les problèmes de versions.

#### 5.2.3.1 Application Input basée sur le plugin Mergin de QGIS

L'application *Input* est basée sur le plugin *Mergin* de QGIS. Il s'agit d'une application permettant de faire des relevés sur le terrain directement dans un projet QGIS, qui est ensuite synchronisé sur le logiciel QGIS de l'ordinateur grâce au plugin *Mergin*. Cette application est basée sur un serveur en ligne et permet le travail collaboratif (Figure 5.3).



Figure 5.3 : Schéma du fonctionnement de *Mergin*. Schéma : *Community Health Maps*

Un compte sur le serveur internet *Mergin* a été créé pour chaque utilisateur avec des droits correspondant à leur rôle (administration, édition, lecture). Les projets peuvent alors être chargés au format .qgz depuis le logiciel QGIS vers le site de *Mergin*, grâce à l'extension *Mergin*. Les projets sont ensuite partagés avec d'autres utilisateurs. Pour faire des relevés, il faut installer l'application *Input*, qui est compatible avec tous les systèmes d'exploitation. L'application étant reliée à *Mergin*, il suffit de se connecter et l'on peut accéder au projet que l'on a chargé sur le site ou que quelqu'un a partagé. On peut alors le télécharger sur le téléphone et ensuite y ajouter des points. Les modifications du projet peuvent se faire hors ligne. Dans tous les cas, à la fin du travail et une fois revenu dans un lieu avec

des données mobiles, il faut synchroniser le projet depuis le téléphone, ce qui le met à jour sur le site. Pour le récupérer sur l'ordinateur, il faut se connecter sur le plugin depuis QGIS et le synchroniser également (Figure 5.4).

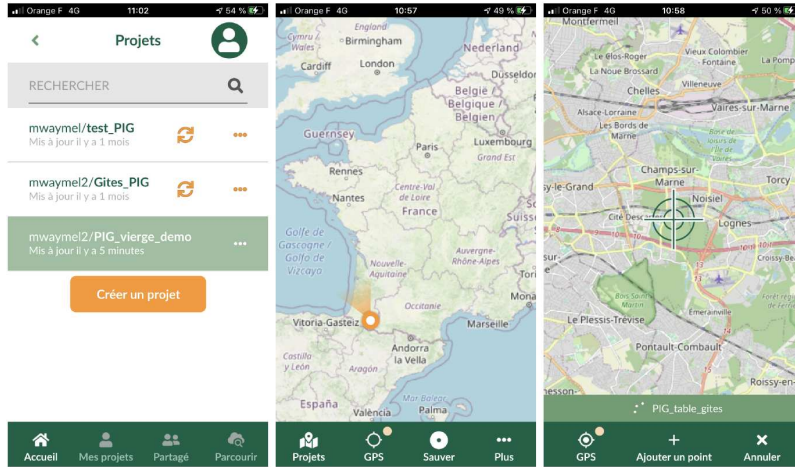


Figure 5.4 : Aperçu des différents menus de l'application *Input*. DAO : M. Waymel

L'application *Input* prend en charge le stockage permanent de versions et présente une bonne gestion des conflits en cas de modifications simultanées par plusieurs utilisateurs. Le stockage sur le site de *Mergin* est gratuit jusqu'à 100 Mo de données, ce qui constitue une limite relativement haute. Enfin, cette application permet de partager les projets QGIS en gardant les styles de couches : cela permet donc de définir un formulaire de remplissage des attributs des points et de le conserver sur l'application.

Cette application répond donc très bien aux besoins : le formulaire de remplissage des données est personnalisable, la migration des données est facile et presque immédiate, puisqu'il suffit de synchroniser le projet des deux côtés, et elle permet le travail collaboratif (annexe 2).

### 5.2.3.2 Mise au point d'un formulaire dédié

Le plugin *Mergin* permet de partager un projet QGIS sur téléphone et avec plusieurs personnes. Concernant le remplissage des attributs d'un point, cela se paramètre dans le projet. QGIS propose par défaut un formulaire de remplissage linéaire avec des champs textuels libres. QGIS permet de personnaliser ce formulaire en rajoutant des contraintes sur le type de champ et son contenu, des listes de valeurs, des valeurs par défaut, des contraintes de visibilité des attributs, et il permet d'organiser les champs en onglets, en groupes et sous-groupes. Cette fonctionnalité permet de répondre au besoin d'adaptation du formulaire pour un remplissage plus simple sur le terrain.

La réalisation (MW) est donc la construction du projet et la configuration du formulaire de remplissage des attributs. Le formulaire est organisé en plusieurs onglets thématiques donc certains sont destinés à être remplis plutôt sur le terrain et d'autres plutôt au laboratoire. Certains champs proposent des listes de valeurs à choix unique ou multiple, avec parfois des valeurs par défaut et de l'autocomplétion.

Figure 5.5 : Onglet Localisation du formulaire créé sur QGIS avec des onglets et différents types de champs. DAO : M. Waymel

D'autres champs sont des champs textuels, des champs numériques, des champs date/heure, des cases à cocher etc. Certains champs permettent de faire apparaître d'autres champs à remplir, en fonction de leur valeur. Un aperçu du formulaire sous QGIS est disponible en annexe 3 (Figure 5.5).

Le choix de ces contraintes résulte de la concertation préalable à la structuration des données et d'initiatives personnelles, qui ont pu être revues par la suite, lors de tests.

### 5.2.3.3 Ajout de fonctionnalités secondaires

Plusieurs fonctionnalités secondaires ont été ajoutées. Même si elles ne correspondaient pas aux attentes initiales, leur développement paraissait logique et structurant durant le stage (MW). Un premier ajout est la paramétrisation de "thèmes de carte". Il s'agit d'enregistrer un ensemble de styles de la carte : quels couches et fonds de carte seront affichés, et quel sera le style d'affichage des éléments ponctuels/linéaires/surfaciques. Cette fonctionnalité de choix du thème se retrouve sur l'application *Input* et permet de faciliter la prospection. On peut choisir, par exemple, d'afficher les points avec un symbole neutre sur fond de carte géologique, avec une vue aérienne ou bien avec le relief.

Le deuxième ajout est la création de couches supplémentaires qui pourront également être complétées sur le terrain. La première est une couche linéaire qui permet d'enregistrer (si besoin) le chemin suivi lors de la prospection. Garder une trace de ce cheminement est utile car cela permet de corriger des éventuelles erreurs de localisation des points, ou bien d'écarts de numérotation entre l'enregistrement des points et les échantillons. Cette couche de cheminement peut être remplie à l'issue de la prospection. La deuxième couche ajoutée est une couche de polygones qui vise à enregistrer l'étendue de l'affleurement du gîte prospecté. L'objectif n'est pas de renseigner cette donnée systématiquement, mais seulement si l'information apportée par le polygone est pertinente (Figure 5.6).

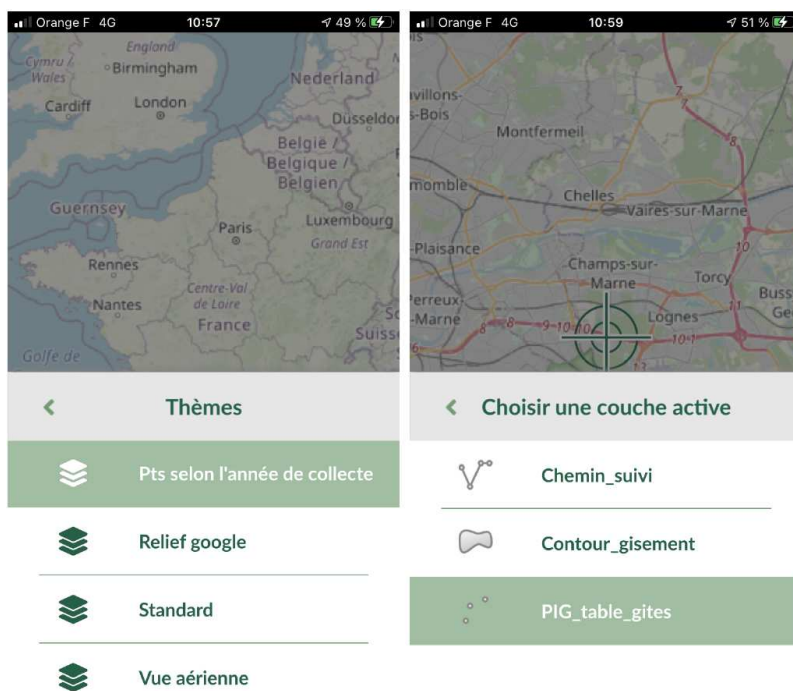


Figure 5.6 : Aperçu du menu de choix du Thème et de la couche active sur l'application *Input*. DAO : M. Waymel

### 5.2.3.4 Évaluation de l'application

Une fois que le projet QGIS adapté au terrain a été construit, et après avoir élaboré le formulaire, l'application a été testée par plusieurs membres de l'équipe. Le retour a donné lieu à des ajustements et des améliorations. Des valeurs par défaut ont été ajoutées et certains attributs ont été déplacés dans un autre onglet. Grâce à ces améliorations, l'application apporte un service tout à fait satisfaisant et répond aux besoins de l'équipe. Si ces besoins venaient à se modifier légèrement, les membres du projet ont la main pour faire les adaptations nécessaires. Plusieurs tutoriels vidéos ont été réalisés pour les guider. Par ailleurs, deux formations ont été réalisées à destinations d'utilisateurs et utilisatrices. Un aperçu des différents menus disponibles et des fonctionnalités du projet paramétrées pour l'application *Input* est disponible en annexe 2.

### 5.2.3.5 Évolution et déploiement de l'application

Afin de préserver les données du projet et pour une utilisation fluide de l'application et des données visibles, nous avons choisi de conserver un projet "bibliothèque" contenant tous les points, consultables par les utilisateurs. Par ailleurs, nous créons une version vierge de cette bibliothèque (conserver le formulaire vierge et les autres fonctionnalités) que chaque utilisateur peut librement installer et adapter pour faire ses propres relevés. Il suffira alors d'ajouter régulièrement les nouveaux points dans le projet. Ce procédé permet de développer des versions adaptées aux différents contextes sans surcharger l'application avec certains champs contraints administratifs (par exemple les départements français ne sont pas utiles pour des prospections en Espagne, les prospecteurs et prospectrices d'Auvergne-Rhône-Alpes ne sont pas systématiquement les mêmes que celles et ceux d'Aquitaine, etc.). par ailleurs, l'intégration des données au fil de l'eau sur une version temporaire de l'année à

partir des projets et prospections individuels permet d'augmenter la sécurité quant à la conservation des données (pas de risque qu'une manipulation hasardeuse fasse disparaître des données appartenant au projet commun). Plusieurs tutoriels ont été rédigés (MW) afin de pérenniser l'utilisation de l'application : ces tutoriels comprennent un guide pour l'installation du plugin *Mergin*, un guide pour l'utilisation projet vierge et des explications concernant sa configuration, et enfin un guide de la prise en main de l'application.

Ce nouveau fonctionnement a permis de déployer plusieurs projets adaptés aux différents terrains ou prospecteurs : en configurant un projet pour des prospections en Espagne, pour des prospections en Italie et pour les prospections dans le cadre du PCR PIGMENT-HO en Nouvelle Aquitaine (M. Lebon et L. Dayet).

## 5.3 La carte comme outil de recherche

Matlide WAYMEL, Emilie CHALMIN, Hélène SALOMON

Un autre objectif du stage était de participer au processus de recherche en lui-même. Mon rôle consistait donc aussi à faire ma part d'explorations autour du sujet à la lumière des outils que je maîtrise. Plus concrètement, les traitements informatiques possibles sur QGIS, appliqués à des données téléchargeables, permettent une autre approche complémentaire ouvrant des possibilités d'analyse et de représentation des données.

En utilisant les fonctionnalités "natives" de QGIS, il est possible d'effectuer des sélections par localisation. En particulier, utilisant les couches géologiques vectorisées du BRGM (Bureau des Recherches Géologiques et Minières) il est possible de représenter les formations géologiques contenant certains points, en fonction d'attributs préalablement définis ce qui permet de mettre en évidence l'étendue d'un gisement et de vérifier que des prélèvements proviennent du même gisement (Figure 5.7) ou encore de faire apparaître les gîtes qui présentent des caractéristiques similaires.

La carte et les traitements cartographiques peuvent donc amener un éclairage nouveau sur le projet, voire être utilisés comme outils de recherche à part entière.

### 5.3.1 QGIS : outil de génération semi-automatique d'atlas

L'atlas a l'avantage de présenter les points avec un contexte très local. Cependant, un atlas représentant chaque point individuellement présente le défaut contraire : on manque de recul, de vision d'ensemble. Cela constitue un problème puisque les prélèvements donnent aussi des indices sur le contexte des uns par rapport aux autres. C'est pourquoi, il paraît important de représenter, pour chaque point, les points voisins s'il y en a.

C'est pourquoi, nous avons travaillé à l'élaboration, dans un premier temps, d'un atlas "par zones". C'est-à-dire que l'atlas se centre non sur des points mais sur des zones (polygones, Figure 5.8). Ces polygones sont définis manuellement, ce qui permet de prendre en compte la répartition des points au cas par cas, et d'adapter la zone d'influence autour des points. Ces représentations sont un premier essai qui permettent de synthétiser les prospections dans des espaces géographiques liés à la densité des points prospectés. Cette solution, qui n'est pas complètement satisfaisante, nous fournit néanmoins les premiers outils de la constitution d'un futur atlas. Nous envisageons plusieurs possibilités qui seront déclinées ultérieurement. Pour le moment, nous nous concentrons sur cette première proposition en explicitant le principe et le déroulé de la démarche.

Les données étaient sous un format GeoPackage, intégrées dans un projet QGIS. QGIS propose un outil de génération semi-automatique d'atlas. Il faut pour cela construire une mise en page, indiquer qu'on souhaite générer un atlas et faire en sorte d'adapter le contenu textuel (plusieurs tutoriels sous forme de vidéos pour documenter la construction de l'atlas et de ses cartes ont été réalisés par MW, annexe 5).

L'atlas est constitué notamment d'une carte, centrée sur une des zones définies. Sur cette carte sont affichés les points avec un code couleur indiquant le type de prélèvement effectué. Sont ajoutés,



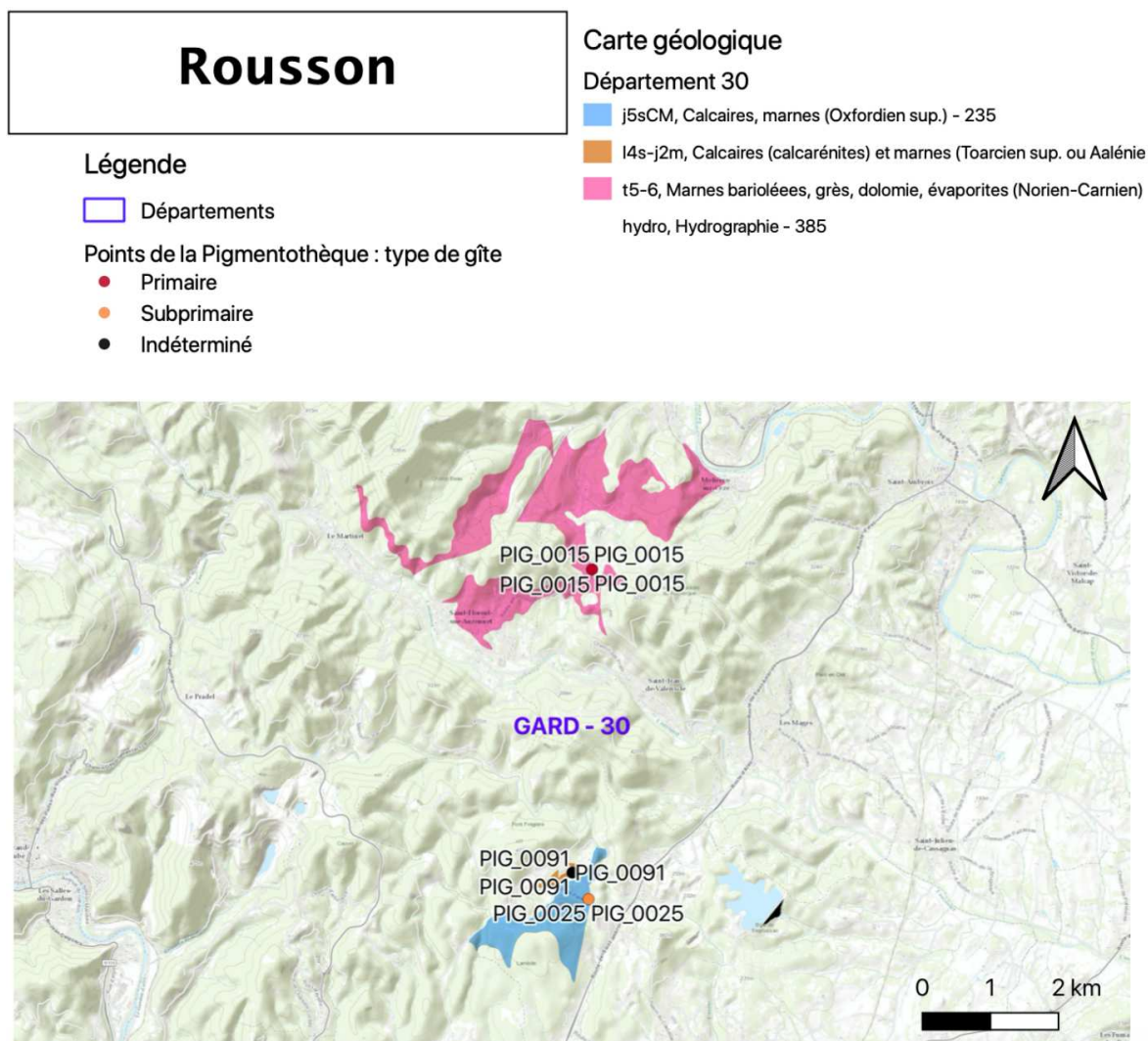


Figure 5.7 : Exemple de formations géologiques sélectionnées - Cela permet notamment de constater que les points PIG\_0091 et PIG\_0025 ont été réalisés dans la même formation (Bleue - calcaires, marnes de l'Oxfordien supérieur). DAO : M. Waymel

le tracé des départements qui permet de situer les points, ainsi qu'un fond de carte ESRI multiplié avec un ombrage du relief qui permet d'appréhender le contexte géophysique. Pour rendre compte de la géologie locale, les cartes géologiques vectorisées du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) ont été intégrées, puis il faut opérer une sélection par localisation afin d'afficher seulement les formations géologiques contenant un point ou plus. Pour cette étape, il faut veiller à donner à chaque couche géologique départementale le style qui lui correspond, la légende étant différente pour chaque département.

Une légende décrivant uniquement les types de prélèvement et de formations géologiques présents sur la page de l'atlas doit être ajoutée, ce qui permet de simplifier la lecture et la compréhension de la carte. Une table attributive partielle pour les points présents sur la page est aussi ajoutée. Les attributs sélectionnés apportent des informations supplémentaires sur les points en indiquant notamment l'époque géologique de la roche et sa lithologie (d'autres attributs pourraient être sélectionnés



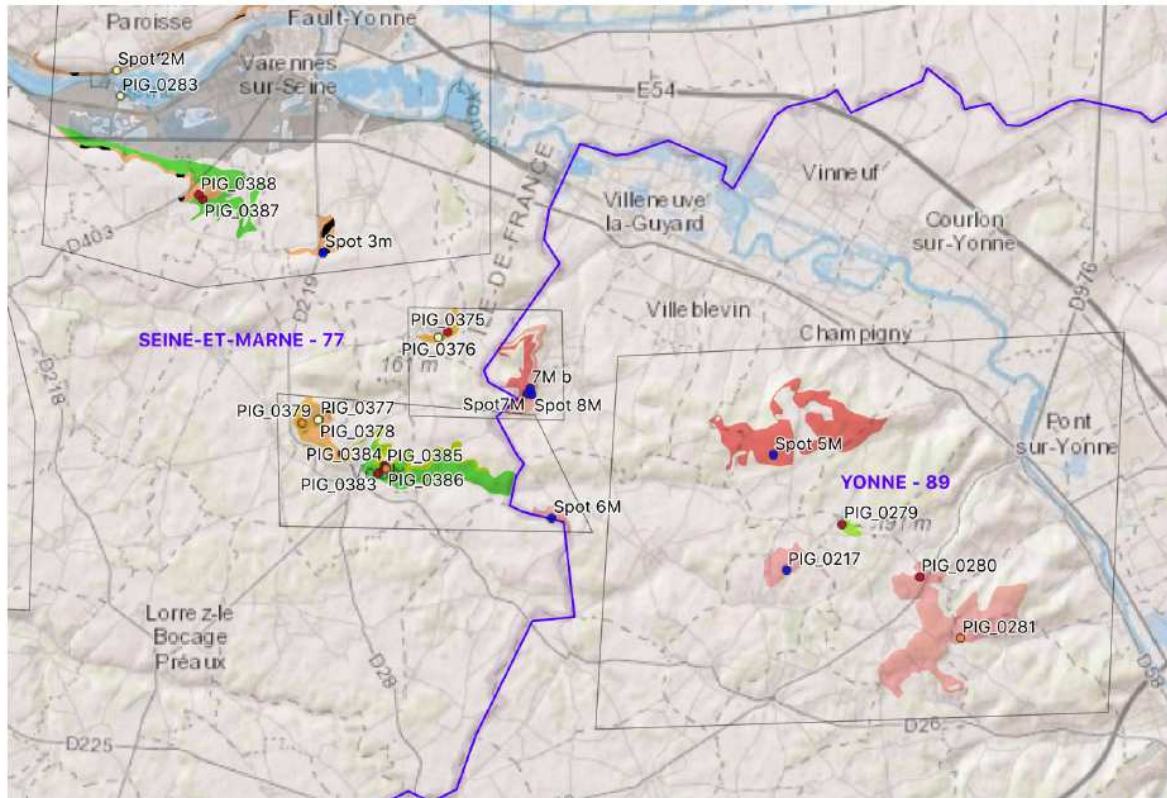


Figure 5.8 : Exemple de zones définies manuellement : l'atlas centrera ainsi les cartes des différentes pages autour de ces zones. DAO : M. Waymel

à la place des ces attributs). Un extrait de cette première version de l'Atlas est disponible en annexe 5.

L'atlas est un outil de recherche qui offre une mise en regard des prélèvements entre eux et synthétise leur contexte géologique. Cela permet de prendre du recul sur le travail effectué, de visualiser la répartition des prélèvements et d'appréhender l'avancement des traitements et caractérisations des échantillons.

Un autre apport important de l'atlas est qu'il permet de faciliter le partage des connaissances et de l'avancée du projet, que ce soit au sein de l'équipe, entre membres d'un projet de *Lithothèque*, pour la communauté scientifique, ou même pour un public "extérieur", moins initié à la recherche scientifique.

## 5.4 Descriptions gîtologique et pétrographique, adaptation à partir des lithothèques

Hélène SALOMON, Emilie CHALMIN, Claire CHANTERAUD, Magali ROSSI, Aurélie CHASSIN DE KERGOMMEAUX, Paul FERNANDES, Vincent DELVIGNE

La mise en place de la démarche depuis 2015 nous a conduit à nous questionner sur le choix du vocabulaire descriptif que ce soit à l'échelle du paysage, de de l'affleurement, ou encore des échantillons. C'est pourquoi nous avons adapté les lexiques destinés à la description des silicites aux différentes échelles avec un lexique destiné à la description des gîtes et un lexique adapté à la description méso- et microscopique des différents types de roches ferrugineuses récoltées.

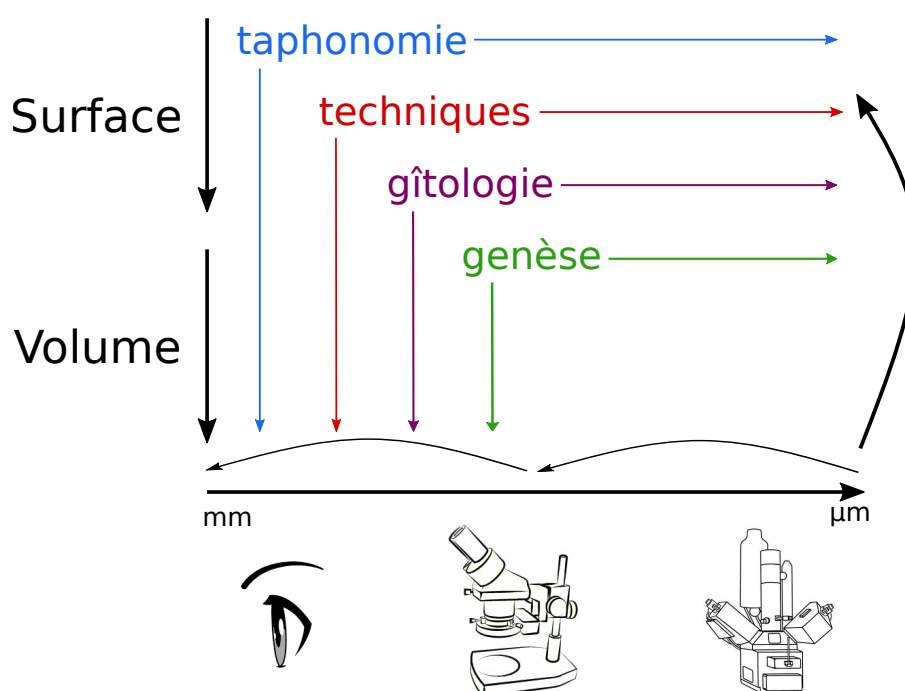


Figure 5.9 : Schéma rappelant le principe méthodologique de l'étude des matières premières minérales. DAO : H. Salomon

Le référencement des formations géologiques mettant à disposition des matières riches en fer (et en manganèse) et les descriptions des matières échantillonnées sont fondés sur les mêmes principes méthodologiques que ceux qui ont été développés dans le cadre du PCR *Réseau de lithothèques en AuRA* (Figure 5.9). Cependant, d'importants aménagements ont été opérés pour renseigner la très grande diversité et pluralité de ressources concernées, mais aussi pour s'adapter aux cadres géologiques différents, aux contextes archéologiques d'utilisation et aux divers types de vestiges pris en compte (vestiges cohésifs, restes déstructurés sur divers objets de la vie quotidienne, piégés dans les sédiments, matières réduites en poudre et appliquées sur des supports mobiles et immobiles). L'établissement d'une base de données permettant de décrire de manière homogène les matières colorantes quelle que soit l'origine disciplinaire ou le niveau de compétence des utilisateurs et des informateurs (étudiant ou chercheur en archéologie, géologie, chimie, etc.) et surtout qu'elle qu'en soit la nature,

nécessite la mise en place de fiches de description des gîtes, des prélèvements et des vestiges archéologiques sur le modèle des fiches conçues pour les silicites. Elles sont construites de telle sorte qu'elles renseignent les caractéristiques primaires et acquises des matières au cours de leur histoire (chaîne évolutive et chaîne opératoire) en prenant en compte les effets de la taphonomie. Les deux systèmes de description ont été pensés pour retracer le déroulement de l'observation et de la description, sur l'affleurement puis en laboratoire, des échantillons géologiques et archéologiques de matières colorantes. Nous avons intégré la description des caractéristiques physico-chimiques qui permettent d'aborder les critères sensibles, techniques et pratiques de la sélection de matières minérales dans le passé (couleur, résistance, homogénéité, texture, exploitabilité).

La nécessité d'adapter les fiches (champs descripteurs et définitions) aux matières riches en fer et en manganèse tient en particulier à la pluralité des contextes de formation et de dépôt, à la diversité des lithologies à prendre en compte (Figure 3.1) et au souci d'exprimer les qualités d'exploitabilité des matières en évitant des *a priori* concernant les modalités d'exploitation. Décrire les qualités de ces matières permet d'appréhender ce qui en fait des ressources choisies parmi les autres matières utilisées ou disponibles au cours du temps, autrement dit, de reconnaître les critères d'exploitabilité retenus par les populations qui en ont fait l'usage. Les descriptions se veulent donc factuelles, sans interprétation avant la synthèse des données enregistrées et adaptées à la diversité des matières et des vestiges archéologiques en matière colorante ou piégés à la surface d'autres vestiges et dans les sédiments archéologiques. Il a donc été nécessaire d'adapter aussi le concept de chaîne évolutive en prenant en compte le fait que l'évolution des matières tient tant au mode de formation, de transport, de dépôt secondaire et post-dépositionnels, qu'aux matières elles-mêmes, c'est-à-dire aux lithologies (Figure 3.1). Cependant, nous avons gardé des points d'accroche à même de faire dialoguer les bases de données de différents types de matières premières, en particulier des silicites. Ces points d'accroche sont essentiellement l'enregistrement des gîtes et un vocabulaire commun pour les faits observables et quantifiables et en utilisant les mêmes chartes de description qualitatives et quantitatives. De telle sorte qu'il devient possible d'interroger conjointement les ressources minérales de plusieurs types sans gommer les caractéristiques spécifiques des matières colorantes et de leurs contextes de formation, de découverte et d'utilisation.

L'année 2020 a permis de s'investir dans un gros travail de fond sur le fonctionnement des fiches descriptives (terrain et laboratoire) avec un retour sur les définitions des termes employés. Ces deux fiches descriptives sont associées à une notice et à un lexique. Nous avons donc poursuivi et complété le travail sur les fiches de description sur le terrain et en laboratoire (descriptions macro-mésomicroscopiques) et avons opéré de menus aménagements durant l'année 2021 avec les retours sur divers terrains (annexe 6).

La refonte d'une grande partie des définitions et la réorganisation du cheminement des descriptions ont donné matière à la rédaction d'un article sur les formations riches en fer documentées dans le cadre du PCR *Pigmentoθήque* (Chassin de Kergommeaux *et al.* (2021)) et d'un article introductif à l'étude des matières colorantes pour aborder les territoires paléolithiques (Salomon *et al.* (2021)). C'est principalement au sujet des lithologies et des états de surface que les descriptions et caractérisations méritaient d'être modifiées. Il a en effet fallu revoir à la hausse le nombre de termes descripteurs et aménager certaines définitions pour qu'elles puissent correspondre aux matières riches en fer ou en

manganèse. Il a ainsi été nécessaire de reconceptualiser les critères de description et leurs définitions, pour qu'il n'y ait aucun recouvrement entre différentes notions, donc entre différents termes (valeurs dans le tableur).

Cette notice adossée au lexique donne lieu à un nouveau document de travail beaucoup plus complet et cohérent, adapté à la *Pigmentotheque* qui concerne tant les objets archéologiques que géologiques. Il a pu être utilisé et éprouvé durant l'année 2021 et a permis la construction de la base de données présentée dans ce qui suit.

Par ailleurs, à la suite de nos collègues lithiciens, nous verserons le lexique de la *Pigmentotheque* au thésaurus PACTOLS. C'est pourquoi, nous participons d'ores et déjà aux travaux de structuration (en collaboration avec Vincent Delvigne, Paul Fernandes, Blandine Novel et Stéphane Renault) du thésaurus PACTOLS afin d'intégrer au plus tôt la structure et éviter des remaniements. De février à juillet, une séance de travail par mois a permis de structurer nos apports respectifs. L'arborescence du vocabulaire à verser au thésaurus est en cours de construction.

## 5.5 D'un long tableur à une base de données des échantillons

Claire CHANTERAUD, Hélène SALOMON, Aurélie CHASSIN DE KERGOMMEAUX et Emilie CHALMIN

Depuis 2015 le groupe de travail de *Pigmentoθήque* s'attelle à la définition d'un lexique partagé de description des matières colorantes dans le but de formaliser la documentation/description des roches de référence mais aussi des matières colorantes découvertes en contexte archéologique.

Ce travail permet aujourd'hui de proposer un protocole de description des roches colorantes à différentes échelles : macro-, méso- et microscopique (lexique macro- à microscopique). Ce protocole descriptif qui se veut le plus exhaustif et précis possible se présente sous la forme d'un ensemble de feuille de calcul regroupées dans un classeur (*Libre Office* ou *Excel*). Regroupant un grand nombre de données, il a pour vocation de i) comparer des matières colorantes archéologiques avec les roches de référence documentées par la *Pigmentoθήque*, ii) questionner l'histoire des roches avant prélèvement durant la Préhistoire (chaîne évolutive), leur histoire technique (chaîne opératoire) et les modifications post-dépositionnelles qu'elles ont subies.

Ainsi à l'issue de la construction du tableur fixant les champs de description, facilité l'utilisation de ce long questionnaire était rendu nécessaire, ce qui a motivé la réalisation des premiers pas vers une base de données permettant d'enregistrer, éditer et interroger l'ensemble des données de manière simple et efficace.

Le présent rapport présente la mise en place de formulaires de saisie, de modification et d'inspection des données via des macros VBA (UserForm) et de formules dans les feuilles de calculs permettant d'organiser la base, ainsi qu'une réflexion sur son ouverture à de multiples utilisateurs et utilisatrices.

### 5.5.1 Les données d'entrée : les critères de description des roches

Afin de décrire les roches de manière suffisamment précise de sorte qu'il est possible de les comparer entre elle mais aussi d'en discuter l'histoire, sept feuilles de calculs ont été créés. Chacune d'entre elle permet de documenter progressivement les critères pétrographiques de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique tout en documentant les caractéristiques génétiques et acquises. Ces sept feuilles concernent : la surface, la couleur, la structure, les lithoclastes, les bioclastes, les ooïdes et les espèces minérales (Figure 5.10).

Ces sept catégories d'informations sur la roche sont documentées par l'observation à l'aide de différents critères et caractéristiques qui répondent à un vocabulaire normé. Ces informations sont enregistrées dans la base grâce à des champs de description ouverts ou contraints. Les champs contraints sont alimentés par des listes de vocabulaire repris en profondeur durant l'année 2020 et sensiblement amenagé durant l'année 2021 (Figure 5.11). Les champs ouverts concernent majoritairement les commentaires laissés à la libre appréciation des auteurs, autrices, correcteurs et correctrices des fiches.

C'est dans l'optique de rationaliser le remplissage de ces tables et de conserver leurs caractéristiques (liste de termes, champs fermés, champs ouverts) et de sécuriser l'interaction avec la base (limiter les actions directes fréquemment sources d'erreurs dans le tableur) que les formulaires ont

The image shows a spreadsheet interface with a main data table and a sidebar. The main table has columns labeled A through K. Column A is 'Numéro d'échantillon'. Column B is 'couleur externe 1'. Column C is 'couleur externe 2'. Column D is 'couleur externe 3'. Column E is 'commentaire sur la couleur externe'. Column F is 'éclat'. Column G is 'commentaire éclat'. Column H is 'Traces d'altérations physiques'. Column I is 'Type d'altérations physiques'. Column J is 'Degré d'altérations physiques'. Column K is 'Commentaires libres sur les altérations physiques'. The table contains 20 rows of data, with the first row highlighted in grey. The sidebar on the right contains a list of tabs: 'descrip\_cortex', 'descrip\_couleur', 'descrip\_structur', 'descrip\_lithodolaste', 'descrip\_biodolaste', 'descrip\_ooides', 'descrip\_mineral'. The 'descrip\_cortex' tab is highlighted in red.

Figure 5.10 : Tableau de donnée ouvert sur la feuille de documentation du cortex de la roche, dans l'encadré sont identifiés les différentes fiches du classeur rassemblant les données sur les divers critères de description des roches. DAO : C. Chanteraud

**Fiche de description des minéraux de la roche**

Couleur	Transparence	Eclat	Habitus	Morphologie	Sphéricité
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           ras            tabulaire            tablettes hexagonales            lamellaire            en tonne et (columnaire)            aciculaire (ou en aiguille)            filamenteux ou fibreux            botryoidal         </div>		

Figure 5.11 : Exemple de champs contraint dans le cas de l'habitus des espèces minérales. DAO : C. Chanteraud

été réfléchis et construits.

## 5.5.2 Construction des formulaires

### 5.5.2.1 Carte d'identité des échantillons

La conservation et la traçabilité du numéro des échantillons dans la base de données sont cruciales pour l'analyse scientifique des données acquises. C'est pourquoi la pérennité de ce numéro et les informations administratives liées à l'échantillon est le premier point à avoir été établi.

En premier lieu et afin de d'organiser la base de manière efficace et cohérente, nous avons veillé à rendre accessibles simplement les informations. En particulier, le numéro de l'échantillon a été choisi comme point de pivot entre toutes les feuilles du tableur.

Ainsi le formulaire associé à la feuille « ID » (identité) de l'échantillon a-t-il été pensé comme pilier de la base de données (Figure 5.12). Il permet à la fois d'entrer un nouvel échantillon dans la base, de modifier les informations administratives d'une référence existante, et de consulter les références enregistrées et les données qui leur sont associées dans la base.

C'est à partir de cette feuille ID que les lignes dans toutes les autres feuilles du classeur sont créées lors de l'enregistrement d'un nouvel échantillon.

Après vérification qu'il s'agit bien d'un nouveau numéro, le formulaire transmet ce nouveau numéro d'échantillon à toutes les feuilles du tableur via le code VBA afin qu'aucun échantillon ne soit oublié dans les différentes feuille et pour faciliter la tâche des utilisateurs et des utilisatrices.

Si le numéro d'échantillon existe déjà, le formulaire renvoie un message d'erreur. Il faut donc passer par l'édition de la référence pour ajouter ou modifier les informations qui lui sont liées.

La référence de l'échantillon en tête de ligne ne peut plus être supprimée à partir les formulaires. Il est toujours possible d'éditer manuellement la fiche pour supprimer une ligne, mais cette opération est fortement déconseillée car il faudra alors veiller à supprimer la ligne dans toutes les feuilles du classeur.

L'édition du numéro d'échantillon reste possible à partir du formulaire ID. Ici encore, il faut être très attentive à ne pas faire d'erreur sur l'édition du numéro d'échantillon, afin qu'elle ne soit pas généralisée à l'ensemble des feuilles pour l'échantillon concerné.



Figure 5.12 : Formulaire ID permettant d'entrer les informations administratives de l'échantillon. DAO : C. Chanteraud

### 5.5.2.2 Implémenter la base de données

Une fois la colonne de référence fixée (numéro d'échantillon), les différents formulaires ont été construits pour compléter la base de données. Ces formulaires ont été réalisés grâce à l'outil "Userform" dans l'éditeur *VisualBasic* du logiciel *Excel*. Il permet de créer aisément des macros sous la forme de formulaires de saisie générant l'implémentation de la base de données.

La structure des formulaires est la même pour les sept feuilles du classeur. Seules changent les informations enregistrées dans chaque feuille. La base du formulaire de saisie se compose ainsi de plusieurs outils : un outil de recherche du numéro d'échantillon, un outil d'affichage des données qui lui correspondent et d'affichage de l'enregistrement des modifications apportées à ces informations tels que les ajouts, modifications et suppressions (Figure 5.13).

Les informations concernant l'échantillon sont entrées soit librement en alimentant les champs ouverts (boîte de texte), soit par un choix parmi différentes valeurs dans une liste fermée (les valeurs sont les termes contraints renvoyant au lexique). Ces listes sont présentes dans une feuille (« liste ») à la fin du classeur dans laquelle le formulaire vient chercher les valeurs proposées pour compléter les champs fermés (Figure 5.14).

Une fois la modification validée, le formulaire renvoie un message à l'utilisateur lui signifiant l'ajout des informations dans la ligne de l'échantillon.

### 5.5.2.3 Synthèse des données

La base de données a pour vocation de stocker un grand nombre d'informations sur les échantillons disponibles, conservés et analysés dans la Pigmentotheque : administratives, caractéristiques macroscopiques, géochimiques, minéralogiques, etc. De telle sorte qu'il devient possible de consulter la

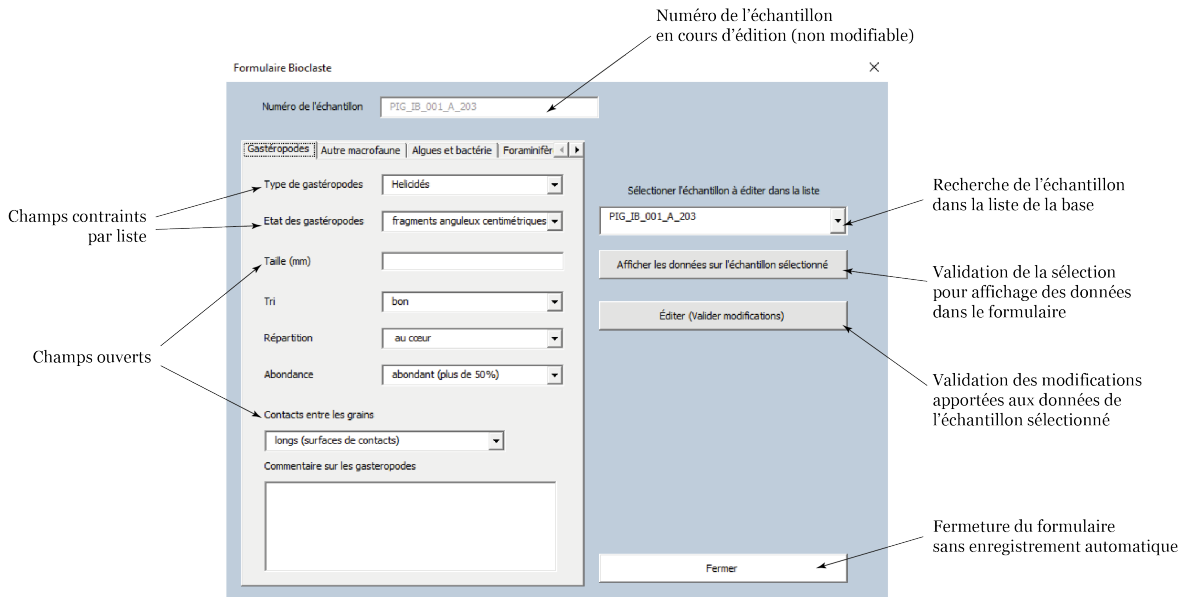


Figure 5.13 : Présentation d'un formulaire type avec les boutons de recherche, de modification et d'enregistrement. DAO : C. Chanteraud

disponibilité de différentes informations (ex : type d'analyse, observation pétrographique, etc.) et leur synthèses (ex : détermination du type de roches, etc.), deux feuilles de synthèse ont été créées et liées au reste du tableur.

### Feuille résumé ou synthèse

Cette feuille est complétée à partir des données collectées par les descriptions de l'échantillon aux différentes échelles. Ce qui permet de définir le type de roche et faire la synthèse des informations géologiques qui la concernent (Figure 5.15a). Pour le moment le formulaire complété par cette feuille est encore en développement. Sa mise en place est plus complexe que les premières fiches du tableur car celui-ci demande de créer des liaisons avec les caractéristiques enregistrées dans les feuilles précédentes et de conditionner les réponses aux caractéristiques retenues pour rédiger le résumé ou la synthèse concernant la roche ou l'échantillon.

Feuille "résumé" contenant la synthèse des observations et descriptions aux différentes échelles permettant de déterminer le type de la roche et les informations géologiques qui lui sont liées.

### Feuille préparation

Cette feuille est remplie manuellement par l'opérateur ou l'opératrice le jour où sont effectuées des nouvelles préparations sur l'échantillon ou sur un objet/échantillon du même gîte. Les cellules sont complétées par la date à laquelle est réalisée la préparation et le nom du préparateur ou de la préparatrice (Figure 5.15b).

Une formule *Excel* lie les informations de cette feuille avec la fiche ID de l'échantillon, ce qui permet de compléter automatiquement par "oui" ou "non" les colonnes "type de préparation" dans la feuille ID. Les cellules "préparation" de la fiche ID sont conditionnées par la formule suivante :

	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA												
	Sphéricité de l'objet		Rugosité de l'objet		Angularité des arêtes (schéma)		Emoussé des arêtes		Emoussé néocortical		Cimentation néocortical		altération biologique ou chimique de surface		Degré d'altération biologique et chimique (global)		couleur de la trace		min.chromo		Abondance (cf. charte)			
1																								
2	pseudo-sphérique	arrondi	RAS	non observée	absent	pas de néocortex	absent	absent	absent	RAS	aucune	aucune	RAS	aucune	aucune	hématite	aucun							
3	sub-sphérique	subarrondi	absente (surface)	absente	léger (sur moins de	émoussé léger (sur	faible (sur moins de	aucune	faible (sur moins de	absent	rouge	rouge	absent	rouge	rouge	goethite	abondant (plus de							
4	aplatt	subanguleux	faible (grains à peine	absente	moyen (sur 10 à 25 %	émoussé moyen (sur	moyen (sur 10 à 25 %	encroûtement	faible (sur moins de	absent	rose	oxydes de manganèse	faible (sur moins de	rose	rose		fréquent (de 25 à 50%)							
5	plat	anguleux	moyenne (grains ou	algués	fort (sur 25 à 50 % de	émoussé fort (sur	moyen (sur 10 à 25 %	revêtement	moyen (sur 10 à 25 %	violer	orange	galène	fort (sur 25 à 50 % de	violer	violer		rare (de 10 à 25%)							
6	indéterminé	non observé	forte (grains très bien	algués et obtuse	très fort à total (sur	émoussé très fort à	forte (sur 25 à 50 % de	hydrolyse	fort (sur 25 à 50 % de	orange	brun	calcite	très fort à total (sur	orange	orange		très rare (moins de							
7	non observé	indéterminé	indéterminée	RAS	indéterminé	émoussé très fort à	très fort à total (sur	dissolution	très fort à total (sur	brun	jaune	autres (à préciser)	indéterminé	brun	brun		indéterminée							
8	non pertinent	non pertinent	non observée		non observé	indéterminé	indéterminé	dissolution	indéterminé	jaune	noir	indéterminé	indéterminé	jaune	jaune		non observée							
9					non pertinent	non observé	non observé	goître-dissolution	non observé	noir	blanc	non observé	non observé	noir	noir		non observée							
10								dissolution couvrante	non observé	blanc	gris	non observé	non observé	blanc	blanc									
11								plage-dissolution	non observé	gris	indéterminée	non observé	non observé	gris	gris									
12								patine	non observé	indéterminée	non observée	non observée	non observée	indéterminée	indéterminée									
13								recristallisation	non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									
14								épigénie	non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									
15								pseudomorphose	non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									
16								nécrose/colmatage	non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									
17								dessication	non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									
18								indéterminée	non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									
19								non observée	non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									
20									non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									
21									non observé	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée	non observée									

Figure 5.14 : Feuille du tableur contenant les listes de vocabulaire de description de chaque champs contraint alimentant les formulaires de description. DAO : C. Chanteraud

The figure displays two sheets from a spreadsheet application, labeled 'a' and 'b'. Sheet 'a' is a summary sheet with columns A through P, each representing a different geological or preparation parameter. Sheet 'b' is a preparation sheet with columns A through J, detailing the steps taken for each sample.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
<b>Numéro d'échantillon</b>	<b>Type de roche</b>	<b>type lithologique</b>	<b>type de facies</b>	<b>couleur</b>	<b>type géologique</b>	<b>Description sommaire de la matière</b>	<b>catégorie de géomatériau</b>	<b>catégorie taphonomique</b>	<b>Environnement de dépôt</b>	<b>Eon stratigraphique</b>	<b>Ere stratigraphique</b>	<b>Système/Période</b>	<b>Série stratigraphique</b>	<b>Etage stratigraphique</b>	<b>Age de la roche</b>
PIG_IB_001_A_203	sedimentaire								talus	Précambrien	Mésozoïque				
PIG_IB_004															
PIG_IB_005															
PIG_IB_006															
PIG_IB_1007															

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<b>Suivit des préparations des échantillons</b>									
<b>Numéro d'échantillon</b>	<b>cassure fraîche</b>	<b>coupe</b>	<b>Polissage</b>	<b>Inclusion en résine</b>	<b>lame mince</b>	<b>lame mince couverte</b>	<b>poudre</b>	<b>tamisage</b>	<b>empastillage</b>
PIG_IB_001_A_203	Claire Chanteraud 13/10/2021	Claire Chanteraud 13/10/2021	Claire Chanteraud 13/10/2021	Claire Chanteraud 13/10/2021	Claire Chanteraud 13/10/2021	Claire Chanteraud 13/10/2021	Claire Chanteraud 13/10/2021	Claire Chanteraud 13/10/2021	Claire Chanteraud 13/10/2021
PIG_IB_004									
PIG_IB_005									
PIG_IB_006									
PIG_IB_1007									

Figure 5.15 : a - gauche : Feuille "résumé" contenant la synthèse des observations et descriptions aux différentes échelles permettant de déterminer le type de la roche et les informations géologiques qui lui sont liées. b - droite : Feuille "préparation" contenant la synthèse des différentes préparations réalisées sur les différents échantillons collectés sur le même gîte (optionnel). DAO : C. Chanteraud

**=IF(preparation !B3<>"";"Oui";IF(preparation !A3<>"";"Non";""))**

*Si la cellule B3 de la fiche "préparation" est non vide alors "oui" est inscrit dans la cellule, mais si la cellule B3 de la feuille "préparation" est vide alors "non" est inscrit dans la cellule. Ici, B3 est la cellule de la feuille « préparation » concernant la réalisation d'une coupe polie.*

### **Feuille rangement**

Cette feuille permet de suivre toutes les opérations de conditionnement, stockage, déplacement et utilisation de l'échantillon. Cette feuille doit être impérativement remplie par l'opérateur ou l'opératrice à chaque fois qu'un échantillon est sorti de sa réserve permanente ou non permanente quelque soit le type d'action opéré sur l'échantillon. Chaque champ de cette feuille doit porté mention de la date. Dans le cas du stockage sans mention d'une autre date, l'échantillon est considéré comme présent dans le dernier lieu indiqué dans le tableur (Figure 5.16a).

Cette fiche de suivi ne supplée pas au renseignement rigoureux du cahier de laboratoire individuel de chaque utilisateur ou utilisatrice et des institutions et laboratoires visités. La multiplication des lieux d'enregistrement de ce type d'information est le meilleur moyen d'assurer le meilleur suivi possible des objets et échantillons ainsi que des données produites.

### **Feuille analyse**

La feuille "analyse" permet de visualiser l'ensemble des analyses réalisées sur l'échantillon sélectionné. Elle est implémentée automatiquement depuis les fiches dédiées à chaque analyse (Figure 5.16b).

La formule employée pour lier les deux feuilles est rédigée comme suit :

**=IF(ICP !C3<>"";ICP !C3;IF(ICP !\$A3<>"";"";""))**

*Si la cellule C3 de la fiche ICP est non vide alors la cellule de la feuille analyse est remplie avec la valeur enregistrée dans la cellule C3 de la feuille mais si cette cellule C3 de la feuille ICP est vide alors la cellule de la feuille analyse est laissée vide.*

Ces quatre feuilles de synthèse existet pour simplifier à la fois la gestion des échantillons et des données qui leur sont liées mais aussi la recherche dans la base par des utilisateurs et utilisatrices contribuant au projet ou extérieurs. Néanmoins la base ne peut être accessible sans une gestion réfléchie des accès et de son administration.

### **5.5.3 Administration d'une base de données en construction**

Le tableur présenté précédemment et une base de données en construction développée pour répondre à des questions archéologiques concernant les roches ferrugineuses et manganeuses. Elle a donc pour objectif d'être partagée et accessible à la communauté scientifique tant d'un point de vue de la consultation que de la contribution, ce qui implique une gestion rigoureuse et réfléchie, d'autant que celle-ci se complexifie à chaque nouveau niveau d'information ajouté et avec chaque nouvel opérateur et nouvelle opératrice.

A		B	C	D	E	F	G	H		
Suivit des déplacements et conditionnement des échantillons										
	Numéro d'échantillon	Type de conditionnement	Lieu stockage	Actuel Laboratoire ou institution de stockage	Statut	Nom responsable de l'étude	Suivit des utilisateur.trice.s	Détail des actions réalisées + date		
1										
2	PIG_IB_001_A_203	mini-grip le 21/07/2021 -	armoire couloir nord rez de chaussé 21/07/2021 -	EDYTEM le 21/07/2021 -	en cours d'étude	Claire Chanteraud	Claire Chanteraud 21/07/2021 -	Préparation de l'échantillon polissage et observation bino de la coupe polie 21/07/2021 Claire Chanteraud -		
3	PIG_IB_004									
4	PIG_IB_005									
5	PIG_IB_006									
6	PIG_IB_007									
7										
8										
A		B	C	D	E	F	G	H		
	date	photo (date - lieu)	photo_fichier	Loupe (Date - lieu - instrument)	Loupe_fichier	microscope (Date - lieu - machine)	microscope_fichier	MEB (Date - lieu - machine)	MEB_fichier	DRX (Date - lieu - ma
1										
2										
3	PIG_IB_001_A_203	Images 21/07/2021	JPGS403, JPGS404, JPGS405, JPGS405 (21/07/2021) ;	murr		edytem		mizou	12/21	
4	PIG_IB_004									
5	PIG_IB_005									
6	PIG_IB_006									
7	PIG_IB_007									
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										

Figure 5.16 : a - gauche : Feuille "rangement" contenant les informations de suivi "physique" de l'échantillon. Cette feuille permet de localiser à tout moment l'échantillon et ses déplacements, et d'identifier les derniers opérateur ou opératrice ayant utilisé l'échantillon. b- droite : Feuille « analyses » contenant les informations de suivit « analytique » de l'échantillon. Permet de visualiser les données à analytique disponible sur l'échantillon ou les échantillons sélectionnés. DAO : C. Chanteraud

Il est ainsi indispensable de fixer des rôles dans l'administration de celle-ci : administrateurs/administratrices, contributeurs/contributrices, utilisateurs/ utilisatrices.

Le rapport propose ici des pistes de réflexion sur les rôles (Qui) et leurs modalités d'interaction avec la base (Comment) :

#### *Comité d'administration*

- discussion et prise de décision sur les objectifs et l'orientation de la base et sur les travaux à mener ;
- commanditaire des modifications structurelles de l'architecture de la base ;
- évaluation et validation des demandes d'accès permanent ou temporaire à la base ;
- réflexion juridique sur le statut de la base et la gestion des données qui y sont stockées (ajout, suppression, partage, propriété intellectuelle, etc.).

#### *Administrateur général et administratrice générale*

- Suivi des contributions : validation/refus des ajouts et modifications à la base ;
- Administration des rôles : attributions de droits sur les interactions avec la base ;
- Suivi du développement de la base : opérateur ou opératrice des modifications structurelles de l'architecture de la base.

#### *Administrateurs et administratrices*

- ajout, modification et suppression de données sous contrôle de l'administrateur général ou de l'administratrice générale (validation obligatoire) ;
- partage de données : envoi de données liées aux objets et échantillons après requête des utilisateurs et examen des requêtes par le comité d'administration.

#### *Utilisateurs et utilisatrices*

- accès consultatif à la base : visualisation des données, requête d'accès/partage de données auprès du conseil d'administration ;
- accès à la structure vide de la base pour utilisation personnelle ou contribution à la base générale.

Dans l'ensemble des rôles proposés ici, il est sous entendu que la gestion de la base est réalisée par des membres de la société académique, toutefois il est aussi important d'envisager le recours à des professionnels hors communauté académique pour développer ou améliorer certain aspect de la base.



## 5.5.4 Perspectives

### 5.5.4.1 Une base de données géoréférencée...

Un objectif important de la recherche sur les matières colorantes est de documenter les ressources minérales dans le paysage géologique et topographique de la zone géographique ciblée. Par ailleurs la recherche de provenance des matières archéologiques et toujours un aspect prégnant de cette recherche et enfin, à plus long terme, un croisement des trajectoires de transport et de collecte des ressources : matières siliceuses, matières colorantes, ressources alimentaires animales, etc., reste un objectif à atteindre.

Ainsi l'intégration de la base de données dans un référentiel spatialisé permettra une recherche dans la base non plus sur leurs caractéristiques minéralogiques ou géochimiques des références enregistrées mais aussi sur leur localisation dans l'espace. C'est pourquoi le point de pivot entre les deux bases de données (gîtes et échantillons) est le n° de gîte qui reste présent dans les deux bases. Associé au n° de gîte, la géométrie enregistrée, permet de donner une géométrie aux échantillons. Ce dernier raccord doit encore être réalisé entre les deux bases de données.

L'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) semble alors s'imposer afin de pousser plus loin encore l'exploitation des données, que leur seule visualisation sur carte. En effet les différents outils mathématiques disponibles dans un SIG ouvrent la possibilité d'études croisées des trajectoires des ressources minérales, avec ou sans intervention humaine.

### 5.5.4.2 ... consultable en ligne...

Afin d'ouvrir la base de données à la communauté scientifique, permettre un accès en ligne apparaît comme le moyen le plus simple et efficace de toucher le public souhaitant interagir avec la base.

Cette perspective nécessite de créer un site internet dédié à la base de données et aux PCR *Pigmentotheque*, mais aussi à la gestion des droits d'accès et d'interaction avec la base. Si cette mise en place ne nécessite pas d'opérations techniques extrêmement complexes, la question juridique de la propriété intellectuelle et du partage des données est, elle, bien plus complexe à prendre en compte par notre petite communauté. Elle doit être réfléchie et discutée collectivement, en suivant les travaux à ce sujet engagés par le GdR *SILEX*. Les différents statuts de créateurs et créatrices de données scientifiques, administrateurs et administratrices, gestionnaires, hébergeur du site internet, etc. dépassent largement le cadre du PCR *Pigmentotheque*. C'est pourquoi, nous suivons et travaillons avec les collègues du GdR *SILEX*, d'une part, et pourquoi nous développeront les aspects de base de données en ligne dans le cadre de l'ANR *Color-Sources*.

### 5.5.4.3 ... et interopérable

L'interopérabilité d'une base réside dans sa capacité à être utilisée sur tout type de poste de travail, sans nécessiter le téléchargement de logiciels particuliers (et/ou payant) mais surtout cela signifie que l'organisation des données de la base est compatible avec d'autres bases de données du même type.

De ce point de vue notre base de données remplit en partie les critères de l'interopérabilité : un logiciel de type tableur suffit pour ouvrir et interagir avec la base. Par ailleurs son architecture fondée sur le numéro d'échantillon et du gîte permettra de la joindre à d'autres bases de données, mais surtout de l'intégrer dans un SIG déjà existant.

Toutefois la base présentée ici est issue d'un développement sous *Excel* qui n'est pas totalement réutilisable sur n'importe quel ordinateur avec n'importe quel tableur. En effet, les macros VBA ne sont pas toujours compatibles sur *Libre Office* ou autre tableur et elle crée un fichier lourd qui demande une capacité de calcul important de la part de l'ordinateur.

La transformation de la base vers un format complètement interopérable peut être envisagé par la transformation du code VBA vers un code *Python* compatible avec tous les ordinateurs, offrant de meilleures performances de calcul et une versatilité de l'interface d'interaction.

## 5.6 Prise de vue des échantillons : contrôle de la couleur

Giorgia SARDELLI et Hélène SALOMON

Cette courte note fait état du pas à pas adopté pour le rendu des couleurs. Premièrement, les écrans des ordinateurs ont été calibrés et devront être recalibrés tous les deux à trois mois. Pour l'acquisition des photographies d'objets et d'échantillons, nous n'avons pas trouvé de solution avec des logiciels libres, malgré plusieurs essais. La compatibilité avec les mires colorimétrique fait défaut, à l'heure actuelle, pour développer les photos en prenant en compte les mires les plus simples d'utilisation.

Les paramètres d'acquisition ont été fixé avec le matériel de prise de vue partagé à EDYTEM afin de pouvoir lire et comparer correctement les photographies des différents objets. L'équipement utilisé pour les photographies d'objets est le suivant : un boîtier d'appareil photographique Nikon D90, un objectif Nikon AF-S Micro 60 mm f/2.8 G ED, des statifs, des panneaux LED – iDV Led Lighting Aurora, un calibre d'écran Spyder 5 Elite, une mire colorimétrique Datacolor SpyderChekr 24 et, pour le traitement post-production, le logiciel Adobe Lightroom. Les photos ont été acquises dans une salle sans lumière naturelle. Grâce à l'utilisation de la mire colorimétrique Datacolor et du logiciel Lightroom, les photos au format .RAW ont été calibrées sur le gris moyen avec les valeurs de blanc et noir de W 90 % et N 4 % et l'augmentation de l'exposition de +2.00.

## **5.7 Traitements mécaniques des matières riches en oxydes de fer : apport de la tracéologie**

Iris QUERENET ONFROY DE BRÉVILLE et Hélène SALOMON, avec la participation de Marianne CHRISTENSEN, Giorgia SARDELLI et Andréa JULIEN

### **5.7.1 Contexte de mise en place des expérimentations et objectifs**

#### **5.7.1.1 Objectif des expérimentations : caractériser les stigmates d'abrasion sur des matières ferrugineuses**

Ces expérimentations ont été effectuées pour comprendre les relations entre les types de matières colorantes ferrugineuses, les surfaces des outils abrasifs, la formation des traces d'usure par abrasion des matières colorantes ainsi que les caractéristiques des traces d'usure sur les surfaces abrasées. Ces expérimentations n'ont pas été conçues pour évaluer une question archéologique spécifique, mais plutôt pour tester la fiabilité des interprétations des analyses tracéologiques sur les matières colorantes.

Le but final de l'expérimentation était de créer des traces sur différentes matières pour pouvoir générer un référentiel en contrôlant les paramètres fondamentaux : nature des matières premières utilisées, gestuelle, temps, utilisation d'adjuvant. Pendant les expérimentations, le but général était de produire de la poudre fine et régulière.

#### **5.7.1.2 Lacunes : manque de standardisation dans la méthodologie (entre autres)**

Les études tracéologiques appliquées aux matières colorantes ont connu des avancements depuis quelques années. Mais il y a toujours un manque de référentiel tracéologique qui soit réaliste, uniforme et exhaustif, qui, à son tour, a créé un manque de vocabulaire et de modèle de description fixe. Il n'existe pas de définitions explicitement établies à propos des types de traces, ni y a-t-il de consensus sur la façon de les décrire. La pertinence des différentes techniques d'observation et de caractérisation des usures reste à évaluer.

#### **5.7.1.3 Pertinence de cette recherche : créer un référentiel expérimental fiable et reproductible pour l'abrasion sur des différentes matières colorantes**

La meilleure manière d'approfondir les connaissances des traces sur des pièces archéologiques est donc de réaliser des expérimentations systématiques et reproductibles. L'objectif de cette étude est donc de créer un référentiel de ce type et de produire une série d'éléments en tant que références pour des comparaisons avec des vestiges archéologiques. Plus spécifiquement, les traces sur les matières colorantes seront étudiées pour mieux comprendre la formation de stigmates liée aux actions mécaniques d'abrasion, qui sera la base pour des futures études sur davantage de type d'actions mécaniques comme, par exemple, le raclage. Les résultats analytiques sont basés à la fois sur les attributs observés ainsi que sur les expériences acquises au cours des expériences. Les résultats de ces analyses tracéologiques doivent être considérés comme des interprétations plutôt que des déterminations.

#### **5.7.1.4 Choix des matières premières et des paramètres expérimentaux**

Afin de limiter de manière raisonnable et réaliste les expérimentations à mener, le nombre de paramètres entrant en jeu a été limité en posant des hypothèses de travail a priori, basées sur les données

issues de plusieurs secteurs. Le premier étant la littérature, en particulier les réflexions et expérimentations de Caroline Hamon, Tammy Hodgkiss, et Daniella Rosso (Hamon, 2004 ; Hodgkiss, 2010 ; Rosso et al., 2017). Le deuxième étant les expériences personnelles d'Hélène Salomon à l'issue de plusieurs expérimentations effectuées au préalable. Et le dernier est issu d'observations faites par l'auteur sur une collection de blocs de matières colorantes issues d'expérimentations menées en 2012 par HS. Ces expériences ont conduit à l'hypothèse de travail suivante : les adjuvants, le temps, le geste et la granulométrie des matières mises en contact confèrent des caractéristiques observables et mesurables aux traces d'usure sur la matière colorante quand elle est abrasée.

Quatre matières colorantes de composition, de pétrographie et de granulométrie différentes ont été choisies pour effectuer les expérimentations : l'hématite hydrothermale de Bordezac (Gard), la bauxite de Cazouls-lès-Béziers (Hérault), le grès ferrugineux de Fontenaille (Yonne) et l'hématite oolithique de Huy (Wallonie, Belgique) (Figure 5.17). Ces matières colorantes ont été récoltées dans le cadre du PCR Pigmentothèque (projet collectif de recherche SRA AuRA) conservée au laboratoire EDYTEM (Bourget-du-Lac, Savoie). Ces matières présentent des granulométries et des associations de minéraux différentes. Les quatre roches ont donc des qualités pétrophysiques tranchées, comparables aux matières d'ores et déjà reconnues parmi les matières utilisées durant le Paléolithique.

Pour chacune des quatre matières, le bloc de matière colorante a d'abord été abrasé à sec. Puis, pour tester les adjuvants, l'eau a été appliquée à un second bloc, puis le gras à un troisième. Le choix de l'eau se justifie parce que, quand elle s'évapore, il reste une poudre. L'eau, à température ambiante, venait du robinet. Le gras a été testé parce qu'il crée une pâte utilisable a posteriori. Le gras était du gras de veau précédemment congelé, puis décongelé la veille des expérimentations.

Pour tester les effets du temps, les échantillons ont été abrasés pendant 3, 10, 30 et 60 minutes, temps suffisamment espacés pour obtenir des variations des caractéristiques des stigmates d'abrasion. L'abrasion de longue durée (10 minutes minimum) a été effectuée sur une seule matière, celle provenant de Bordezac. Celle-ci enregistre bien les traces et est bien cohésive.

Pour tester les mouvements (Figure 5.18), un mouvement de va-et-vient sur une table de travail, qui est la surface abrasive sur laquelle les matières colorantes sont abrasées, (en grès, roche volcanique ou voile abrasif) était le témoin de référence. Les expérimentations ont aussi testé des mouvements circulaires sur une autre table de travail, et de va-et-vient combinés avec des mouvements circulaires. Ont également été testés des mouvements de va-et-vient avec un abraseur (surface abrasive mobile). Le mouvement en va-et-vient longitudinal a été utilisé car il est simple et intuitif pendant l'abrasion ; le mouvement circulaire, parce que ce mouvement semblait produire des stigmates de stries courbées ; l'abraseur a été exploité : parce que des tables de travail n'étaient pas forcément disponibles ni transportables, un abraseur aurait peut-être servi. L'abrasion circulaire simple à sec n'a été effectuée que sur les deux matières les plus susceptibles d'enregistrer des traces, Bordezac et Cazouls-lès-Béziers.

Pour tester la granulométrie, du grès de Fontainebleau a servi comme témoin, tandis que de la roche volcanique et des voiles abrasifs de P80, P240 et P400 ont été utilisés. Le grès a été sélectionné parce qu'il présente des grains réguliers avec une granulométrie constante et connue. Les voiles,

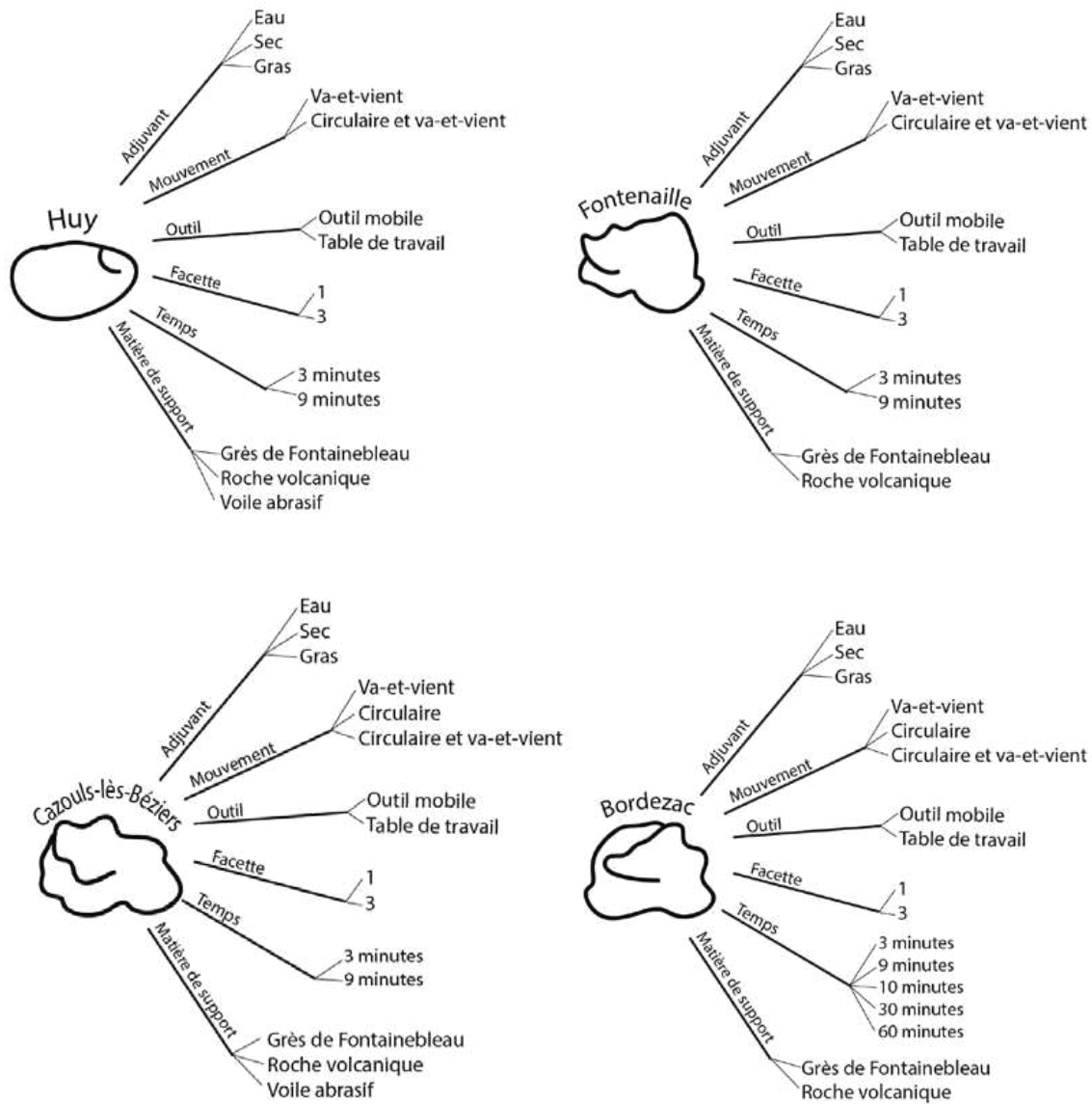


Figure 5.17 : Les différentes expérimentations effectuées sur les quatre matières colorantes. DAO : I. Querenet Onfroy de Bréville



Figure 5.18 : Mouvement utilisés pour abraiser les matières colorantes sur une table de travail ou avec un abraseur : a) va-et-vient; b) circulaire; c) abraseur où la matière colorante est dormante. Dessins : I. Querenet Onfroy de Breville

avec leur granulométrie artificielle, ont été choisis par intervalles conséquents, le P80 correspond à des grains de 197,0  $\mu\text{m}$ , le P240 des grains de 58,5  $\mu\text{m}$  et le P400 des grains de 35  $\mu\text{m}$  (Norton). L'abrasion sur voile abrasif a été limitée à deux matières, Huy et Cazouls-lès-Béziers car ce sont des matières très différentes, qui représente le spectre dans les matières colorantes. Huy, en raison de son hétérogénéité et sa granulométrie importante et Cazouls-lès-Béziers pour son aspect lisse (granulométrie très fine) et uniforme.

## 5.7.2 Expérimentations et documentation

### 5.7.2.1 Objectif de la documentation des surfaces modifiées

Des observations macro- et mésoscopique ont été effectuées pour repérer et définir les stigmates d'abrasion. Un tableau ou modèle d'analyse a été mise en place pour caractériser les traces d'usure et pour mieux appréhender l'enregistrement des traces sur les surfaces d'une matière colorante. L'échelle a été définie pour régulariser et systématiser les modes d'observation. Chaque observation devrait être faite en fonction des grossissements respectifs (à l'œil nu, 16x, 32x ou 64x) pour obtenir des résultats cohérents et systématiques. Les observations sont faites avec une lumière rasante pour pouvoir mieux distinguer et mettre en évidence les stigmates.

L'objectif quant aux mesures des stries était double : prouver que l'adjuvant et la taille des grains créent des différences significatives de la largeur des stries. Ceci repose sur le fait que les stries se forment au contact d'une roche, peut-être laissant des traces reconnaissables et quantifiables. Si une différence significative est prouvée, un lien à une taille de granulométrie serait possible.

### 5.7.2.2 Mesures des stries à grossissement mésoscopique au stéréomicroscope

Les pièces qui ont été abrasées avec un adjuvant et sur des voiles abrasifs ont été prises en compte pour les mesures des stries : PIG\_0160\_D\_701, PIG\_0160\_D\_702, PIG\_0160\_D\_703, PIG\_0172\_A\_701, PIG\_0172\_A\_702, PIG\_0172\_A\_703, PIG\_0172\_A\_721, PIG\_0172\_A\_722, PIG\_0172\_A\_723,

PIG\_0209\_F\_701, PIG\_0209\_F\_702, PIG\_0209\_F\_703, PIG\_0209\_F\_721, PIG\_0209\_F\_722, PIG\_0209\_F\_723, PIG\_0218\_A\_701, PIG\_0218\_A\_702, PIG\_0218\_A\_703. Celles qui ont été abrasées avec les adjuvants ont été choisies pour apprécier les modifications éventuelles induites par, en particulier pour ce qui est des largeurs de strie. Les matières frottées contre les voiles abrasifs servaient à apprécier l'incidence de la taille des grains sur la largeur des stries.

Les stries ont été mesurées à la loupe binoculaire Leica S9i avec le logiciel LAS V4.12 à un grossissement de 64x. Une photographie à 10.0 MP (3648 x 2736) 4 :3 a été prise avec une lumière rasante et en noir et blanc avant de commencer les mesures avec le logiciel. Avec cette taille de photographie, un pixel est égal à 0,00061 millimètres. Plusieurs photographies ont été prises si le champ de vision n'enregistrait pas nettement toute la strie. Les mesures ont été prises sur 10 stries ; chaque mesure évalue la largeur maximale de la strie. Avec la lumière rasante, un bord de la strie est dans la lumière tandis que l'autre est dans l'ombre. La mesure a donc été prise de l'extrémité de la partie illuminée jusqu'à l'extrémité de la partie ombragée selon un axe perpendiculaire à l'orientation de la strie. Une fois les mesures acquises, elles ont été exportées et classées dans un tableau formaté pour



les statistiques en *RStudio*.

Des tests statistiques ont été menés sur le logiciel *RStudio* avec l'aide des packages *tidyverse*, *ggpubr*, *rstatix*, *pgirmess*, *emmeans*, *ggplot2*. Un test Kruskal-Wallis a été réalisé pour déterminer s'il y a des différences qui sont en effet significatives entre les mesures des stries. Ce test a été utilisé parce qu'il ne présuppose pas de normalité dans les données et est moins sensible aux valeurs aberrantes (outlier), comparé à un test one-way ANOVA (ref <https://www.statology.org/kruskal-wallis-test/>). Le test permet de comparer deux ou plusieurs échantillons indépendants de taille similaire ou non.

Pour effectuer ce test sur la facette abrasée, 10 stries ont été mesurées avec 10 mesures et la plus grande largeur de ces 10 a été retenue. Ceci a été fait sur les échantillons de Bordezac, Cazouls-lès-Béziers, Fontenaille et Huy, précédemment abrasés à sec, à l'eau et au gras, ainsi que sur d'autres échantillons de Cazouls-lès-Béziers et Huy, abrasés sur des voiles abrasifs.

### 5.7.3 Résultats

#### 5.7.3.1 Tendances par paramètre

Lors des observations et des mesures faites au stéréomicroscope, des hypothèses ont été émises sur la manière dont la matière colorante et la matière abrasive interagissent, en fonction de différents paramètres. Ces hypothèses ont ensuite été soumises à des tests statistiques pour vérifier leur validité.

#### 5.7.3.2 La matière colorante

En ce qui concerne la matière colorante, il semble que la nature de la matière première colorante influence la largeur des stries formées et la création des stigmates d'abrasion. La matière première colorante influence davantage le degré de modification de la surface que le mouvement : en effet, 10 à 25 % de la surface des blocs de Bordezac a été modifiée (léger), tandis que 50 à 75 % de la surface des blocs de Cazouls-lès-Béziers ont subi une modification (fort). Pour le mouvement combiné, les blocs de Cazouls-lès-Béziers et le Fontenaille ne présentent que des surfaces fortement ou totalement modifiées, tandis que de Bordezac et de Huy présentent plusieurs surfaces légèrement ou moyennement modifiées.

Toutes les facettes, sauf une d'un bloc de Cazouls-lès-Béziers et une d'un bloc de Huy, possèdent des stigmates de d'arrachement de grains. Mais la matière de Cazouls-lès-Béziers était la seule à présenter une facette dont la surface était très fortement à totalement couverte d'arrachement de grains (PIG\_0209\_F\_701). L'arrachement des grains est dépendant de la résistance du liant qui maintient les grains à leur place. Si le liant lâche comme dans le cas des matières de Cazouls-lès-Béziers, il y aura plus de stigmates d'arrachement de grains.

Pour les cassures de grains, les blocs de Fontenaille possèdent le plus de facettes avec plus de 50 % de la surface modifiée. Puisque les grains de quartz ont la même dureté mais que le ciment intergranulaire ferrugineux est moins résistant que le ciment siliceux des grès de Fontainebleau (Chalmin & Salomon, 2019), les grains de quartz se sont fracturés pendant l'abrasion.

Un autre stigmatisme d'abrasion, la zone émoussée, montre aussi des variations en fonction de la composition de la matière première colorante plus que n'importe quel autre facteur. Les blocs de Huy sont les seuls à ne présenter aucune zone émoussée, tandis que les blocs de Fontenaille sont les seuls à présenter uniquement des zones émoussées. Les blocs de Cazouls-lès-Béziers présentent en majorité (84 %) des zones émoussées. En revanche, les expérimentations montrent que les blocs de Bordezac présentent moins fréquemment ces stigmates (33 %).

Pour vérifier l'influence de la matière première colorante (et de ses caractéristiques pétrographiques) sur la largeur des stries, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé. Le programme a donc amalgamé les largeurs des stries formées sur les échantillons abrasés à sec, à l'eau et au gras pour chacune des matières colorantes. Pour les échantillons des expérimentations, des différences significatives sont apparues entre Fontenaille et Bordezac, entre Fontenaille et Cazouls-lès-Béziers et entre Fontenaille et Huy ( $p$ -value  $< 0,05$ ). Après la réalisation du test il apparaît que la nature de la matière première a un effet sur la largeur des stries. Par exemple, le grès ferrugineux de Fontenaille, matière colorante la plus résistante qui a été utilisée, est la seule à avoir montré des différences avec les autres blocs. Si la matière est résistante, comme celle de Fontenaille, les stries sont plus fines. Inversement, si la matière est tendre ou tendre à moyennement dure (moyennement à faiblement résistante), comme celles de Bordezac, de Cazouls-lès-Béziers ou de Huy, de dureté équivalente, les stries sont plus larges.

### 5.7.3.3 L'adjuvant

En ce qui concerne l'ajout d'un adjuvant (Figure 5.18) avec un mouvement continu de va-et-vient, l'hypothèse au préalable était que l'adjuvant pouvait avoir un effet sur la formation et la morphologie des stries. Leur aspect pouvait varier en fonction de l'ajout d'un adjuvant.

L'expérimentation a montré que le degré de modification de la surface abrasée avec de l'eau est totalement ou très fortement abrasée. Les échantillons abrasés avec du gras présentent 100 % des facettes totalement modifiées par l'abrasion. Et au sec, les facettes sont fortement modifiées, très fortement modifiées ou totalement modifiées. L'ajout d'un adjuvant ne semble pas modifier le reflet de la facette car, pour la matière de Cazouls-lès-Béziers, que ce soit à sec, à l'eau ou au gras, les facettes des blocs sont toutes à reflets mats. En revanche, avec l'ajout de l'eau, 3 échantillons sur 4 présentent des surfaces mates.

Seule la matière de Bordezac abrasée avec du gras présente des stries légèrement émoussées. En revanche, toutes les autres matières oscillent entre moyennement émoussées et très fortement émoussées. Les trois échantillons de Bordezac et les trois de Huy ne présentent aucune zone émoussée, à l'inverse des trois échantillons de Cazouls-lès-Béziers et les trois de Fontenaille qui présentent des zones émoussées. Donc, le fait d'abraser au gras n'aide pas à conserver la forme des stries après leur utilisation.

Pour vérifier que l'ajout d'un adjuvant a un effet sur la création des stries, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé en comparant les adjuvants et la largeur des stries. Les différences significatives se situent entre Cazouls-lès-Béziers/gras et Fontenaille/gras, ainsi qu'entre Cazouls-lès-Béziers/gras et Fontenaille/sec, entre Fontenaille/sec et Huy/eau, entre Fontenaille/gras et Huy/eau, entre Cazouls-lès-Béziers/sec et Fontenaille/gras, entre Cazouls-lès-Béziers/sec et Fontenaille/sec, entre Cazouls-

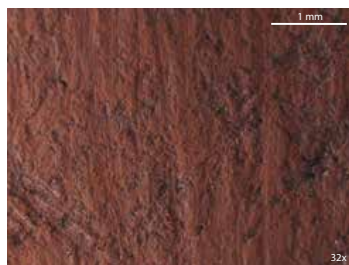
**Adjuvants**

Au Sec

À l'Eau

Au Gras

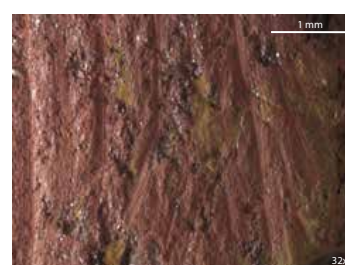
Bordezac



PIG\_0160\_D\_701

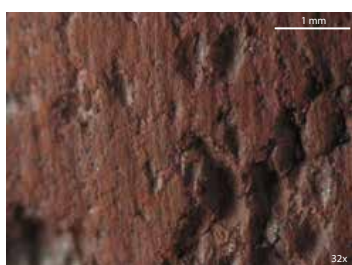


PIG\_0160\_D\_702



PIG\_0160\_D\_703

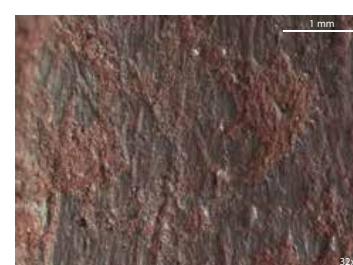
Huy



PIG\_0172\_A\_701



PIG\_0172\_A\_702

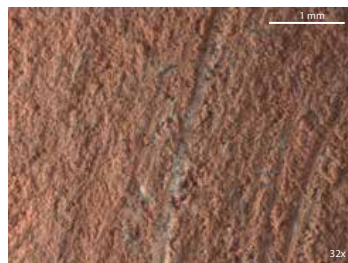


PIG\_0172\_A\_703

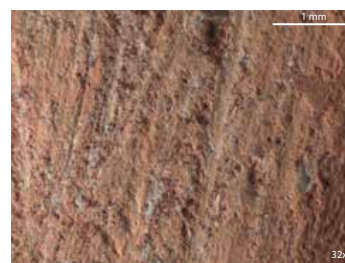
Cazouls-lès-Béziers



PIG\_0209\_F\_701

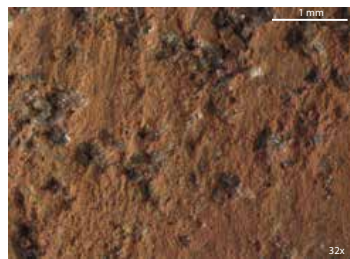


PIG\_0209\_F\_702

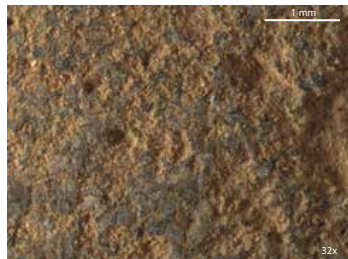


PIG\_0209\_F\_703

Fontenaille



PIG\_0218\_A\_701



PIG\_0218\_A\_702



PIG\_0218\_A\_703

Figure 5.19 : Photographies au stéréomicroscope à 32x pour les détails des stries créées par abrasion avec un mouvement de va-et-vient à sec, à l'eau et avec du gras. DAO : I. Querenet Onfroy de Breuille

lès-Béziers/eau et Fontenaille/gras, entre Cazouls-lès-Béziers/eau et Fontenaille/sec, entre Bordezac/eau et Fontenaille/gras et, en dernier, entre Bordezac/eau et Fontenaille/sec. Donc avec ces résultats, il peut en être déduit que l'adjuvant n'a pas d'effet sur la largeur des stries. Les différences sont significatives, mais pas il n'y a pas suffisamment de différences, pour conclure que l'adjuvant a un effet sur la largeur des stries. Les différences ont plus été influencées par la matière que par les adjuvants.

Il n'y a aucune différence significative entre les échantillons des matières colorantes de Cazouls-lès-Béziers, Bordezac ou Huy qui avait été abrasées à sec, à l'eau ou au gras. En revanche, il y a une différence significative entre les échantillons de Fontenaille abrasés à l'eau et les échantillons de Fontenaille abrasés au gras, ainsi que les échantillons de Fontenaille abrasés à l'eau et abrasés au sec. En conclusion, la nature de la matière colorante a plus d'influence que les adjuvants pendant l'abrasion (sec/gras/eau).

#### 5.7.3.4 Les matières abrasives

En ce qui concerne les matières abrasives (Figure 5.20), ou les tables de travail, il semble que la granulométrie influence la création des stries et que plus les grains sont petits dans la matière de support, plus les stries sont petites.

Avec les voiles abrasifs, la courbure de la facette est plus souvent plane parce que ce voile était posé sur le sol dur et plat. 50 % des facettes ne présentent aucun émoussement sur les arêtes aux confins des surfaces brutes et 33 % sont faiblement émoussées. Quand la matière abrasive est du grès, les facettes sont en majorité soit planes (27 %), soit convexes (36 %) et les angles entre les surfaces brutes sont majoritairement moyennement émoussés.

Pour les matières colorantes abrasées sur du grès, une zone émoussée est présente sur 55 % des facettes abrasées, tandis qu'avec un voile abrasif, seulement 16 % des facettes sur les matières colorantes présentent des zones émoussées. L'émoussement des stries soutient cette observation car le grès de Fontainebleau génère seulement 0.08 % des facettes avec des stries fraîches, contre 83 % des facettes avec des stries fraîches générés sur les voiles abrasifs.

Sur le support en grès, les microstries sont présentes sur 88 % des facettes abrasées. Pour la majorité de ces facettes, elles présentent des microstries dans 25 à 50 % des stries. En revanche, avec les voiles abrasifs, 100 % des facettes présentent des microstries qui sont, elles, présentes sur plus de 75 % des stries sur la facette.

Pour vérifier que la granulométrie de la matière abrasive influence la largeur des stries, un test de Kruskal-Wallis a été effectué. La p-value ressort à  $<0,05$  entre Cazouls-lès-Béziers et Huy, donc il y a une différence significative entre les matières. Cela, encore une fois, signifie que la matière a un effet sur la largeur des stries.

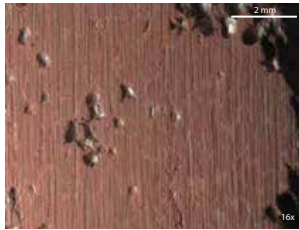
Un autre test de Kruskal-Wallis a été effectué pour comparer la taille des voiles abrasifs et la largeur des stries. Les différences les plus significatives sont entre Cazouls-lès-Béziers/P80 et Cazouls-



### Les voiles abrasifs

P80

Huy

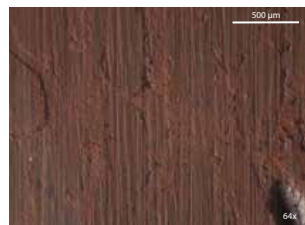
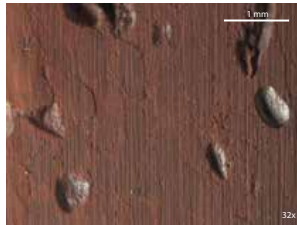
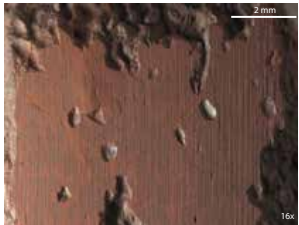


Cazouls-lès-Béziers



P240

Huy

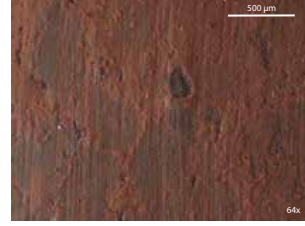
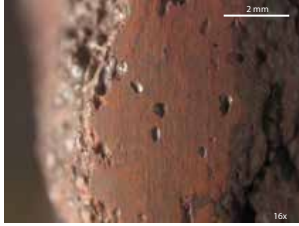


Cazouls-lès-Béziers



P400

Huy



Cazouls-lès-Béziers

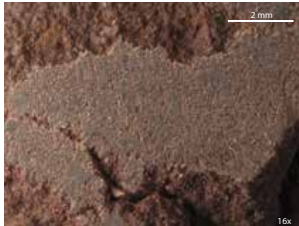


Figure 5.20 : Vues à plusieurs grossissements des surfaces abrasées avec des voiles abrasifs, du plus grossier P80 au plus fin P400. DAO : I. Querenet Onfroy de Breuille

lès-Béziers/P400, ainsi qu'entre Cazouls-lès-Béziers/P80 et Huy/400. Les différences moindres, mais quand même significatives, sont entre Cazouls-lès-Béziers/P80 et Huy/P240, entre Cazouls-lès-Béziers/P240 et Huy/P400, entre Cazouls-lès-Béziers/P400 et Huy/P80, ainsi qu'entre Huy/P80 et Huy/P400. Cela signifie donc que la taille des voiles abrasifs a un effet sur la largeur des stries. Il y a donc une différence significative entre les matières abrasives. La largeur des stries peut être comparée à la largeur des grains des matières abrasives utilisées comme table de travail. L'hypothèse est qu'un raccordement entre ces tables de travail et la matière colorante est possible parce que les largeurs des stries correspondraient à la largeur des grains dans la matière abrasive (table de travail). Si ce raccordement est en effet possible sera vérifier et aborder plus tard.

### 5.7.3.5 Le temps

En ce qui concerne le temps (Figure 5.21), l'hypothèse proposée au début de l'expérimentation était que plus le temps de travail était long, plus les stries seraient émoussées et difficiles à lire. Il y aurait aussi moins de zones résilientes parce qu'avec plus de temps passé, le bloc pourrait être davantage abrasé.

Pour les trois échantillons abrasés pendant 10, 30 ou 60 minutes, la forme de la surface de la facette est apparue convexe ou plano-convexe. Les facettes abrasées pendant 30 et 60 minutes sont totalement modifiées, tandis que celle abrasée pendant 10 minutes a seulement été fortement modifiée. Plus le temps de travail est long, plus la surface de la matière colorante est modifiée et plus la facette s'aplanit. Un plus fort émoussement des stries est aussi perceptible avec une augmentation du temps d'abrasion, car les stries sont légèrement émoussées pour un temps de 10 ou 30 minutes, tandis qu'elles sont fortement émoussées pour un temps de travail de 60 minutes.

En revanche, avec l'augmentation du temps, il n'y a pas forcément d'augmentation de la perte de matière. Le bloc abrasé pendant 10 minutes a perdu 1,769 grammes de matière, tandis qu'un bloc de même matière abrasé pendant 30 minutes a seulement perdu 1,362 grammes de matière. Ceci est peut-être dû à la force du liant dans le bloc, et que le liant dans le bloc abrasé pendant 30 minutes était plus stable que celui dans le bloc abrasé pendant 10 minutes. Résultat, le bloc de 30 minutes aurait donc perdu moins de matière que celui de 10 minutes parce que la poudre était plus difficile à dégager. En revanche, le bloc abrasé pendant 60 minutes a perdu 13,092 grammes de matière. Donc le bloc de 60 minutes a perdu 33 % de sa matière tandis que les autres n'ont perdu à peu près que 4 % de leur poids. Donc il faut un long temps de travail pour pouvoir dégager un pourcentage considérable de la matière en forme de poudre.

De plus, les stries ne deviennent pas plus profondes avec l'augmentation du temps de travail. Les blocs abrasés pendant 10 ou 30 minutes présentent des stries profondes à très profondes tandis que le bloc abrasé pendant 60 minutes présente des stries seulement profondes. Les microstries sont moins visibles sur le bloc abrasé pendant 60 minutes, et celui-ci présente la plus large zone émoussée. Avec le temps de travail, davantage de stigmates de d'arrachement de grains ont été reconnus (arrachement moyen pour 10 et 30 minutes et fort pour 60 minutes). En revanche, moins de grains fracturés apparaissent, plus le temps de travail est long. Ceci est peut-être parce que plus le temps de travail est long, plus le liant subit le traitement d'abrasion adhésive, laissant les grains se faire arracher plus facilement. Il peut donc être conclu que plus une facette présente une surface aplanie avec des zones

## Le temps

Bordezac

10 minutes



30 minutes



60 minutes



Figure 5.21 : Vues à plusieurs grossissements des surfaces abrasées en faisant varier le temps d'abrasion. DAO : I. Querenet Onfroy de Breville



émoussées et des arrachements de grains, plus elle a été travaillée longtemps.

### 5.7.3.6 Le mouvement

En ce qui concerne le mouvement (Figure 5.22), l'hypothèse qui avait été posée était que les stries se formeraient dans la direction des mouvements et que le dernier mouvement serait le mieux enregistré. Cela signifierait que les mouvements combinés ne montrent que la dernière action.

Pour le choix de la position de la facette pour l'abrasion, la surface étroite a été choisie le plus fréquemment pour tous les différents mouvements, mais en particulier pour le mouvement de va-et-vient (13 utilisations). Une arête sur le bloc a été utilisée en majorité pour les mouvements de va-et-vient, parce que le maintien du volume lors de l'action est plus aisé. En revanche, l'intersection de plusieurs arêtes a été la moins utilisée, seulement pour la création de 5 facettes.

Après les mouvements de va-et-vient, une majorité des blocs de matières colorantes présentent un degré de modification soit fort, soit total (20/23), à l'exception des voiles abrasifs. Puis, pour les mouvements circulaires, les stries sont désordonnées et courbes, mais les stries courbes ne sont pas toujours bien évidentes. Par exemple, le bloc de Bordezac ne présente pas de strie courbe, mais seulement des stries droites et désordonnées. De plus, après les mouvements combinés de va-et-vient et circulaires, seul le dernier mouvement est enregistré et s'imprime majoritairement sur la surface de la matière colorante. L'effacement des stigmates précédents met en évidence la difficulté à lire ce matériel modifié par l'abrasion, en raison du changement constant de la surface pendant son travail, qui efface les traces des mouvements successifs au fur et à mesure que le travail se fait.

L'arrangement des stries sub-parallèles est le plus fréquent (21 facettes sur 46). Des arrangements de stries parallèles et désordonnées sont fréquents dans 8 et 7 cas respectivement. Les arrangements des stries changent davantage en fonction du mouvement que de la matière colorante. Le mouvement de va-et-vient ne produit pas de stries désordonnées courbes et le mouvement circulaire ne produit pas non plus de stries parallèles ou même sub-parallèles. En revanche, le mouvement combiné produit une variété d'arrangements de stries, avec le même nombre d'échantillons portant des stries sub-parallèles et des stries désordonnées.

L'absence de microstries n'est visible que pour le mouvement de va-et-vient, et seulement pour 16 % des facettes abrasées. En revanche, l'absence de zones émoussées est visible uniquement pour le mouvement circulaire. Pour les autres mouvements, les zones émoussées sont absentes sur à peu près 50 % des facettes.

### 5.7.3.7 Les facettes

Concernant, l'abrasion des trois facettes (Figure 5.23) sur les différentes matières colorantes, il a été présumé que la première, et peut-être même la deuxième facette, présenteraient un émoussement plus fort que la dernière facette abrasée à cause des doigts qui eux aussi abrasent la matière progressivement. Le maintien, la pression, la sueur et les frottements de la poudre sur la surface du bloc serait des facteurs qui joueraient sur l'émoussement des stries.

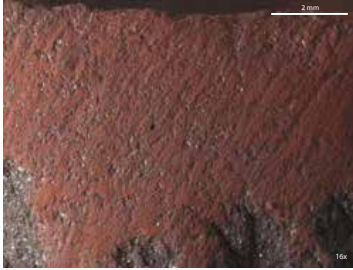
**Le mouvement**

Outil mobile

Circulaire

Va-et-Vient et Circulaire

Bordezac



PIG\_0160\_D\_704



PIG\_0160\_D\_705

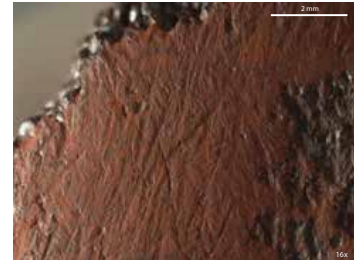


PIG\_0160\_D\_706

Huy



PIG\_0172\_A\_704



PIG\_0172\_A\_705

Cazouls-lès-Béziers



PIG\_0209\_F\_704

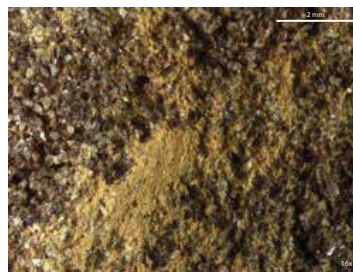


PIG\_0209\_F\_705



PIG\_0209\_F\_706

Fontenaille



PIG\_0218\_A\_704



PIG\_0218\_A\_705

Figure 5.22 : Vues à plusieurs grossissements des surfaces abrasées en faisant varier le temps d'abrasion. DAO : I. Querenet Onfroy de Breville

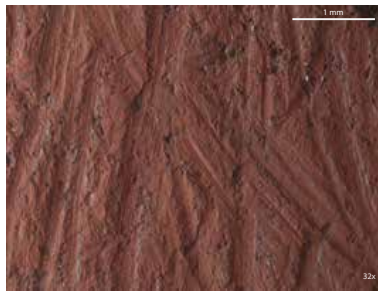
**Les facettes**

1ère facette

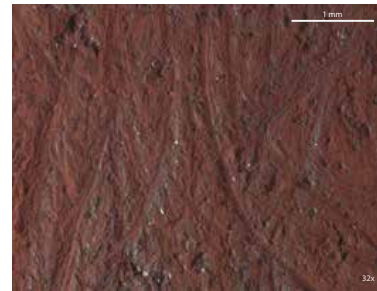
2ème facette

3ème facette

Bordezac



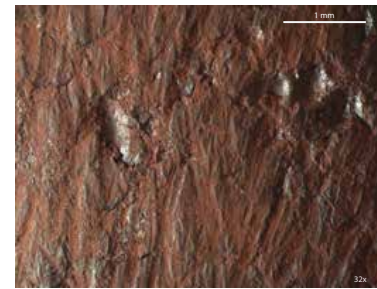
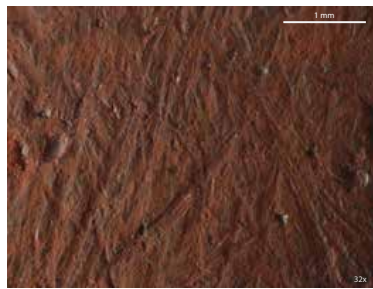
PIG\_0160\_D\_706



Huy



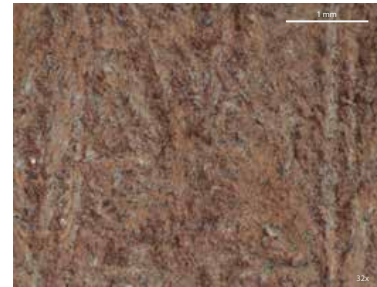
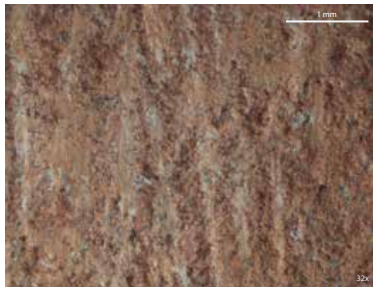
PIG\_0172\_A\_705



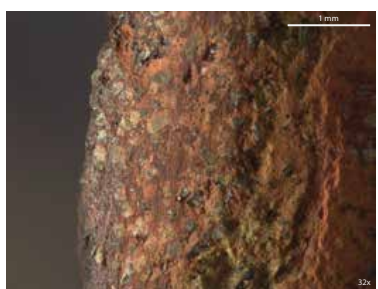
Cazouls-lès-Béziers



PIG\_0209\_F\_706



Fontenaille



PIG\_0218\_A\_705

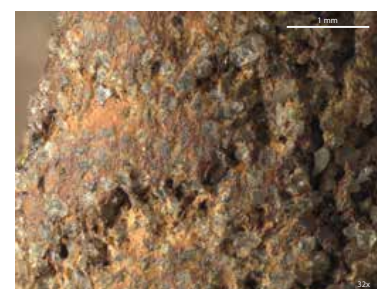


Figure 5.23 : Vues à plusieurs grossissements des surfaces abrasées en faisant varier le temps d'abrasion. DAO : I. Querenet Onfroy de Breville

La troisième (dernière) facette abrasée est plus souvent mate. 75 % des facettes abrasées présentent un reflet mat et 25 % exhibent une facette mate à métallique (Huy). La première facette et la deuxième facette ne sont pas forcément plus lustrées ou métalliques, mais il faut prendre en compte le fait qu'elles n'ont pas forcément été manipulées au cours de l'abrasion. Le bloc de Huy affiche une surface métallique sur sa première facette, tandis que sa dernière facette est mate à métallique. Et pour le bloc de Bordezac, la deuxième facette se révèle mate à métallique, comparée aux deux autres qui sont mates.

Entre les facettes d'un même bloc, pour les blocs de Cazouls-lès-Béziers et de Fontenaille, l'éroussissement entre la deuxième et la troisième facette est moindre qu'entre la deuxième et la première facette. Donc, pour certaines matières, il serait possible de comprendre la chronologie des facettes en fonction du degré d'éroussé des arêtes qui se sont formées entre les facettes pendant leur création.

Chaque facette de chaque matière colorante dévoile souvent le même degré d'éroussé des stries. Les stries sur les trois facettes des blocs de Bordezac sont fraîches, les stries sur les trois facettes de Fontenaille sont moyennement éroussées et les trois facettes de Huy apparaissent légèrement éroussées. Cazouls-lès-Béziers est le seul avec des stries éroussées différemment entre les facettes : les stries sur la première facette sont fortement éroussées, sur la deuxième très fortement à totalement éroussées et sur la dernière moyennement éroussée. Donc le temps d'abrasion de 3 minutes par facette n'est pas suffisant pour observer une différence considérable dans les reflets et dans l'éroussissement des stries entre les facettes.

## 5.7.4 Données numériques par les mesures de stries

### 5.7.4.1 Abrasé sur du grès

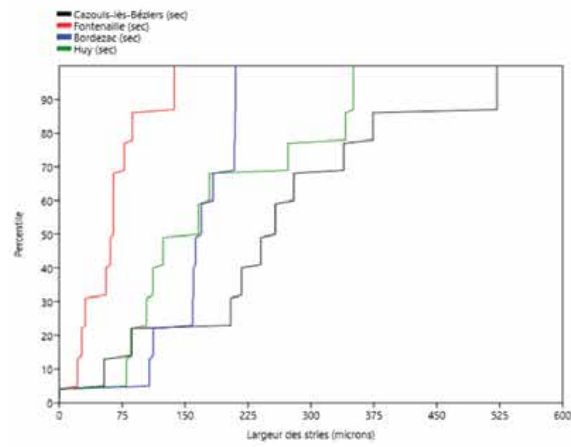
Pour tous les échantillons abrasés sur du grès, avec ou sans adjuvants, la plus petite mesure de strie est de  $19,78 \mu\text{m}$  et la plus large mesure de strie est de  $796,22 \mu\text{m}$ . La médiane a une valeur de  $165,05 \mu\text{m}$ . La plupart des stries ont une largeur comprise entre 0 et  $300 \mu\text{m}$ , avec 54 % autour de 100-200  $\mu\text{m}$  (Figure 5.24 et 5.25).

Pour les échantillons qui ont été abrasés à sec, les stries présentes sur la matière de Fontenaille se démarquent des autres stries des trois autres échantillons. Près de 80 % des stries formées sur le grès Fontenaille mesurent moins de  $75 \mu\text{m}$ , tandis que seulement environ 15 % des stries sur les trois autres échantillons mesurent  $75 \mu\text{m}$  ou moins. Il y a aussi moins de variations dans la taille des stries de la matière de Fontenaille. Le bloc de matière de Cazouls-lès-Béziers montre des outliers à plus de  $375 \mu\text{m}$ . Les matières de Huy et de Bordezac sont marquées par des stries dont la taille est du même ordre de grandeur : 65 % des largeurs de leurs stries mesurent moins de  $225 \mu\text{m}$ .

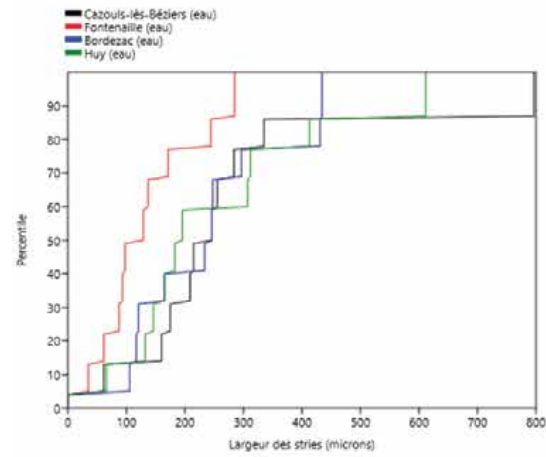
En ce qui concerne les échantillons abrasés à l'eau, les courbes sont similaires et il n'y a pas de grande variation entre les différentes matières. Cazouls-lès-Béziers et Huy présentent des outliers qui sont à des largeurs proches de  $450 \mu\text{m}$ . L'utilisation d'eau semble susceptible de favoriser l'arrachement de grains de différentes tailles qui participeraient à l'abrasion, ce qui augmenterait significativement la taille des largeurs de stries. La matière colorante de Fontenaille continue à avoir



### Les largeurs des stries pour les matières colorantes abrasées au sec sur du grès



### Les largeurs des stries pour les matières colorantes abrasées à l'eau sur du grès



### Les largeurs des stries pour les matières colorantes abrasées au gras sur du grès

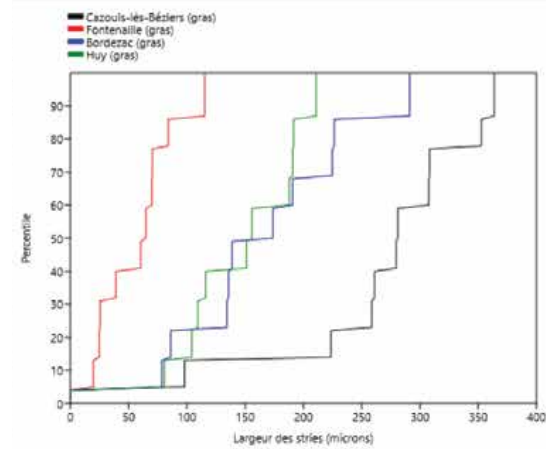


Figure 5.24 : Mesure de la largeur des stries en fonction de modalités d'abrasion. DAO : I. Querenet Onfroy de Breville

**Moyenne et médiane des largeurs de stries pour les matières colorantes  
abrasées sur du grès avec des adjuvants**

Matière	Numéro d'échantillon	Adjuvant	Moyenne ( $\mu\text{m}$ )	Médiane ( $\mu\text{m}$ )
<b>Bordezac</b>	PIG_0160_D_701	Sec	168	168
	PIG_0160_D_702	Eau	240	240
	PIG_0160_D_703	Gras	156	168
<b>Cazouls-lès-Béziers</b>	PIG_0209_F_701	Sec	257	257
	PIG_0209_F_702	Eau	231	274
	PIG_0209_F_703	Gras	280	273
<b>Fontenaille</b>	PIG_0218_A_701	Sec	62,7	62,7
	PIG_0218_A_702	Eau	113	134
	PIG_0218_A_703	Gras	62,6	57,4
<b>Huy</b>	PIG_0172_A_701	Sec	145	181
	PIG_0172_A_702	Eau	189	253
	PIG_0172_A_703	Gras	154	150

**Boxplot des matières colorantes abrasées sur du grès avec des adjuvants**

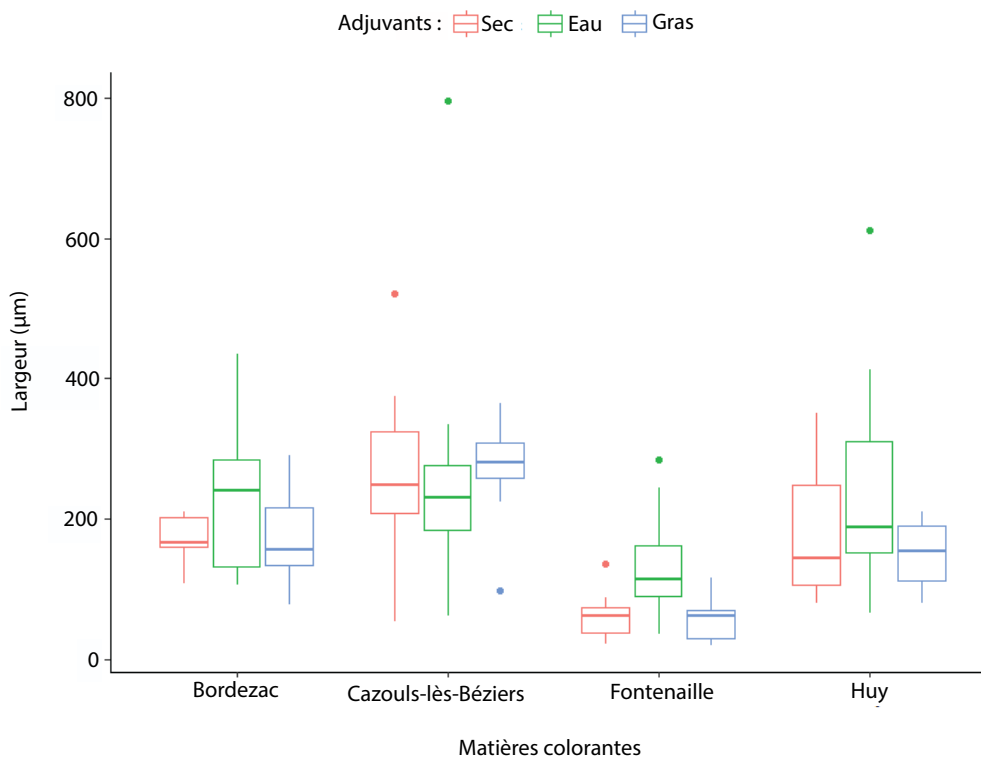


Figure 5.25 : Distribution des largeurs de stries en fonction des matières premières et des adjuvants. DAO : I. Querenet Onfroy de Breuille

des stries plus petites que les trois autres matières, mais l'écart est moins flagrant que pour les blocs abrasés à sec.

Pour les échantillons abrasés avec gras, la matière colorante de Fontenaille se démarque encore une fois des autres matières. 90 % des stries des bloc de Fontenaille mesurent moins de 100  $\mu\text{m}$ , tandis qu'à peine 20 % des stries des trois autres matières atteint 100  $\mu\text{m}$ . Les blocs abrasés de Cazouls-lès-Béziers présentent des outliers entre 0 et 200  $\mu\text{m}$ . Les échantillons de Huy et de Bordezac présentent des courbes avec de nombreuses similarités. En particulier, la majorité des largeurs de leurs stries se trouvent entre 100 et 200  $\mu\text{m}$ .

Le boxplot pour les matières avec leurs adjuvants confirme que Cazouls-lès-Béziers possède le plus d'outliers. Il est encore une fois possible d'observer aussi que les stries sur la matière de Fontenaille sont différentes de celles des autres matières. Il se confirme aussi que pour Bordezac, Fontenaille et Huy, les blocs abrasés avec de l'eau ont des plus larges stries comparées à celles abrasées à sec ou au gras. Celles abrasées au gras ont tendance à être plus proche en largeur que les autres.

#### 5.7.4.2 Abrasé sur un voile abrasif

Pour les échantillons abrasés sur un voile abrasifs P80, la matière colorante de Cazouls-lès-Béziers et de Huy semble différent. La majorité des largeurs de stries sur la matière colorante de Huy a une largeur de 100  $\mu\text{m}$  ou moins, tandis que seulement 10 % des stries sur la matière de Cazouls-lès-Béziers ont une largeur moindre de 100  $\mu\text{m}$ . Les largeurs des stries présentent sur les échantillons de Huy sont moins variables que celles présentes sur ceux de Cazouls-lès-Béziers. Ceci indiquerait que la matière joue un rôle important dans la création des stries car la granulométrie des voiles était la même (Figure 5.26 et 5.27).

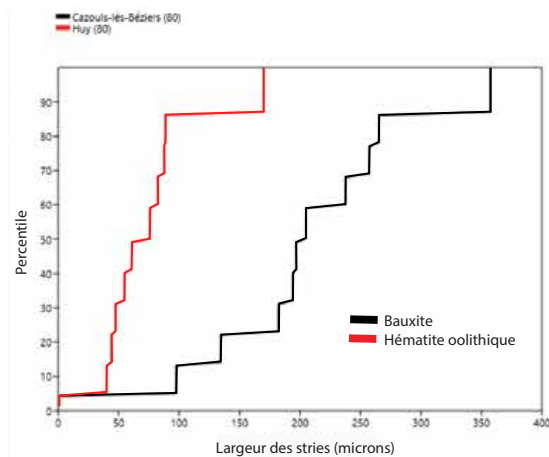
En ce qui concerne les échantillons abrasés sur un voile abrasifs P240, les deux courbes des mesures des largeurs stries sont similaires parce que les stries des deux matières présentent une majorité de stries entre 40 et 65  $\mu\text{m}$ .

En ce qui concerne les échantillons abrasés sur un voile P400, les stries sont plus petites que celles venant du P80 et du P240 ; toutes les largeurs sont en dessous de 60  $\mu\text{m}$ . 80 % des largeurs des stries présentes sur l'échantillon de Huy sont en dessous de 30  $\mu\text{m}$ , tandis que seulement 50 % des stries de l'échantillon de Cazouls-lès-Béziers mesurent moins de 30  $\mu\text{m}$ .

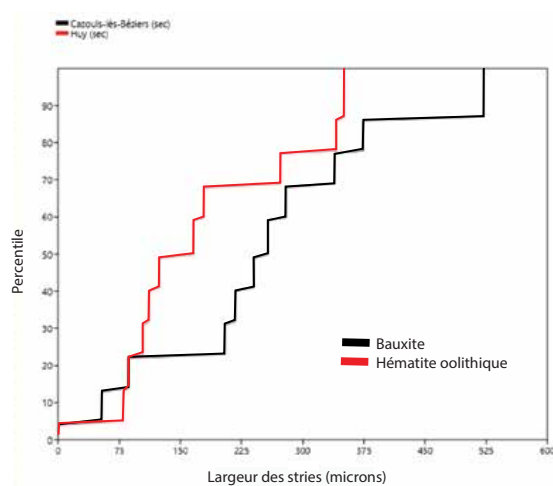
Le boxplot pour les matières abrasées sur des voiles abrasifs montre la même tendance pour les deux matières (Cazouls-lès-Béziers et Huy). Les facettes abrasées sur un voile à P80, avaient de plus grosses stries que les facettes abrasées sur le P240 ou le P400. Les facettes abrasées au P240, elles aussi, montraient des stries plus larges que celles abrasées sur le P400. L'échantillon de Cazouls-lès-Béziers abrasé au P80 semble plus large et donc significativement différent de tous les autres échantillons. Les stries formées sur le P240 et P400 ont des tailles peu différenciées.



### Les largeurs des stries pour les matières colorantes abrasées sur des voiles abrasifs P80



### Les largeurs des stries pour les matières colorantes abrasées sur des voiles abrasifs P240



### Les largeurs des stries pour les matières colorantes abrasées sur des voiles abrasifs P400

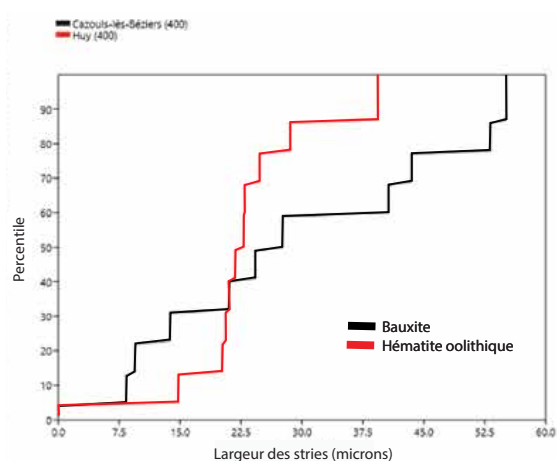


Figure 5.26 : Mesure de la largeur des stries en fonction de la granulométrie des voiles abrasifs. DAO : I. Querenet Onfroy de Breville

**Moyenne et médiane des largeurs de stries pour les matières colorantes abrasées sur des voiles abrasifs**

Matière	Numéro d'échantillon	Taille de Voile	Moyenne ( $\mu\text{m}$ )	Médiane ( $\mu\text{m}$ )
<b>Cazouls-lès-Béziers</b>	PIG_0209_F_721	P80	213	201
	PIG_0209_F_722	P240	62,2	56,2
	PIG_0209_F_723	P400	29,7	25,9
<b>Huy</b>	PIG_0172_A_721	P80	74,8	68,0
	PIG_0172_A_722	P240	47,3	50,2
	PIG_0172_A_723	P400	23,7	22,3

**Boxplot des matières colorantes abrasées sur des voiles abrasifs**

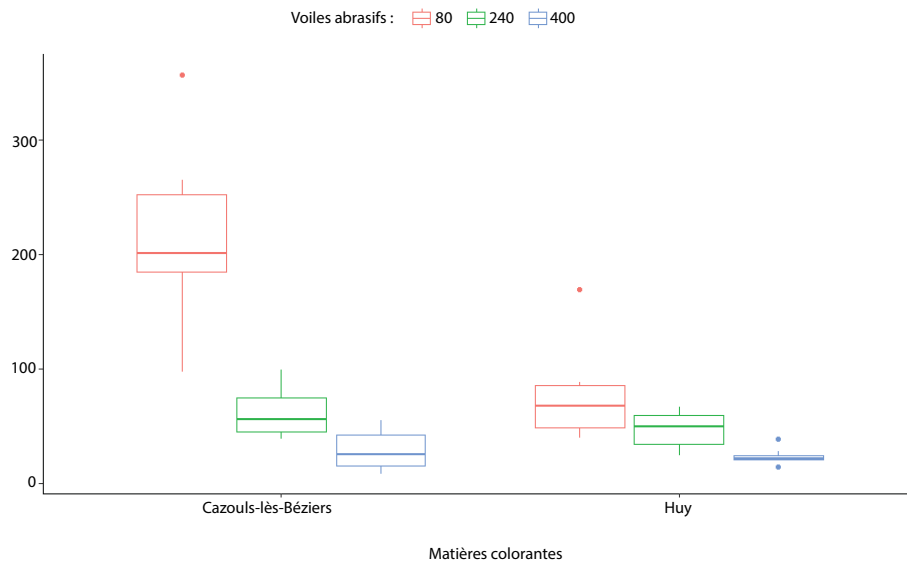


Figure 5.27 : Distribution des largeurs de stries en fonction de la granulométrie des voiles abrasifs. DAO : I. Querenet Onfroy de Breville

## 5.7.5 Discussion

### 5.7.5.1 Limites des paramètres

Pendant les expérimentations, il est devenu évident qu'il y avait des limites à certains paramètres. Premièrement, les mouvements pendant les expérimentations, n'ont pas été parfaitement identiques, de même que les gestes. Cela dépendait de la prise en main de la matière colorante et de l'installation sur le sol de la table de travail. Une matière colorante qui était plus large tenait mieux dans la main et pouvait être poussée par la paume de la main pendant l'abrasion, tandis que si la matière colorante était plus petite, la force était seulement exercée avec les doigts. Les différents modes de préhension, dépendant des morphologies et des volumes des blocs expérimentaux, ont conduit à une diversité de manières d'exercer la force et de déployer le mouvement d'abrasion (bien que l'expérimentatrice ait essayé de garder une force constante pour chaque abrasion). Ces changements peu perceptibles durant l'action pourraient avoir affecté le degré de modification apporté à la surface. De plus, en fonction de l'installation de la table de travail, un geste du poignet en plus était parfois visible sur les vidéos. L'expérimentatrice a noté un geste où le poignet se cassait pendant l'abrasion, qui pourrait avoir un effet en plus sur la courbure de la facette, la rendant plus convexe que les facettes abrasées avec un poignet complètement immobile. La fatigue de l'expérimentatrice a aussi pu avoir un effet sur la formation des stigmates d'abrasion. Étant fatiguée, elle a pu changer le geste ou la pression sur le bloc expérimental. C'est en particulier sur les pièces abrasées pendant longtemps (60 minutes en particulier), que des variations de la gestuelle ont été observées sur la vidéo en réponse à l'apparition de crampes et d'ampoules. Ces contraintes ont ralenti l'abrasion.

Pour les données qualitatives, la plus grande valeur d'une largeur d'une strie a été pris en compte pour les calculs de moyenne et pour les tests de Kruskal-Wallis. Même si, lors des mesures de largeurs de stries, une grande attention accordée au choix des localisations les plus fiables et les plus significatives, en évitant les stigmates d'arrachement de grain, par exemple, il semble subsister un biais dans l'échantillonnage des points de mesure : il n'est pas possible de déterminer si la strie provenait de l'abrasion sur la matière abrasive, d'un arrachement de grain provenant de cette matière abrasive, ou d'un arrachement de grain provenant de la matière colorante. Des limites se sont aussi imposées dans le choix du nombre de blocs utilisés pendant les expérimentations. La Pigmentothèque n'avait qu'un nombre limité de blocs pouvant être utilisés pour les expérimentations, donc il n'était pas possible de tester plusieurs fois les mêmes paramètres pour vérifier la répétabilité des expérimentations et la reproductibilité des observations et des mesures. Il se peut que l'échantillon choisi ne fût pas représentatif du lot, par exemple, les blocs de la matière de Bordezac étaient hétérogènes et ne présentaient pas les mêmes reflets initiaux. Ceci a aussi introduit un biais à considérer pour le test de Kruskal-Wallis qui a été effectué. Les tests statistiques font apparaître la nécessité de réaliser, ultérieurement, des expérimentations visant à évaluer la répétabilité des manipulations, des paramètres et des mesures. Pour effectuer cela, les mesures doivent être faites aux mêmes intervalles. Avec qu'une répétition ou avec une multitude de mesures par stries, les mesures des stries n'étaient pas forcément représentatives à cause de la variabilité de et dans la roche. Des futures expérimentations devraient porter sur la répétabilité pour avoir un référentiel qualitatif et quantitatif répondant à des questions spécifiques, ce qui le rendra d'autant plus fiable et pertinent.

Malgré les limites présentées ci-dessus, la démarche combinant les descriptions qualitatives,

qualitativo-quantitatives et des mesures physiques (largeur de stries), permet de rendre compte des propriétés des matières travaillées, de leur comportement lors des abrasions et de dégager les principales tendances des différents types de roches.

### **5.7.5.2 Arrivons-nous à distinguer des surfaces d'abrasion différentes ?**

Pour répondre à la question initiale portant sur la possibilité de distinguer des surfaces abrasives différentes, les expérimentations ont montré que c'était possible mais uniquement au sujet de certains paramètres. Avec les observations qualitatives après les expérimentations, il est possible de distinguer l'abrasion sur des support différents, avec des mouvements différents, et avec des temps différents, mais il n'est pas forcément possible de distinguer l'abrasion avec différents adjuvants. Il n'est pas non plus possible de distinguer l'ordre de formation des différentes facettes. Avec les mesures des largeurs de stries, il n'est pas possible de distinguer précisément la différence de granulométries des matières abrasives utilisées comme table de travail. La méthodologie pour les données quantitatives paraît trop simple et réductrice ; cette méthode représente mal la diversité des stries. Il est donc impératif d'avoir un référentiel qualitatif qui soit précis, extensif et exhaustif pour combler le manque d'information et les biais apportés par les observations uniquement quantitatives.

### **5.7.5.3 Futur du référentiel : Comment sert le référentiel qui a été créé ?**

Le référentiel qui a été créé pendant ces expérimentations a servi pour tester la pertinence de recourir à des analyses quantitatives pour aider à la description des stries formées. Il aide aussi à alimenter la collection d'échantillons expérimentaux de la Pigmentothèque et servira à comparer les propriétés pétrophysiques des différentes matières colorantes de la collection de référence.

Un futur projet avec ce référentiel serait de tester si des mesures prises au MEB et sur un modèle 3D de la surface de l'échantillon seraient concordantes, voire plus précises et plus pertinentes pour quantifier les stries.

## 5.8 Réflectance bidirectionnelle des roches ferrugineuses

Émilie CHALMIN et Bernard SCHMITT

Durant l'année 2019, il nous a été possible d'accéder aux installations de 2 spectro-goniomètres du laboratoire de l'IPAG pour caractériser la réflectance d'une sélection de roches ferrugineuses de la *Pigmentoθήque*, présentant des compositions variées et d'une large gamme de teintes de rouges et jaunes.

### 5.8.1 Validation des mesures et vaste échantillonnage de la *Pigmentoθήque*

Durant l'année 2021, deux nouvelles campagnes (juin et novembre 2021) ont permis l'analyse de 17 nouveaux échantillons qui s'ajoutent aux 374 échantillons précédents (*cf.* annexe 7 : Tableau complet de mesures). Une prochaine campagne est encore prévue pour la semaine du 13 au 17 décembre 2021 (Figure 5.28).

Une fois le traitement optimisé et finalisé, il sera alors possible de proposer des méthodes statistiques pour comparer les spectres des échantillons entre eux et pouvoir proposer des classifications. Un stage de master 2 (Nina Criton) débutera en mars 2022 pour reprendre l'ensemble des spectres obtenus et traiter de façon systématique la signature spectrale en fonction des caractéristiques minéralogiques de chacune des roches étudiées.

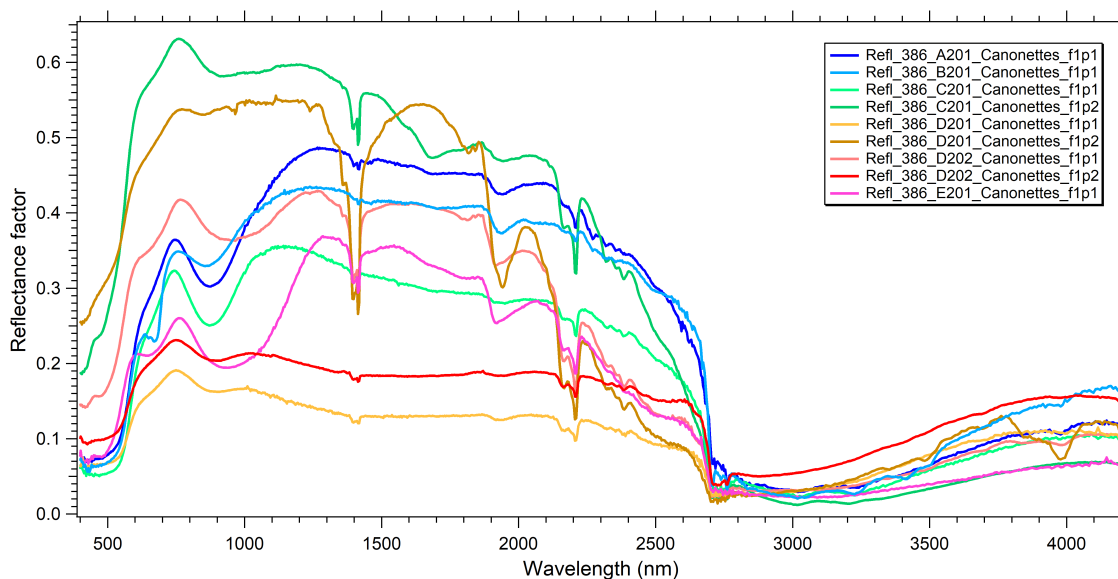


Figure 5.28 : Sélection de spectres de réflectance diffuse obtenus en novembre 2021 sur quelques faciès des bauxites prélevés en juillet 2021 sur l'ancien gisement des Canonnettes (Les Baux-de-Provence). Spectres montrant des caractéristiques variées permettant de comprendre la variabilité minéralogique de ces bauxites.

En parallèle des spectres réalisés sur les roches ferrugineuses, une collection de minéraux de référence (provenant des collections personnelles de Dominique Gasquet et celle de l'OSUG) est en cours permettant d'obtenir le spectre de réflectance du minéral isolé que l'on est susceptible de rencontrer dans les roches ferrugineuses. Cette collection nécessite d'être consolidée et étendue en fonction de l'avancée de des études pétrographiques et minéralogiques. Des mesures par spectroscopie Raman

et par diffraction des rayons X sont également prévues pour vérifier la nature et la pureté de ces minéraux.

## 5.8.2 Perspectives en lien avec la spectroscopie de réflectance diffuse

### Test de réflectance diffuse *in situ*

Suite aux campagnes de mesure en laboratoire sur des échantillons bruts, en poudre et déposés sur support, il nous a paru essentiel de faire des tests sur de vrais peintures afin d'évaluer la potentialité de la méthode dans les conditions réelles (collaboration Bernard Schmitt, IPAG, UGA). Suite aux premiers tests réalisés sur le site orné du Trou de la Féclaz (St-Jean d'Arvey), lors d'une mission en juin 2020, une seconde mission a été effectuée avec le prototype de terrain à nouveau sur le site du Trou de la Féclaz le 28 juillet 2021.

Nous avons utilisé le spectromètre de réflectance diffuse de terrain SVC HR1024 (450-2500 nm, OSUG, habituellement utilisé lors des missions dans l'Antarctique) avec le prototype développé par Olivier Brissaud, Bernard Schmitt (IPAG, UGA) et Emmanuel Malet (EDYTEM).

Voici deux illustrations des spectres que nous avons pu obtenir (Figure 5.29) :

Ce test a permis de vérifier le fonctionnement et la précision photométrique du prototype. Un problème a été identifié au moment de l'extraction des spectres, probablement un effet de saturation du détecteur entre 600 et 730 nm qui nécessite d'être réglé. On a pu voir que le système permet une mesure reproductible de l'intensité absolue (entre plusieurs mesures du même point) de l'ordre de 1-2%, donc les valeurs absolues des courbes en 'facteur de réflectance' ont maintenant un sens (pigment plus ou moins "clair").

Une optimisation du prototype est donc envisagée en modifiant :

- un vrai miroir pour éliminer les absorptions dans le réflecteur (qui créent des fluctuations spectrales et réduisent fortement le flux infrarouge en particulier)
- un monobloc permettant de fixer les positions et angles des petits lasers (plus de réglage à faire, et de risque de dérèglement en le posant, et plus compact !)
- l'allumage de la lampe et des lasers séparés
- une puissance réduite à 20 W.

Un second test a pu être réalisé lors d'une sortie de terrain sur le site orné d'Otello (St Rémy de Provence) la semaine du 22 au 26 novembre 2021. Une comparaison avec les premiers spectres des minéraux a pu être entamée ce qui a permis de reconnaître la présence systématique de gypse à la surface des peintures (Figure 5.30).

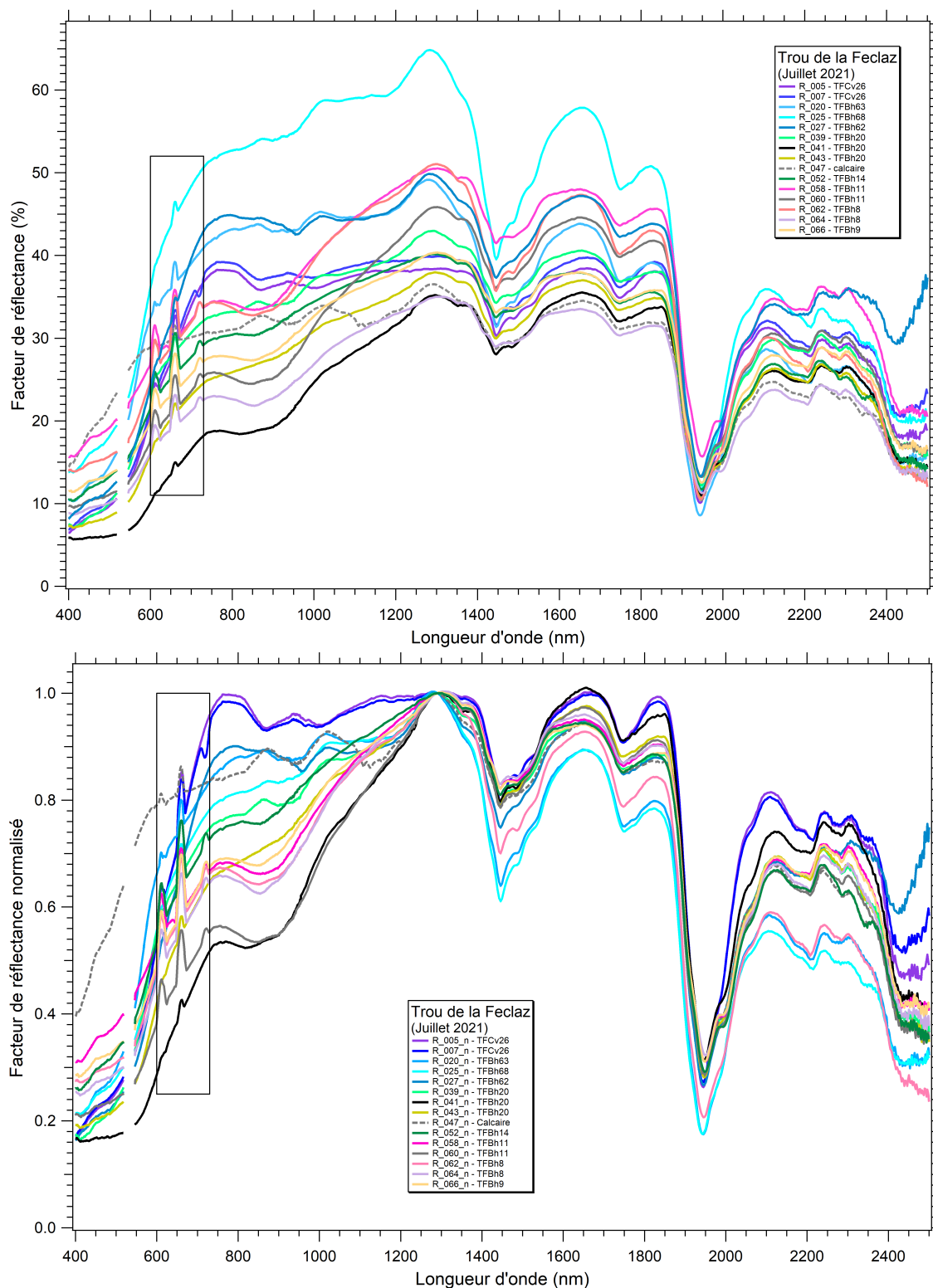


Figure 5.29 : Spectres de réflectance avec et sans normalisation réalisés sur des tracés colorés du site du Trou de la Féclaz le 28 Juillet 2021.



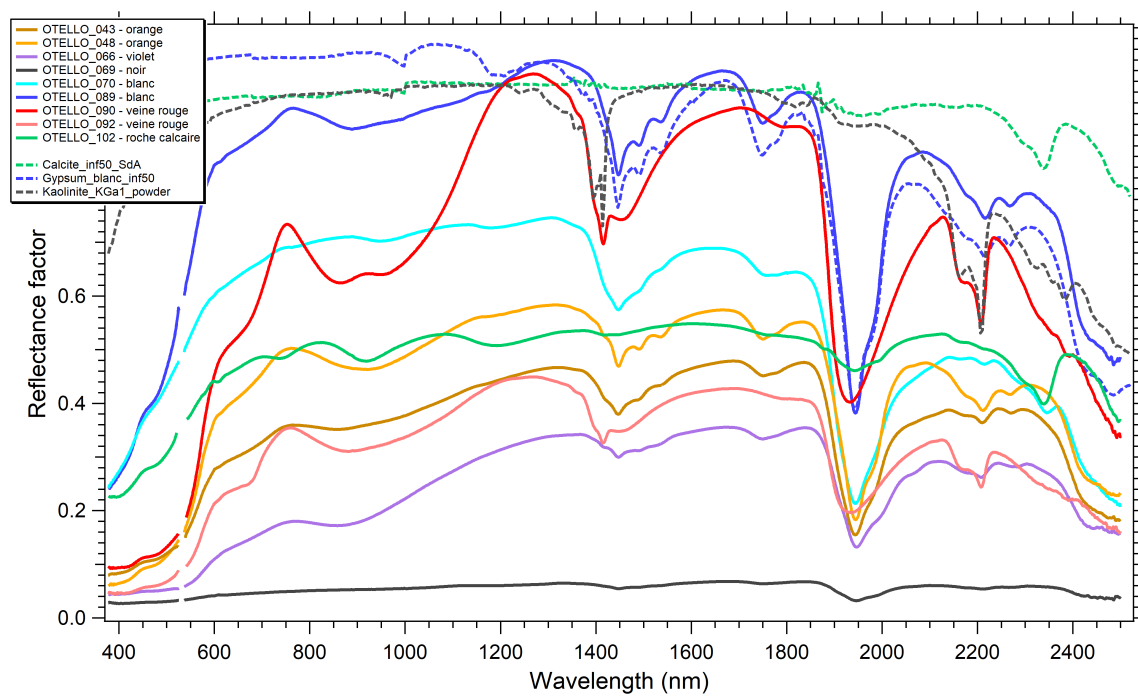


Figure 5.30 : Spectres de reflectance diffuse obtenus sur les figures du site d'Otello (St-Rémy-de-Provence) et sur 3 minéraux (gypse, calcite et kaolinite).

## Partie 6

### Prospections de fin 2020 à fin 2021

#### 6.1 État des lieux des zones prospectées

Des explorations individuelles, des informations communiquées par des amis et collègues, la consultation de nouveaux documents (archives, cartes, traités de géologie et guides) nous ont conduit à collecter, de manière ponctuelle et opportuniste, de nouvelles matières premières dans les secteurs géographiques où nous avons eu la chance de pouvoir nous déplacer systématiquement. Le démarrage de deux recherches doctorales à l'automne 2020 a orienté l'essentiel de nos efforts vers le soutien et l'accompagnement des doctorantes dans leurs travaux de terrain, en louvoyant entre les périodes de déplacement réduit. Le retour en Ardèche a été peu favorable, car le principal site que nous souhaitons échantillonner n'était que peu ouvert au public (La Boissine à La Voulte-sur-Rhône).

La liste simplifiée des échantillons prospectés est donnée en annexe 8 (Figure 6.2). Les points prospectés « négatifs » n'apparaissent pas dans la liste. Il s'agit des lieux prospectés pour lesquels aucune matière n'a été trouvée et collectée. Cette absence à l'affleurement nous conduira à revenir sur ces sites lorsque le couvert végétal sera réduit.

L'ensemble des prospections menées depuis 2016 est repris sous la forme d'un tableau synthétique (annexe 8) résumant, pour chaque zone et série géologique, voire étage géologique, les points échantillonnés. Les prospections menées cette année ont permis d'éprouver le système de référencement des gîtes, avec l'application et/ou la fiche papier, dans des contextes très variés, donnant lieu à plusieurs ajustements au retour de mission. Ces terrains ont été conduits en priorité pour le démarrage des deux thèses que nous encadrons, afin de rendre les doctorantes autonomes dans leurs recherches, ce qui a porté ses fruits puisqu'elles se sont fortement impliquées dans le nettoyage des données du tableur *Excel*, le suivi des échantillons, leur préparation et le montage de programmes d'analyses sur les grands équipements (AGLAE - C2RMF, Paris). Cinq zones ont été investiguées de la fin de l'automne 2020 à l'automne 2021 pour documenter les formations riches en fer :

- dans le secteur des Baux-de-Provence pour documenter les bauxites,
- au sud de l'Indre, profitant du confinement de l'automne 2020 pour explorer le périmètre de circulation autorisé par l'une d'entre nous (CC),
- dans le bassin versant de l'Yonne, en accompagnement de l'étude des séries archéologiques de la grotte du Renne à Arcy-sur-Cure (Yonne), Oisy (Nièvre) et Pincevent (Seine-et-Marne) dans le cadre de la thèse d'Aurélie Chassin de Kergommeaux,
- dans les Monts Lessini (Vérone, Italie) dans le cadre de la recherche doctorale de Giorgia Sardelli en accompagnement de l'étude des ensembles archéologiques de Riparo Tagliente et

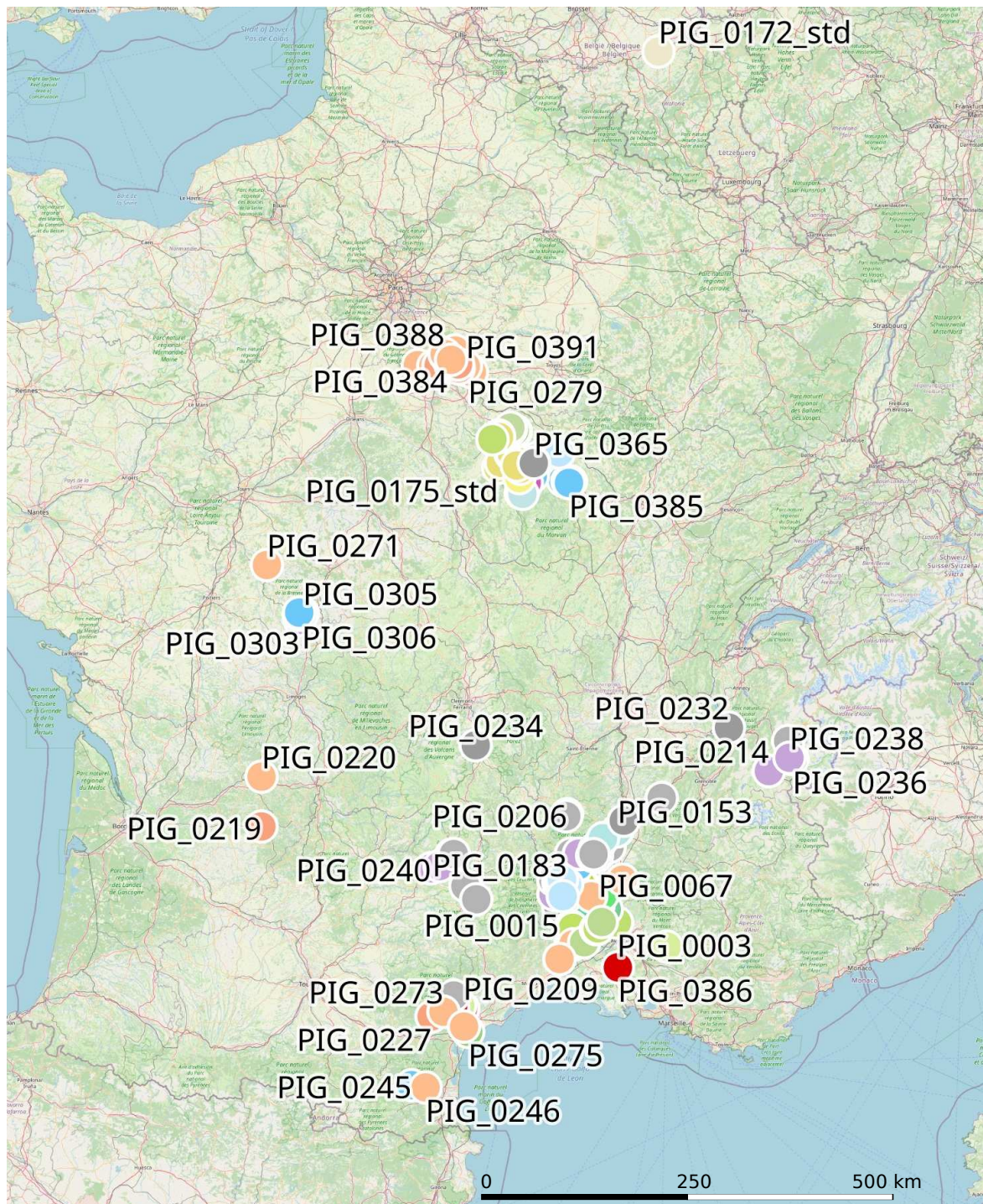


Figure 6.1 : Carte générale des points prospectés et échantillonnés. Fond de carte OpenStreetMap. Le code couleur renvoie aux couleurs de l'échelle chronostratigraphique internationale (sauf le rouge vif : bauxite - probablement de l'Aalénien (Jurassique) - le gris qui correspond à des formations volcaniques de différents âges et aux contextes mal datés et indifférenciés. DAO : H. Salomon (QGIS)





Arco (Via Serafini),

- en Similkameen, Colombie britannique (Canada), en accompagnement de l'étude du site orné de plein air de Chuchuwayha (EC),



## 6.2 Prospections dans le secteur des Baux-de-Provence - Bouches-du-Rhône

Hélène SALOMON, Aurélie CHASSIN DE KERGOMMEUX, Emilie CHALMIN, Claudia DEFASNE et Julien JACQUET.

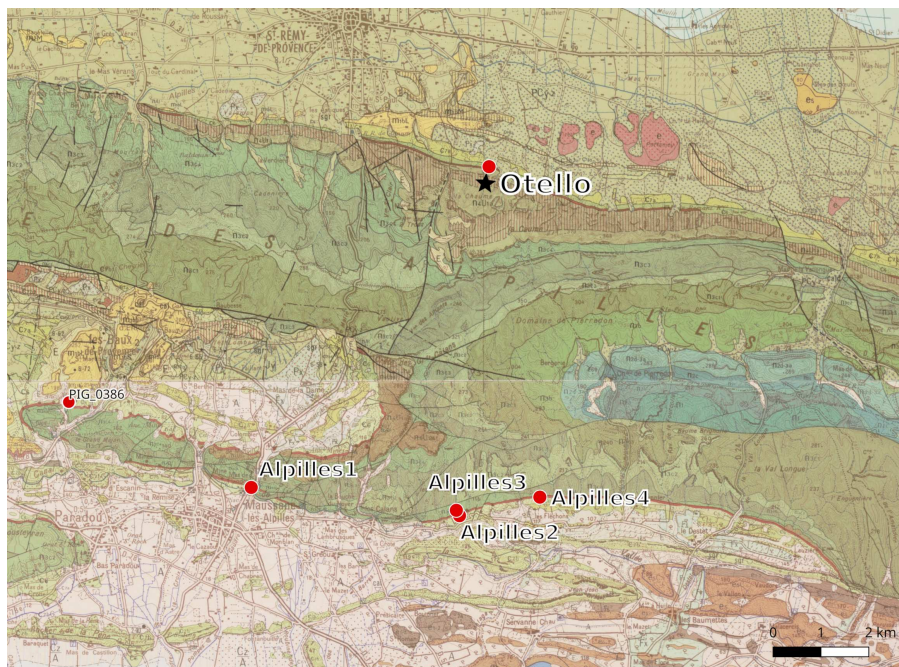


Figure 6.3 : Carte de la zone prospectée autour des Baux-de-Provence et position du site orné de plein air d'Otello. Fond de carte BRGM. DAO : A. Chassin de Kergommeaux et H. Salomon

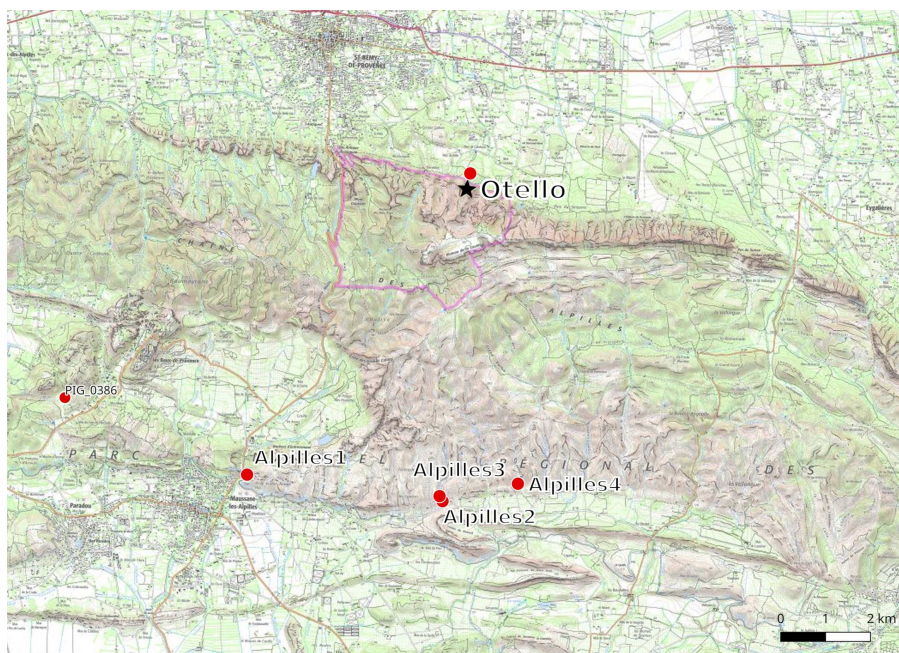


Figure 6.4 : Carte de la zone prospectée autour des Baux-de-Provence et position du site orné de plein air d'Otello. Fond de carte IGN. DAO : A. Chassin de Kergommeaux et H. Salomon

Au début du mois de juillet 2021, en accompagnement de la recherche sur le site d'Otello (Saint-Rémy-de-Provence, Bouches-du-Rhône) menée par Claudia Defrasne, nous avons repéré des affleurements de matières colorantes à proximité de l'abri sous roche orné (gîtes "Baux01" - PIG\_0386 - et "Otello" sur la carte de la figure 6.3. Une nouvelle mission au mois de novembre a contribué à poursuivre la documentation des ressources ferrugineuses dans les Alpilles (gîtes "Alpilles1" à "Alpilles4" sur les cartes des figures 6.3 et 6.4). Ces dernières données ne sont pas encore traitées pour figurer au présent rapport.

Un ensemble de deux gîtes visités se situent au lieu-dit "les Canonnettes", au sud des Alpilles (PIG\_0386, Figure 6.5), c'est-à-dire au sud-ouest des Baux-de-Provence. Le troisième gîte se trouve en contrebas du site d'Otello.

Le gîte des "Canonnettes" permet de documenter la bauxite du site éponyme avec des affleurements aisément accessibles et bien visibles, suite aux exploitations minières. Les fronts de taille mettent au jour les différents faciès de la formation malgré la végétation qui s'est développée après l'abandon des travaux miniers. D'après les études géologiques, l'extension des couches exploitables et leur rendement ont permis de documenter la genèse de cette formation (Debrand-Passard *et al.* 1984).



Figure 6.5 : Affleurement de bauxite à proximité de l'ancienne exploitation minière des "Canonnettes". H. Salomon

- Au mur, a été reconnu un calcaire crétacé inférieur d'âge Hauterivien, partiellement dissous ce qui a formé des reliefs et des karsts. Les dépressions, où la couche de bauxite est plus épaisse, et des dômes, où l'épaisseur de la couche s'amenuise, rendent ainsi irrégulière la couche de bauxite.
- Surmontant le calcaire hauterivien, la couche de bauxite s'étire d'est en ouest sur les bords méridionaux et septentrionaux des Alpilles. Les faciès sont variables verticalement comme



latéralement, suite à la latéritisation de la strate et au piégeage de cette couche altérée dans les dépressions karstiques formées dans le calcaire hauterivien. Les faciès sont caractéristiques de profils pédologiques intensément évolués, de telle sorte que l'on retrouve les faciès argileux peu altérés à la base et les faciès bauxitiques au sommet de la séquence. La roche d'origine ainsi pédogénérée est supposée correspondre aux marnes aptiennes qui recouvraient le calcaire en cours de karstification au moment de l'émersion médio-crétacée (origine parallochtone des matériaux altérés) avec poursuite de la bauxitisation à l'aplomb du mur actuel. Cependant, la présence de quartz rhyolitiques du Permien, fréquemment trouvés dans la fraction détritique du Cénomanién régional, tendrait à indiquer que la couche de bauxite s'est développée sur un mélange de matériel parallochtone marneux d'âge Aptien et de colluvions (donc allochtones) d'âge Cénomanién.

- Au toit, en discordance sur la bauxite, des bancs de calcaires lacustres du Campanien (Valdo-Fuvélien, Crétacé supérieur) sont aisément visibles.

Quinze faciès ont été prélevés dont treize dans l'affleurement et deux au pied de l'affleurement, traduisant la grande variabilité lithologique de la bauxite (Figure 6.6) : faciès alumineux plus ou moins riche en pisolithes hématitiques (c), ferrugineux (hématitique) à pisolithes goéthitiques (g), ferrugineux (hématitique) à pisolithes goéthitiques (d), ferrugineux à matrice et pisolithes goéthitiques (d), argileux à vermiculations ferrugineuses et kaoliniques (f), à gros pisolithes (i), croûte (e), etc.

A côté de ce petit affleurement se trouve une vaste dépression creusée dans les calcaires lacustres fuvéliens. Cette mine, encore en activité au début des années 80' met au jour un affleurement de plusieurs centaines de mètres de long. La bauxite affleure uniformément sur une épaisseur d'environ 6 m. Les mêmes faciès lithologiques que sur le premier site ont été observés (Figure 6.7).

Enfin, nous avons exploré l'environnement immédiat du site d'Otello. En suivant le sentier principal, avant de s'enfoncer dans les broussailles du petit sentier qui mène à l'abri, nous avons découvert la couche de bauxite qui traverse le sentier de part en part à quelques centaines de mètres avant l'abri. La couche est peu développée de ce côté septentrional des Alpilles, mais affleure sur quelques dizaines de centimètres d'épaisseur. Il s'agit de faciès à pisolithes riches en hématite et goéthite. (Figure 6.8).



Figure 6.6 : Affleurement de bauxite à proximité de l'ancienne exploitation minière des "Canonnettes" au site du "Viaud Ricaud". H. Salomon





Figure 6.7 : Affleurement de bauxite dans l'ancienne exploitation minière des "Canonnettes". H. Salomon



Figure 6.8 : Affleurement de bauxite sur le sentier qui mène à l'abri orné d'Otello à quelques centaines de mètres du site. H. Salomon

## 6.3 Prospections dans le secteur de Chaillac - Indre

Claire CHANTERAUD et Hélène SALOMON

### 6.3.1 Introduction

Cette note relate les prospections réalisées durant l'automne 2020. Il a été décidé que ces travaux de terrains, réalisés tardivement dans l'année puis centralisés vers la *Pigmentotheque* en 2021, figureraient dans le rapport de l'année 2021. Car, l'année 2020, marquée par les différents confinements plus ou moins stricts, a largement entravé les activités de terrain. La prospection présentée dans ce rapport est directement liée à la situation de confinement dans laquelle se trouvait la France à l'automne 2020.



Les déplacements étaient alors fortement déconseillés et restreints à quelques kilomètres autour du domicile, c'est pourquoi l'activité scientifique a dû être adaptée à cette conjoncture ce qui, dans le respect des préconisations et des restrictions sanitaires du moment, a donné l'occasion d'explorer de nouvelles zones. La prospection a été effectuée par Claire Chanteraud dans un rayon géographique de quelques kilomètres autour de son domicile familial à la limite nord du Limousin et au sud de l'Indre.

L'action de documentation des formations géologiques riches en fer a ainsi été portée dans l'Indre sur les marges sud du Bassin parisien au niveau de la zone de contact avec le massif cristallin du Limousin et du Massif central (Figure 6.9).

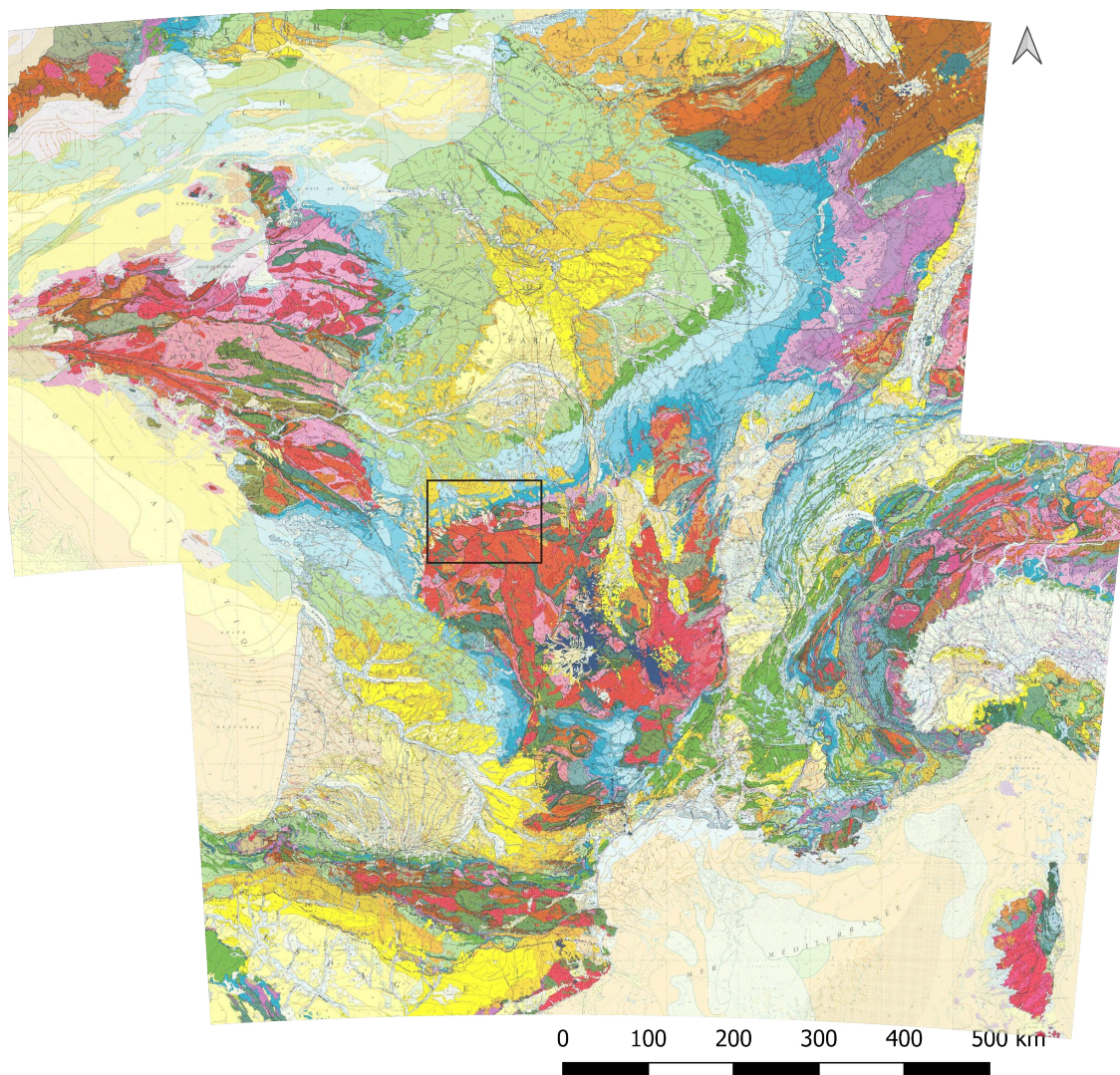


Figure 6.9 : Carte de la zone prospectée lors de la campagne de novembre 2020 dans l'Indre. Fond de carte BRGM.

Contrainte par la situation sanitaire du pays, la zone ciblée pour cette campagne de documentation des matières riches en fer n'est toutefois pas dénuée d'intérêt archéologique. En effet plusieurs sites préhistoriques, de plein air ou souterrains (grottes ornées, abri sous roche), attribués à différentes pé-

riodes (Gravettiens, Solutréens, Magdaléniens) ont été identifiés et étudiés (Aubry *et al.* 1998 ; Robert *et al.* 2014 ; Abgrall *et al.* 2017) : en particulier, La Marche (Vienne : Mélard 2008, Mélard et Coquinot, travaux en cours au C2RMF), Le Roc aux Sorciers (Abgrall *et al.* 2017), La grotte Blanchard (La Garrenne) à Saint-Marcel (Salomon *et al.* 2015), Fressignes (Salomon *et al.* 2013) où de nombreuses matières colorantes ont été mises au jour. Plus au nord, dans le secteur de la Roche-Posay et du Grand Pressigny, de nombreux sites sont les témoins d'utilisations de matières colorantes durant le Paléolithique supérieur : Les Cottés – Châtelperronien, Aurignacien et Gravettien (rapport HS, 2015), Les Maîtreaux – Solutréen (Salomon *et al.* 2015), l'abri Fitte-Bordes – Châtelperronien (observation HS), La Picardie – Rayssien (comm. Laurent Klaric).

Les prospections se sont concentrées dans la marge sud, sud-est du parc de la Brenne, sur la commune de Chaillac. Connue comme ancien bassin minier, la région de Chaillac présente plusieurs formations de roches riches en fer exploitées pour la métallurgie depuis les époques protohistoriques (Dieudonné-Glad 1996 ; Martaud *et al.* 2004 ; Charraud 2015) jusqu'à nos jours puisqu'une mine est toujours en activité pour l'exploitation d'un filon de barytine (Groupe Garrot Chaillac).

### 6.3.2 Résultats de la prospection

Les recherches de roches colorantes dans la vallée de Chaillac ont permis de documenter 8 gîtes de matières premières riches en fer.

Les affleurements documentés sont tous issus de la formation géologique : I2 attribuée au Sinémurien. Cette formation, d'une épaisseur de 5 à 20 m, est décrite comme une formation de calcaires et dolomies jaunâtres et bioclastiques, de calcaires à oolites ferrugineuses, ou de calcaire argileux (Figure 6.10). Seul le point PIG\_0308 se trouve dans une formation différente (I1 : Héttangien) : un sable arkosique formé entre le Lias et l'Héttangien (carte géologique 592\_Belabre).

Les points enregistrés lors de cette campagne permettent d'illustrer la diversité de contextes et de lithologies des matières qu'il est possible de rencontrer dans un espace minéral assez restreint. En effet, bien que la formation d'origine des roches collectées (I2) soit la même, les contextes de collecte sont très différents (Figure 6.11).

Si certaines références ont été collectées en haut de plateaux dans des dépôts sédimentaires (Le Rossignol – PIG\_302), d'autres ont été découvertes dans les champs de la vallée fluviale de l'Anglin (Maison Neuve – PIG\_0304), ou encore dans d'anciennes mines entaillant des affleurements verticaux à proximité de la rivière (Moulin de Dunet – PIG\_0308). Chacun des contextes de collecte est détaillé dans les fiches gîte (annexe 9).

Cette diversité témoigne de la disponibilité de matières premières colorantes dans la vallée de l'Anglin que ce soit dans ou aux abords de la rivière mais aussi sur les pentes et les terrasses alluviales.

La vallée de Chaillac illustre également l'histoire des roches et pose la question de leur chaîne évolutive. En effet, à partir de la même genèse, la roche se retrouve à l'affleurement dans des contextes géomorphologiques bien différents.



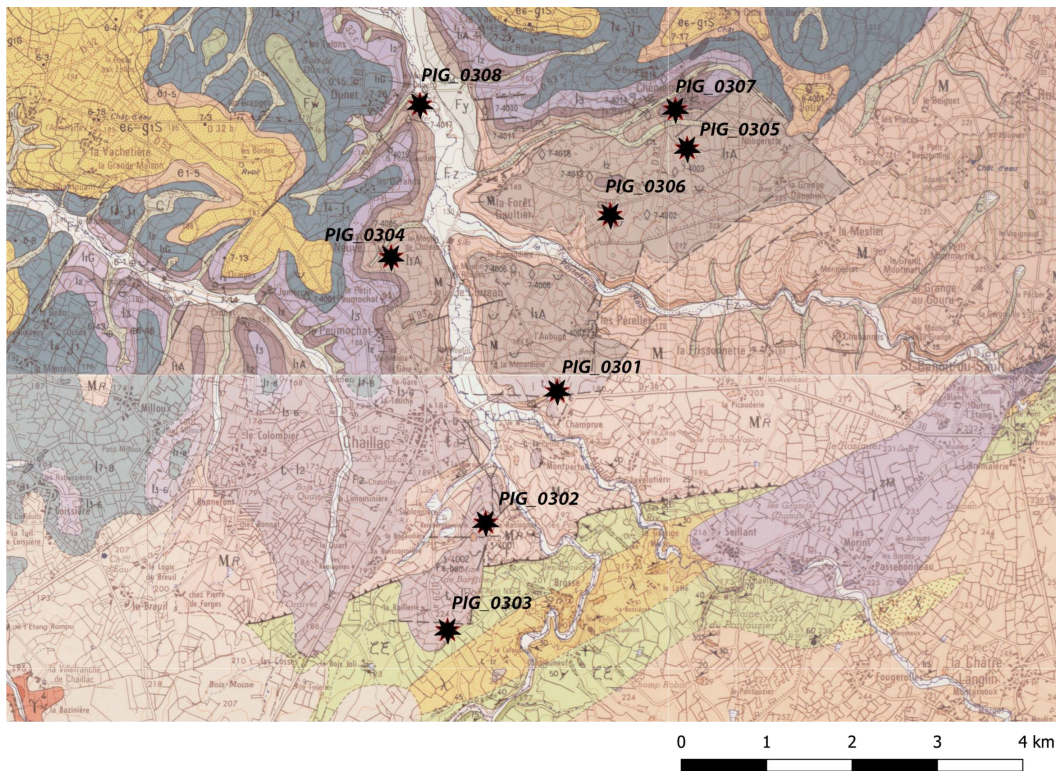


Figure 6.10 : Localisation des points de collecte sur la carte géologique dans le secteur de Chaillac. Fond de carte BRGM.

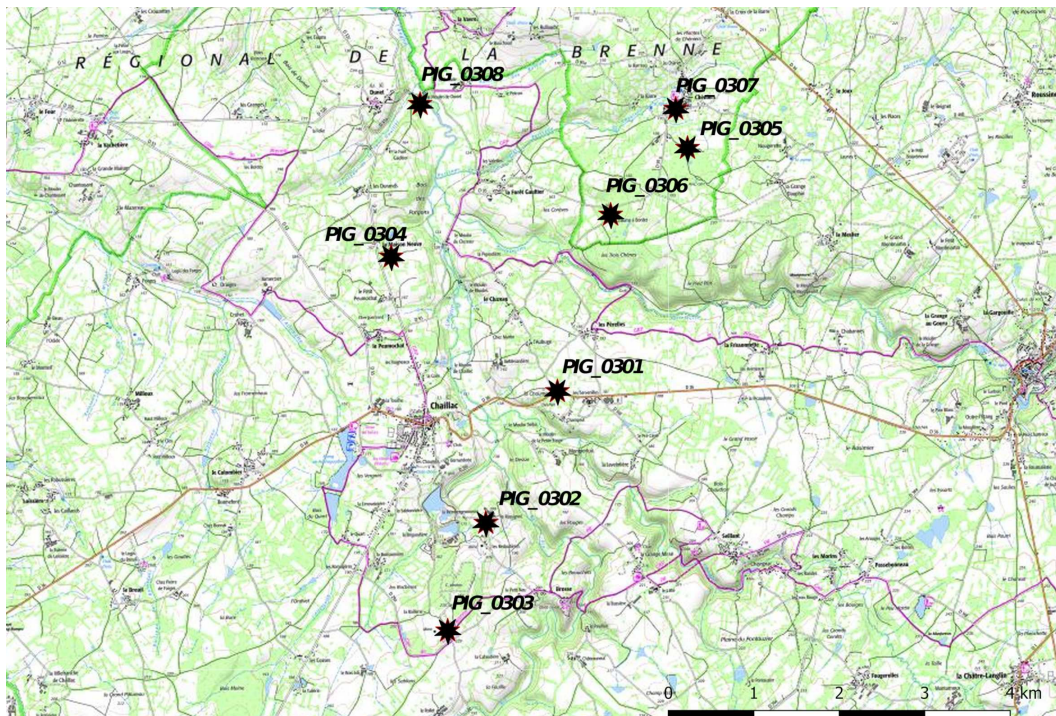


Figure 6.11 : Localisation des points de collecte sur la carte topographique dans le secteur de Chaillac. Fond de carte IGN.



## 6.4 Le bassin versant de l'Yonne : Côte-d'Or, Yonne, Nièvre, Seine-et-Marne

Aurélié CHASSIN DE KERGOMMEAUX et Hélène SALOMON, avec la participation de Gaëlle DUMARÇAY, Florian PERRON, Giorgia SARDELLI, Iris QUERENET ONFROY DE BRÉVILLE et Charlotte SAINT-RAYMOND

Le bassin versant de l'Yonne a été prospecté depuis 2020 dans le cadre de la thèse d'Aurélié Chassin de Kergommeaux et de son travail sur les provenances des matières colorantes riches en fer sur les sites archéologiques de Pincevent (La-Grande-Paroisse, Seine-et-Marne), du Mont Saint-Aubin (Oisy, Nièvre) et de la Grotte du Renne (Arcy-sur-Cure, Yonne). Cette recherche profite au programme de la *Pigmentoθήque* puisqu'elle permet de compléter les collections géologiques, de préciser et perfectionner les méthodes de documentation et d'analyse des échantillons géologiques. De plus, ces prospections poursuivent et enrichissent les premières documentations des formations contenant des matières riches en fer dans le secteur d'Arcy-sur-Cure (Salomon 2019) et de Pincevent (Mathis *et al.* 2014). Elles visaient également à documenter plus précisément l'une des formations des standards internes de la *Pigmentoθήque*, celle de Beauregard (Thostes, 89). Deux missions de prospections ont été engagées cette année à la suite ou en amont de missions sur le site archéologique de Pincevent en mai et en juillet. Au total, 48 affleurements ont été échantillonnés, ce qui représente 14 formations géologiques (Figure 6.12 et annexe 10). Ces recherches, menées de la manière la plus systématique possible dans le tronçon médian et aval du bassin versant de l'Yonne visait à documenter la diversité des roches riches en fer issues des différents contextes de formation et de dépôt, en accordant une attention plus importante aux calcaires ferrugineux, aux roches oolithiques ferrugineuses (OIS) et aux grès ferrugineux. Car ces différents types de roches se retrouvent dans les assemblages des trois sites (calcaires et grès ferrugineux à la grotte du Renne, OIS et grès ferrugineux à Oisy et Pincevent). La partie amont de l'Yonne, dans le Morvan, n'a pas été explorée et les affluents secteurs ouest et est des affluents de l'Yonne seront encore prospectés.

### 6.4.1 Prospections dans le tronçon médian du bassin versant de l'Yonne (oolithes et grès ferrugineux)

Les terrains échantillonnés sont présentés des plus récents aux plus anciens, en commençant par les couvertures des plateaux jurassiques. Le tronçon médian est ici compris entre le Morvan et la Puisaye. Cette zone est particulièrement riche en formations géologiques contenant des oxydes et hydroxydes de fer comme en témoigne l'existence de nombreuses exploitations du fer depuis le Moyen Age (Huré 1920 ; Menillet *et al.* 1974). Plusieurs types de roches y abondent encore à l'affleurement : grès ferrugineux, roches à oolithes ferrugineuses, calcaires ferrugineux et des argiles riches en fer (Figure 6.13). Les gîtes échantillonnés sont présentés en annexe 10.

#### 6.4.1.1 Le Mio-Pliocène et les couvertures limoneuses

Les matières riches en oxydes de fer sont mentionnées associées aux couvertures datant du Mio-Pliocène dans la carte de Vermenton (Mégnyen et Turland, 1971) et associées aux couvertures limoneuses dans la carte de Courson-les-Carrière sont similaires (Mégnyen *et al.* 1972). Ces dépôts couvrent irrégulièrement les plateaux calcaire. Le Mio-Pliocène se rencontre dans les alluvions anciennes et est facilement reconnaissable aux blocs ferrugineux qu'il contient, notamment des grès,

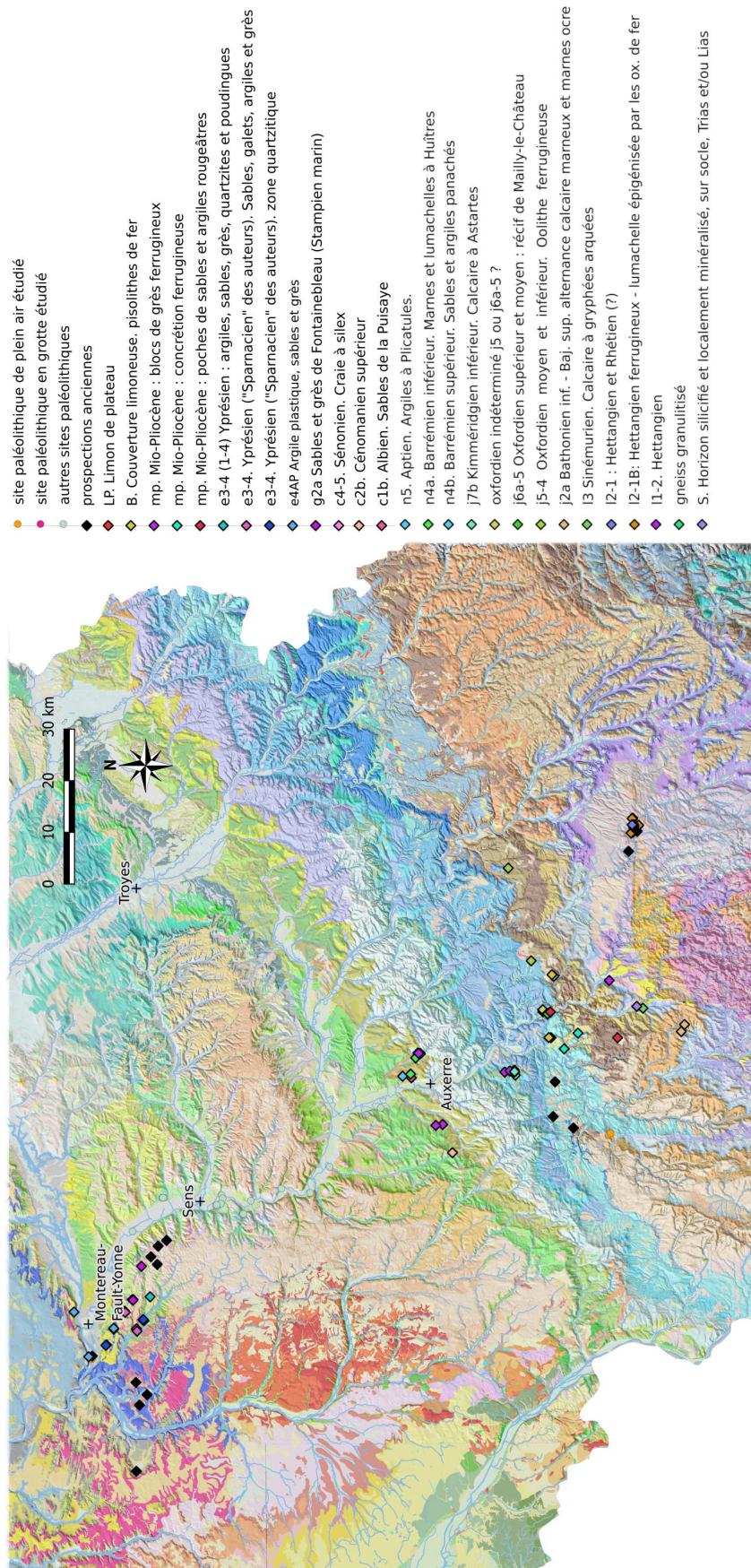


Figure 6.12 : Carte des prospections reprenant les sites prospectés cette année (losanges de couleur) et les années précédentes (losanges noirs) dans le bassin versant amont de l'Yonne (DAO : Aurélie Chassin de Kergommeaux à partir des cartes géologiques au 1/50 000<sup>e</sup> vectorisées et harmonisées du BRGM et du MNT à 5m de l'IGN). DAO : A. Chassin de Kergommeaux



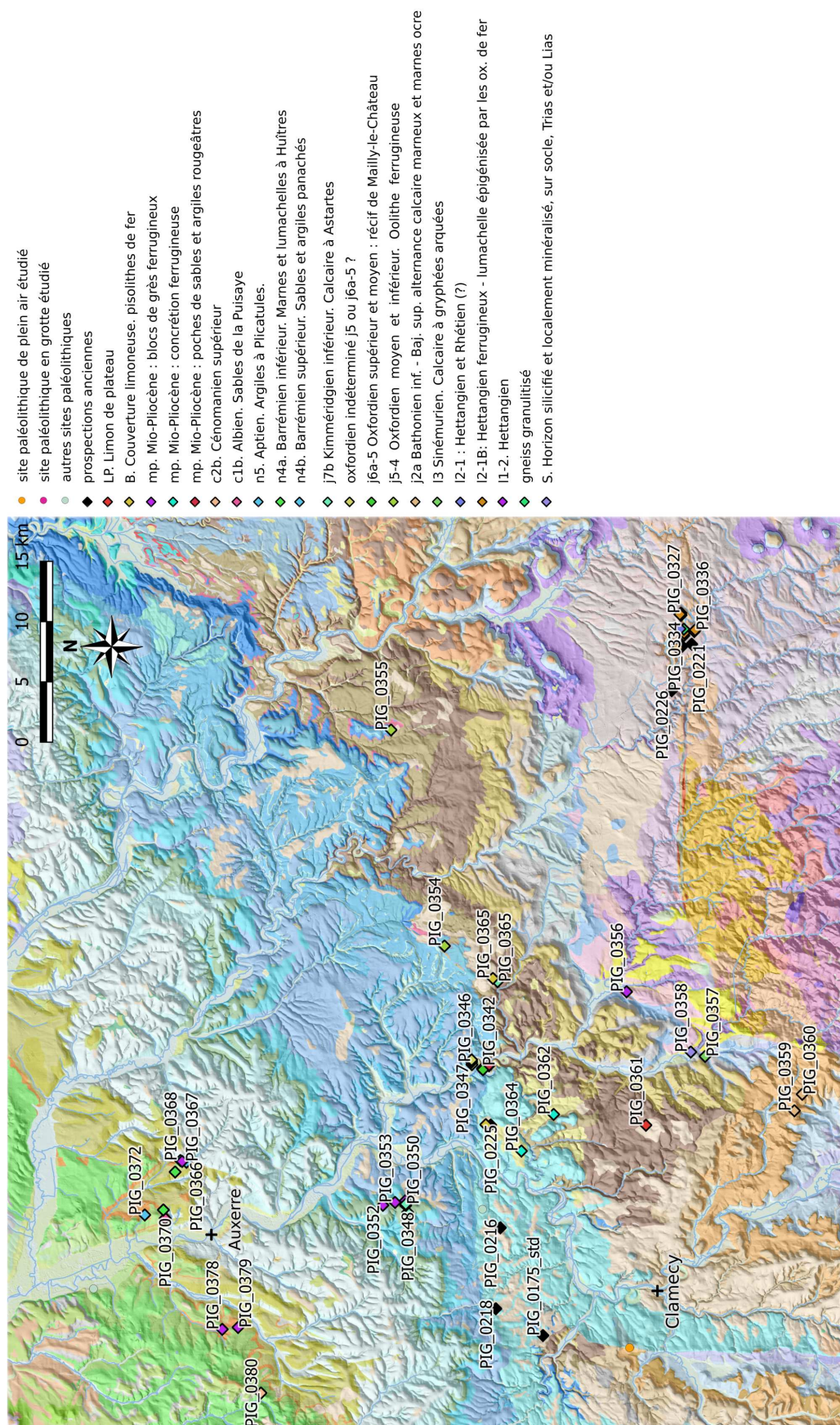


Figure 6.13 : Carte présentant l'ensemble des points prospectés dans le bassin versant de l'Yonne cette année (losanges de couleurs) et les années précédentes (losanges noirs; DAO. Aurélie Chassin de Kergommeaux, à partir des cartes géologiques au 1/50 000e vectorisées et harmonisées du BRGM et des MNT à 5m de l'IGN). DAO : A. Chassin de Kergommeaux

des concrétions et de rares pisolithes. Bien que distinguées par certains auteurs, ces deux formations restent très similaires tant par leur contenu que par leur positions topographiques.

Sur le terrain, le matériel ferrugineux est principalement représenté par des blocs pluricentimétriques de grès, des concrétions ferrugineuses et des pisolithes se retrouvent en position secondaire dans différents environnements - champs, chemins et bois - aux côtés d'un matériel varié (nodules de silex blonds à blancs, calcaires, grès).

Le Mio-Pliocène est également visible dans les poches d'argiles rouges et jaunes de certains remplissages karstiques des calcaires jurassiques (Mégny et Turland, 1971). Dans les grottes de Saint-Moré, notamment dans les grottes du Père Leleu et de Nermont, des dépôts sont encore visibles au niveau du porche. Ces argiles ont été exploitées pour leur pouvoir colorant notamment. Plusieurs faciès ont pu être identifiés : très fins, laminés, jaunes, meubles et plastiques (PIG\_0343, Grotte de Nermont est), jaunes et rouge plus pulvérulents (PIG\_0341, Grotte du Père Leleu). Ces argiles fines (apparemment azoïques) se sont déposées en formant des lamines horizontales dans la grotte qui viennent comblées les anciennes dissolutions karstiques.

#### **6.4.1.2 Le Crétacé : La Puisaye, cénomanien supérieur, c2b**

La Puisaye correspond à de grandes étendues d'argiles rouges à jaunes contenant de rares blocs de grès. De petites dépressions retenant l'eau marquent le paysage. Ces argiles constituent la formation dite « des ocres de Puisaye ». Cette formation contient également des bancs gréseux d'après les notices géologiques (Mégny, 1967 ; Debrand-Passard, 1969). Nous avons pu documenter la formation en deux endroits : dans l'ancienne carrière d'ocre de Pourrain où les matières ferrugineuses se trouvent surmontées par la formation des « craies à Ammonites » et au Tureau du Bar (Auxerre, 89). Dans la carrière, nous avons prélevé des matières en position primaire, sur le front de taille et en position secondaire, parmi les déblais de la carrière. Au Tureau du Bar, on retrouve des argiles rouges et des petits blocs de grès ferrugineux, soit sous forme de concrétion soit sous forme de fragments issus de bancs de grès qui n'affleurent pas actuellement.

#### **6.4.1.3 Le Néocomien**

##### **Sables et argiles panachés, Barrémien supérieur, n4b**

La formation du Barrémien supérieur, telle qu'observée dans une ancienne carrière du Château Saint-Anne (PIG\_0366, Les Soleines, 89), est constituée d'argiles légèrement sableuses bariolées avec des zones rouges, blanches et jaunes contenant des fragments pluricentimétriques de grès. Ces grès sont très irréguliers et de faciès variables avec des blocs de concrétions ou des fragments de grès probablement transportés. Ces formations sont macroscopiquement différenciables des ocres de Puisaye par la nature des argiles plus collantes et imperméables que les sables fins de la Puisaye (Mégny, 1967 ; Debrand-Passard, 1969).

##### **La sanguine : Barrémien inférieur. Marnes et lumachelles à Huîtres, n4a**

Au cœur de la formation n4a, un niveau de "sanguine" est décrit dans les cartes géologiques (Mégny, 1967 ; Debrand-Passard, 1969), comme une argile riche en hématite. A Labordé (PIG\_0371, Auxerre, 89) ces matières ont été découvertes en place. Elles forment, sous les calcaires à huîtres les

surmontant, un niveau d'une dizaine de centimètres se débitant en miches. La matière est consolidée, très fine au toucher doux et rouge violacé parcourue de blanc.

#### **6.4.1.4 Jurassique moyen et supérieur**

##### **Oolithe ferrugineuse, oxfordien moyen et inférieur, j5-4**

Les formations à oolites ferrugineuses du haut du bassin versant de l'Yonne, sont mentionnées dans la formation j5-4 ("Oxfordien moyen et inférieur. Oolithe ferrugineuse", Concaret *et al.* 1970; Mégnien et Turland, 1971) s'avère correspondre à un calcaire marneux gris à patine blanche coquillé et à ammonites contenant de gros oolites ronds riches en goethite. Trouvé en plusieurs lieux en position primaire (PIG\_0355, Etivey, 89) ou sub-primaire (PIG\_0354, Joux-la-Ville, 89), il présente les mêmes caractéristiques et ne correspond pas aux matières oolithiques ferrugineuses présentes dans les collections archéologiques prises en compte.

##### **Oolites ferrugineuses de l'Aptien : Argiles à Plicatules, n5**

Le niveau calcaire à oolites de l'Aptien (Concaret *et al.* 1970; Mégnien et Turland, 1971) n'affleure que très peu dans la région. Nous n'avons pas trouvé d'affleurement, mais seulement un bloc en position secondaire dans un champs au nord est du Château Sainte Anne (PIG\_0368, les Soleines, 89). Il s'agit d'un calcaire gris à patine blanches contenant de rares oolites ronds de goethite et de nombreux bivalves partiellement ferruginisés.

##### **Kimméridgien inférieur, calcaire à Astartes**

Les calcaires à Astartes ont été prospectés pour la forte teneur en glauconie des bancs sommitaux mentionnés dans la notice géologique (Mégnien *et al.*, 1970; Mégnien et Turland, 1971). Ils affleurent peu car ils sont recouverts par des dépôts quaternaires ou mio-pliocènes. De rares blocs ont été retrouvés dans les champs aux alentours du bois de l'Épine (PIG\_0348 et PIG\_0349).

#### **6.4.1.5 Le Lias**

##### **Les calcaires à entroques ferruginisés, l2-1b**

La formation des calcaires à entroques ferruginisés de l'Hettangien (Horon *et al.* 1968) qui avait déjà été échantillonnée dans les terrils des mines de fer du XIXe siècle à Beauregard (PIG\_0174\_std, Thoste, 89) et constituant un des standards de la *Pigmentothonne*, a été retrouvée en place. En effet, une des entrées de mine (Rat *et al.* 1972) se trouve actuellement dans un champ privé et laisse apparaître les bancs sommitaux de la formation. Invitées par le propriétaire, nous avons pu prélever les bancs affleurants (PIG\_0385). Les bancs sommitaux sont les moins ferruginisés alors que les bancs sous-jacents sont plus ferruginisés. Les observations le long de la départementale nous ont permis de voir que l'Hettangien reposait directement sur le socle cristallin en partie ferrugineux.

### **6.4.2 Prospections dans le secteur aval du bassin versant de l'Yonne**

Les prospections à proximité du site archéologique de Pincevent poursuivent les travaux déjà engagés (Figure 6.14). Lors des campagnes précédentes, les altérations des grès de Fontainebleau (Larchant) et les formations éocènes (Yprésien) accessibles dans les champs, souvent au voisinage de ferriers ont été documentées, ce qui a apporté de riches références géologiques de roches ferrugineuses (grès fin à ciment d'hématite et nombreuses concrétions de goethite et hématite). C'est pourquoi les prospections de cette année ont porté vers les affleurements de grès des formations Yprésiennes et de poudingues de Nemours qui sont susceptibles de mettre à disposition des matières ferrugineuses. Nous avons ciblé les anciennes carrières de grès et de craie, nombreuses dans le secteur (Neau et al. 1973). Les anciennes carrières du Bois Jadrat (PIG\_0382) et de Diant (PIG\_0393) ont révélé des affleurements de grès présentant une ferruginisation discrète. La carrière du Bois Jadrat (PIG\_0382) à Voulx (77) présente des niveaux de sables et de grès à induration variable. Certains niveaux montrent des ferruginisations localisées. La carrière du bois de Diant (PIG\_0393) révèle des grès de Fontainebleau légèrement jaunes en surface.



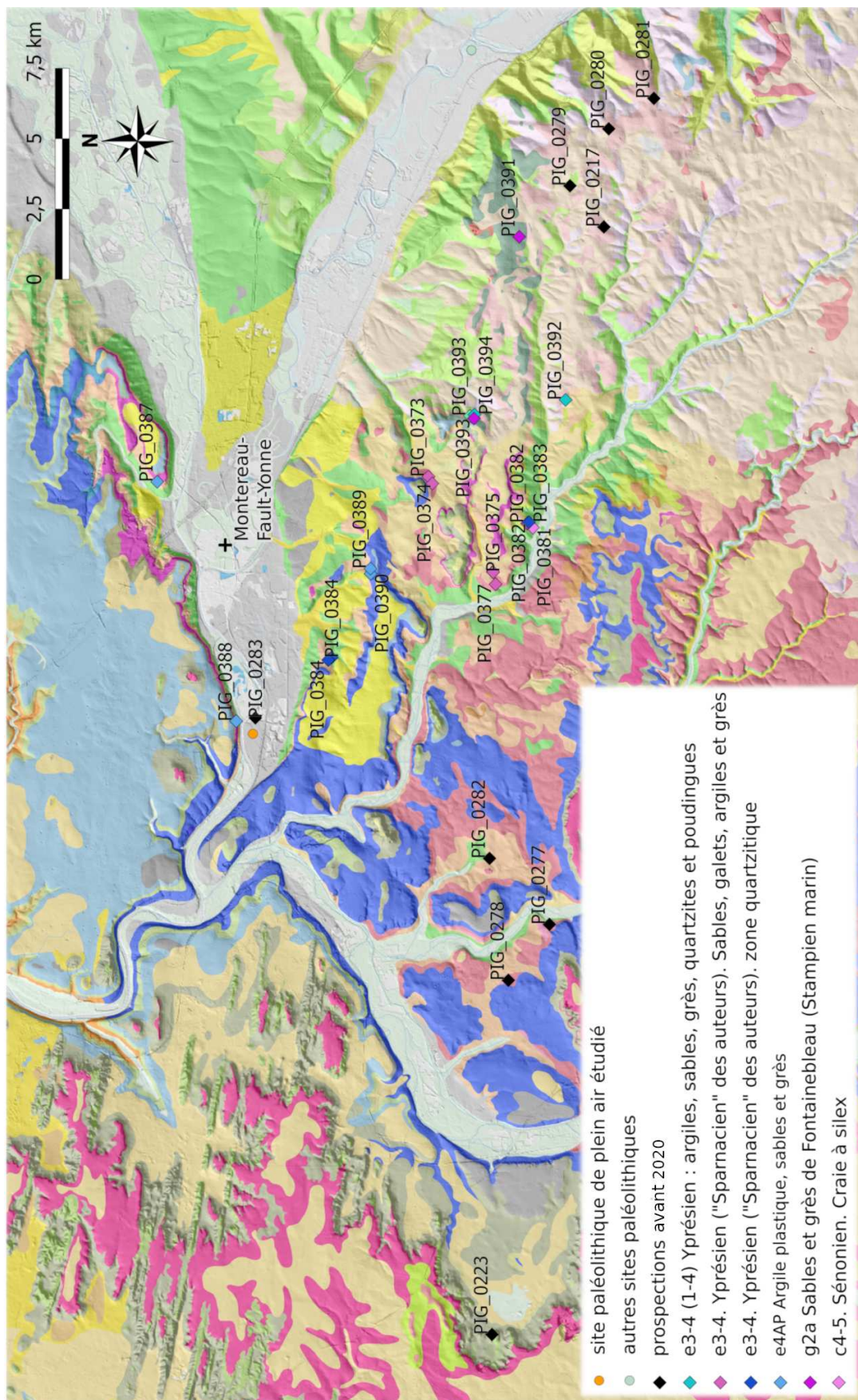


Figure 6.14 : Carte des prospections reprenant les sites prospectés depuis le début de l'étude des matières colorantes (losanges noirs) et ceux prospectés cette année (losanges de couleurs) aux alentours de Pincevent ; à l'aval du bassin versant de l'Yonne (DAO : Aurélie Chassin de Kergommeaux à partir des cartes géologiques au 1/50 000<sup>e</sup> vectorisées et harmonisées du BRGM et du MNT à 5m de l'IGN). DAO : A. Chassin de Kergommeaux

## 6.5 Monte Lessini, Vérone, Italie

Giorgia SARDELLI, Roberto ZORZIN, Federica FONTANA et Hélène SALOMON, avec la participation d' Alessandra LIVRAGHI

### 6.5.1 Cadre général

Depuis novembre 2020, des prospections géologiques en Italie nord-orientale ont été conduites (en collaboration avec l'Université de Ferrare et le Musée d'histoire naturelle de Vérone) et intégrées dans le programme de recherche de la *Pigmentoθήque*.

Intégrer des zones d'étude différentes comme l'Italie nord-orientale permet d'acquérir, d'un point de vue géologique, de nouvelles données sur la diversité et variabilité des formations rocheuses et des dépôts riches en oxydes/hydroxydes de fer. Puis, d'un point de vue archéologique, de pouvoir comparer les différentes pratiques liées à l'exploitation des matières colorantes à la fin du Pléistocène, durant le Paléolithique moyen et supérieur.

La prise en compte de l'Italie comme terrain d'étude permet également d'élargir la lithothèque créée dans le cadre de ce programme commun de recherche en partageant les expériences de terrain et en formant directement les étudiants qui pourront, à leur tour, diffuser les apprentissages.

Le site archéologique italien de Riparo Tagliente considéré et dont l'étude est accompagnée par l'utilisation de la *Pigmentoθήque* est étudié dans le cadre d'une thèse de doctorat certainement le site d'occupation qui a révélé la plus riche collection de matières colorantes du Paléolithique supérieur européen. Celui-ci représente l'un des principaux sites européens datés de la dernière partie du Pléistocène (Paléolithique supérieur tardif). Le site est situé sur le massif préalpin des Lessini sur le versant ouest de la Valpantena (250 m au-dessus du niveau de la mer). Les dépôts anthropiques de Riparo Tagliente ont permis de découvrir une grande quantité d'artefacts colorés et colorants durant les soixante années de fouilles menées jusqu'à présent. Ces fouilles, qui sont toujours en cours, ont commencé en 1962 (Museo Civico di Storia Naturale de Verona et Université de Ferrara) et ont permis de mettre à jour une importante séquence stratigraphique (4,6 mètres de profondeur) avec des occupations du Paléolithique moyen et supérieur. La séquence de l'Épigravettien supérieur (17.2-16.69 ka cal. BP à 14.5-13.47 ka cal. BP) atteste le premier peuplement des Alpes du Sud pendant une phase précoce du Glaciaire tardif (GS-2.1a). (Fontana *et al.*, 2009). Parmi les nombreux artefacts tels que des outils lithiques et des restes de faune, une grande quantité de matières colorantes riches en goethite/hématite a été découverte dans les niveaux épigravettiens. Ces roches ferrugineuses ont été détectées dans le dépôt anthropique principalement sous forme de fragments et de blocs de différentes dimensions enregistrant, dans certains cas, des traces de traitement mécanique intentionnel et de traitement thermique. Des objets peints (art mobilier) et des résidus sur divers artefacts de la vie quotidienne tels que des galets de calcaire, des coquillages et des outils lithiques ont également été identifiés.

### 6.5.2 Les dépôts géologiques prospectés

Afin d'identifier les dépôts géologiques exploités par les groupes épigravettiens qui ont occupé l'abri Tagliente durant la fin du Paléolithique supérieur, trois prospections ont été menées dans les Monts

Lessini (nord-est de l'Italie) en décembre 2020, janvier 2021 et septembre 2021 par Giorgia Sardelli, Federica Fontana, Roberto Zorzin et Hélène Salomon.

Les Monts Lessini sont un plateau calcaire localisé sur le front méridional du SudaApino et constitué principalement de roches carbonatées datées entre 225 et 11 Ma (Triasique supérieur et le Miocène) (Zampieri & Zorzin, 1993 ; Zampieri, 1993).

L'affleurement rocheux plus ancien constituant la base des Mont Lessini correspond à la formation de la Dolomia Principale (Carnien supérieur et Rhétien) caractérisée par la dolomitisation de calcaires bioclastiques, biomicrites, stromatolithes ou brèches pisolithiques. La partie la moins élevée de la formations (calcaires bioclastiques et biomicrites) n'émerge que dans la Val d'Adige et Val Ronchi (Zampieri & Zorzin, 1993 ; Giusberti *et al.*, 2020).

À la suite de cette formation géologique s'observe la séquence Calcari Grigi du Jurassique inférieur ayant enregistré l'alternance de calcaires oolithiques et bioclastiques, marnes, calcaires argileux.

La succession lithologique montre la présence de la formation Gruppo di San Vigilio (Jurassique moyen) constituée principalement de calcaires oolithiques et calcaires bioclastiques. Le Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur, Bajocien-Tithonien) est l'unité sus-jacente caractérisée par la présence de calcaires nodulaires et calcaires pélagiques avec ammonites, stromatolites et hardgrounds. La partie inférieure de cette formation est constituée de calcaires nodulaires tandis que la partie intermédiaire est marquée par la présence de calcaires pélagiques stratifiés alternés à couches marneuses et argileuses avec nodules de silex. La partie supérieure est constituée de calcaires riches en ammonites (Préat *et al.*, 2006). Dans la Val d'Ilasi et Valpolicella, les formations Dolomia Principale, Calcari Grigi, Gruppo di San Vigilio et Rosso Ammonitico ont subi une dolomitisation secondaire qui a modifié leur lithologie de base. Ces formations fortement dolomitisées et indifférenciées sont reconnues sous le terme de Complesso Dolomitico Indifferenziato.

Concernant la stratigraphie, ces dépôts sont surmontés par les formations géologiques suivantes (Zampieri & Zorzin, 1993 ; Giusberti *et al.*, 2020) :

- Maiolica (Crétacé moyen et inférieur) : calcaires marneux avec nodules de silex ;
- Scaglia Variegata Alpina (Crétacé moyen) : marnes et calcaires marneux ;
- Scaglia Rossa (Crétacé supérieur) : calcaires micritiques. Cette formation est majoritairement conservée dans la partie sud-ouest des Monts Lessini ;
- Filons et coulées de basalte, brèches basaltiques, roches volcanoclastiques stratifiées de l'Oligocène-Eocène inférieur ;
- Calcaires marneux et marnes de l'Eocène moyen et supérieur ;
- Calcaires nummulitiques de l'Eocène moyen et inférieur ;
- Marne di Priabona (Eocène supérieur) : constituées par un dépôt riche en micro et macro fossiles. Cette formation est présente sur les surfaces sommitales méridionales des Lessini (Valpantena) ;



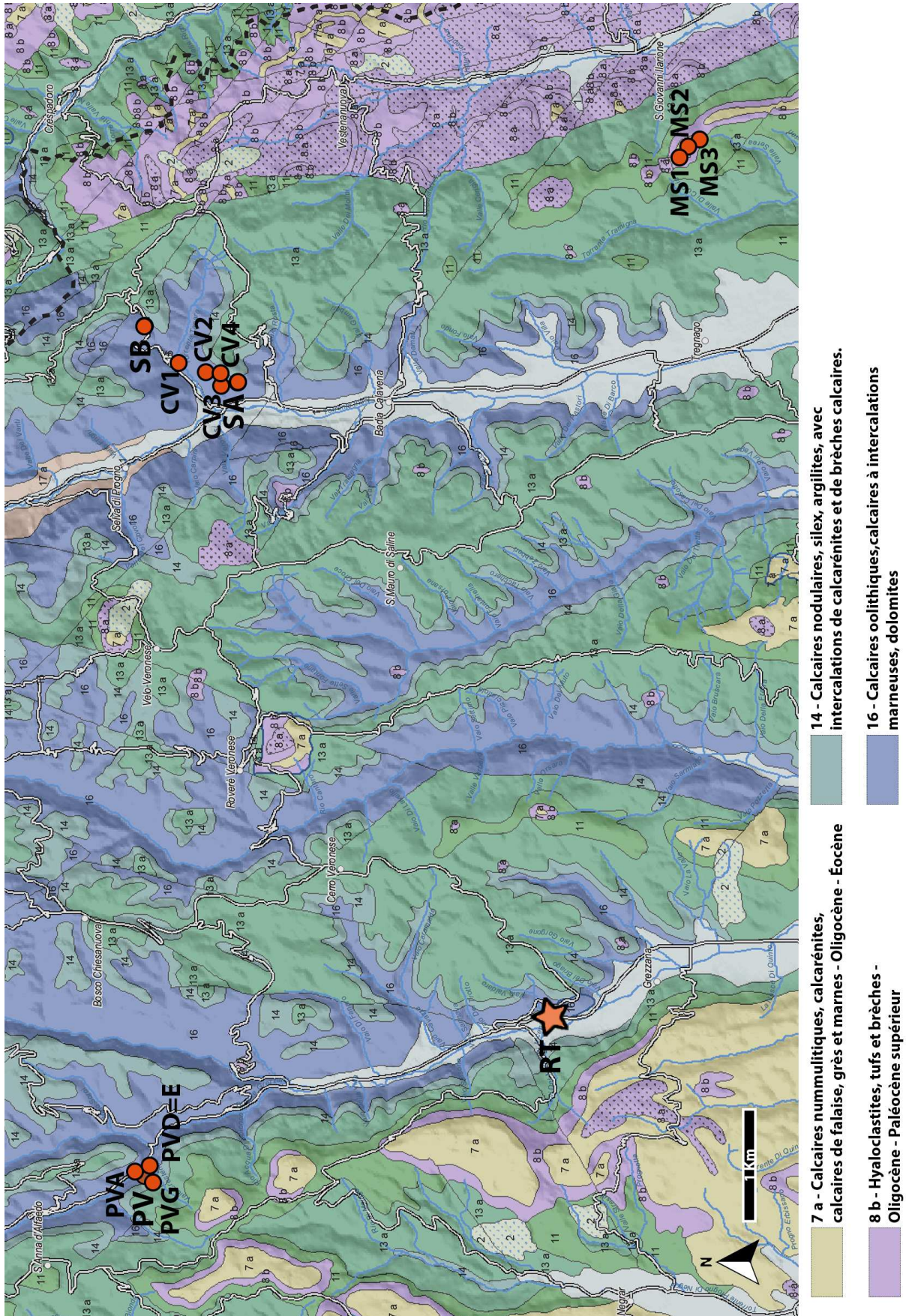


Figure 6.15 : Position des points d'échantillonnage et du site de Riparo Tagliente. Carte géologique de la Province de Vérone, Département des politiques de l'environnement et de la mobilité; Secrétariat régional de l'environnement et des travaux publics; Direction de la géologie et du cycle de l'eau, Plan régional des activités de carrières, 1 :100 000e. DAO : G. Sardelli

- Marnes, calcarénites et arénaires de l'Oligocène ;
- Calcarénites et arénaires du Miocène moyen.

Pendant les deux premières missions de prospections géologiques, les dépôts de matières colorantes riches en hydroxydes et/ou oxydes de fer de Ponte di Veja (Sant'Anna d'Alfaedo, Lessini du nord-ouest), Sant'Andrea (Val d'Illasi, partie occidentale des Lessini) et San Bortolo (Selva di Prognò, zone orientale des Lessini) ont été échantillonnés. En septembre 2021, une nouvelle campagne de prospections géologiques s'est principalement concentrée sur la mine Ca' Vecchi et la localité de Monte Serea. Dans cette dernière mission, l'application *INPUT* créée dans le cadre de la *Pigmentothèque* a été utilisée afin d'enregistrer les coordonnées des dépôts et de les renseigner avec les descripteurs validés collectivement. À chaque point de collecte un ou plusieurs lots (sachets) contenant un certain nombre de blocs/fragments de matières colorantes ont été récoltés. Chaque lot correspond à un faciès particulier (Figure 11.4, annexe 11). Les premières prospections ont donné lieu à un échantillonnage de prélèvements préparés pour les observations et analyses (annexe 12).

### 6.5.2.1 Ponte di Veja

Ponte di Veja est situé sur la commune de Sant'Anna d'Alfaedo dans la partie occidentale des Monts Lessini et consiste en un système paléokarstique dont le développement a eu lieu dans la formation des Calcaires oolithiques de San Vigilio et la formation du Rosso Ammonitico (Gonzato, 2015). Le géosite est caractérisé par la présence d'une arche rocheuse qui représente l'architrave d'entrée d'une grande cavité karstique probablement effondrée durant le Pléistocène. Les gros blocs rocheux situés dans la zone adjacente à l'arche témoignent de l'écroulement de la voûte principale. Autour de cette arche, dans la zone de dépression, sont situées les ouvertures de nombreux conduits karstiques s'étant formés dans des conditions phréatiques à partir de l'Eocène supérieur. Celles-ci étaient les galeries de la grotte principale effondrée au Pléistocène. Au sud-ouest de l'arche se trouvent les cavités nommées G, D=E, C, B, puis au nord-ouest l'entrée de la cavité A. Ces conduits sont caractérisés par la présence d'un sédiment de remplissage riche en hydroxydes de fer (terra gialla di Verona – terre jaune de Vérone) ayant fait l'objet d'une activité d'extraction intensive jusqu'à la fin des années 1950 (Cavallo & Zorzin, 2016). Cette activité a concerné les grottes G et D=E conservant toujours une partie des dépôts jaunes riches en fer. La grotte G, suite à la période d'exploitation minière, est devenue inaccessible en raison de la présence d'eaux météoriques et de blocs d'effondrements dans la cavité. Cependant, l'entrée de la grotte, consistant actuellement en une chambre de dimensions réduites conservant les dépôts d'hydroxydes de fer, est restée accessible. Le conduit D=E compte quant à lui deux entrées (entrée D et entrée E) et est caractérisé par la présence de karren partiellement oblitérés par les sédiments de remplissage riches en hydroxydes de fer qui n'ont pas été intéressés par l'activité minière. À proximité de l'entrée D se trouve le conduit C présentant une structure à méandres due à la circulation d'eaux météoriques ; les dépôts de terra gialla ne sont pas conservés à l'intérieur de cette cavité (d'après Zorzin & Allegrezza). Cette absence de remplissage riche en fer se constate également dans la grotte B, dont l'entrée est localisée sur la face sud de la base de l'arche naturelle. La cavité A, quant à elle, est située sur la face nord-est de l'arche. Cette grotte consiste en un conduit d'environ 180 m de longueur qui se développe à l'intérieur des calcaires oolithiques de San Vigilio. La cavité A a été l'objet de nombreuses recherches géologiques, archéologiques et faunistiques (Rossi & Zorzin, 1993 ; Bertini *et al.*, 2016 ; Cavallo *et al.*, 2016 ; Fabbri *et al.*, 2017 ;

Gonzato *et al.*, 2017). À partir des années 1960, jusqu'aux années 1990, des fouilles ont été menées dans les dépôts du quaternaire présents à Ponte di Veja et en particulier dans la grotte A. Elles ont permis d'identifier des industries lithiques du Paléolithique moyen et supérieur (Broglia *et al.*, 1963; Barfield & Chelidonio, 1993; Chelidonio, 1993). Des restes d'*Ursus spelaeus* ont été également détectés dans la cavité, raison pour laquelle la grotte est connue aussi sous le nom de "Grotte de l'ours". D'un point de vue géologique le conduit est caractérisé par la présence d'un remplissage volcanique résultant de l'injection de magma basaltique dans une fracture établie antérieurement à la formation de la paléocavité karstique A. Ce dyke de basalte traversait également la cavité principale de Ponte di Veja du sud au nord avant l'effondrement au Pléistocène, puis le conduit D=E suivi du secteur de l'entrée de la grotte G. Suite à l'effondrement le dyke ne s'est conservé que dans les cavités A et D=E. Dans les années 1990 le remplissage basaltique a été daté par Rossi et Zorzin selon la méthode K/Ar et obtenant la date  $38.2 \pm 1.6$  Ma (Rossi *et al.*, 1986; Fabbri *et al.*, 2017). Suite à cette injection de basalte qui s'est produite au cours de l'Eocène, la cavité phréatique A s'est développée au sein des calcaires mésozoïques au contact du dyke. Le basalte, le remplissage riche en hydroxyde de fer et les dépôts du quaternaire se sont partiellement conservés à l'intérieur de la cavité. Actuellement, la grotte est occupée de manière saisonnière par une colonie de chauves-souris (la plus importante de la région de Vérone), ce qui contribue de manière significative à augmenter les processus de corrosion à l'intérieur de la grotte (Bertini *et al.*, 2016).

En Décembre 2020 et Janvier 2021, des échantillons de matières colorantes jaunes riches en fer ont été prélevés systématiquement dans les grottes A, D=E, G et dans une niche (nommée "G1") présente dans les calcaires oolithiques et située à côté de l'entrée de la grotte G. Les prospections menées par Giorgia Sardelli, Roberto Zorzin et Alessandra Livraghi. Les cavités B et C n'ont pas été prises en compte car elles sont marquées par l'absence du remplissage riche en fer caractérisant les autres conduits. Au cours de ces prospections 12 points de collecte ont été choisis. L'échantillonnage en ces 12 points a consisté en : 1) un prélèvement effectué directement en paroi dans le remplissage riche en fer (position primaire de l'échantillon) 2) une récolte de blocs/fragments situés dans les zones de piétinement/passage des cavités (position secondaire). Deux collectes ont été menées à bien dans la grotte A (un en position primaire et un en secondaire), suivies de quatre dans la niche G1 (trois points en position primaire et un en secondaire), un dans la grotte G (primaire), 5 dans le conduit D=E (quatre en position primaire et un en position secondaire).

### 6.5.2.2 Sant'Andrea

Le dépôt de Sant'Andrea consiste en une cavité karstique située dans la partie orientale des Mont Lessini centraux, en Val d'Illasi, et autrefois exploitée pour l'extraction minière des matières colorantes jusqu'aux années 1970 (mine de Pralongo) (Cavallo, 2020). Le conduit s'est développé à l'intérieur des calcaires mésozoïques affectés dans cette zone du plateau par une forte dolomitisation secondaire (Complexe dolomitique indifférencié). Le conduit karstique est principalement caractérisé par la présence de dépôts jaunes/oranges massifs riches en hydroxydes de fer. Une zone rouge riche en oxydes de fer est également présente dans le conduit. Cette zone est par ailleurs marquée par la coexistence de poches de remplissage gris-violacé. Des prospections systématiques ont été effectuées à Sant'Andrea en décembre 2020 (Giorgia Sardelli, Roberto Zorzin, Federica Fontana). L'échantillonnage de matières colorantes jaunes, rouges et grises-violacées a été effectué sur 6 points de collecte répartis le



long de la cavité : quatre points en position primaire (directement en paroi) et deux points en position secondaire (dans la zone de piétinement du conduit).

### 6.5.2.3 San Bortolo

Le dépôt de San Bortolo est situé sur la localité de Selva di Progno (Val d'Illasi) à quelques km de la cavité de Sant'Andrea. Ce point de prospection est une coupe située en bord de route, lieu depuis lequel il est possible d'observer des remplissages consolidés d'hydroxyde de fer dans les fractures karstiques qui ont infiltré les calcaires mésozoïques dolomités (Complexe dolomitique secondaire) (Cavallo, 2020). Ces remplissages se présentent comme des couches microlaminées jaunes de moins d'un mètre d'épaisseur ayant comblé les fractures présentes dans la roche encaissant (calcaires mésozoïques). Les couches riches en hydroxydes de fer ont une disposition principalement horizontale et sont caractérisées par des plis témoignant d'une déformation plastique continue du dépôt, déterminée par des forces de compression. L'échantillonnage de San Bortolo a été effectué par Giorgia Sardelli, Roberto Zorzin et Federica Fontana en décembre 2020. Les matières colorantes riches en fer ont été prélevées en position primaire (en paroi) en deux points de la coupe.

### 6.5.2.4 Ca' Vecchi

En septembre 2021, les prospections (menées par Giorgia Sardelli, Hélène Salomon, Roberto Zorzin et Federica Fontana) ont infiltré la zone de l'ancienne mine souterraine Ca' Vecchi, située sur la commune de Badia Calavena en Val d'Illasi et exploitée jusque dans années 1970. Très proche de la mine de Sant'Andrea et de la coupe bordant la route de San Bortolo, cette cavité a été ouverte artificiellement pour l'extraction des matières colorantes rouges et jaunes qui ont rempli les conduits préexistants (Lazzarin & Gonzato, 2016). Ces derniers sont présents dans les calcaires infiltrés par une dolomitisation secondaire (Complexe dolomitique indifférencié) liée aux flux hydrothermaux et filons volcaniques (volcanisme).

L'échantillonnage des matières colorantes jaunes, rouges et violacées riches en oxydes et hydroxydes de Fe de Ca' Vecchi a été réalisé par Giorgia Sardelli, Hélène Salomon, Roberto Zorzin et Federica Fontana. Un premier prélèvement systématique a été effectué à l'intérieur de la cavité et a permis l'échantillonnage en position primaire (paroi) du matériel en cinq lieux différents. Trois points de collecte ont également été choisis dans la zone boisée où se trouve la mine. Un premier point correspond à une ancienne maison en ruine localisée à proximité de l'entrée de la mine. Ses murs ont été construits avec du calcaire et des matière locales rouges riches en fer ; ces dernières ont été échantillonnées au cours de la prospection. Le deuxième et le troisième prélèvement ont permis de collecter en position secondaire les d'oxydes de fer visibles dans deux coupes du dépôt de pente au-dessus de la mine (colluvions).

### 6.5.2.5 Monte Serea

Le Mont Serea (commune de San Giovanni Ilarione) est situé dans la vallée d'Alpone (Valle d'Alpone), dans la partie sud-orientale des Monts Lessini. Cette partie a été sujette à une intense activité volcanique, comme en témoigne la présence d'affleurements basaltiques et produits volcanoclastiques au sein des affleurements de calcaires datés entre le Crétacé et l'Eocène. Une activité volcanique alternée avec épisodes locaux de sédimentation marine (formations carbonatées marines – marnes et

calcaires marneux) a été enregistrée dans le graben (Alpone-Agno) délimité à l'ouest par la faille de Castelvero et formé durant le Paléocène supérieur. Ces dépôts volcaniques et carbonatés ont été sigillés pendant l'Eocène inférieur et moyen par des dépôts de calcaires à nummulites et dépôts (boues calcaires) riches en crustacés.

Les travaux de terrassement réalisés cette dernière décennie sur le Mont Serea pour la culture de la vigne ont permis l'ouverture de nouvelles fenêtres d'observation ainsi que l'acquisition de nouvelles données sur les formations géologiques de cette zone. En particulier, la découverte et l'étude d'un gisement formé à la fin de l'Eocène inférieur (Yprésien supérieur) et caractérisé par des biomicrites jaunes, riches en vertébrés fossiles et invertébrés, a mené à l'identification de trois nouvelles espèces de crustacés (Beschinn *et al.*, 2009).

En septembre 2021, des prospections sur le Mont Serea ont été menées par Giorgia Sardelli, Hélène Salomon et Roberto Zorzin et trois points de collecte ont été choisis. Un premier prélèvement, effectué dans un terrassement réalisé récemment, a permis d'échantillonner en position secondaire les calcaires de l'Eocène inférieur et les volcanites. Les volcanites altérées ont été également prélevées sur un deuxième point de collecte situé à proximité du premier. L'échantillonnage a eu lieu dans des sondages effectués récemment par Roberto Zorzin (avant de prochains travaux de terrassement) afin de vérifier la série stratigraphique locale. Les volcanites altérées ont été prélevées en position secondaire dans les argiles rouges des coupes des sondages. Un dernier échantillonnage a concerné le dépôt de l'Eocène inférieur riche en vertébrés fossiles et invertébrés. Les calcaires micritiques caractérisés par microlaminations jaunes/orangées riches en Fe ont été prélevés.

## 6.6 Projet « Chuchuwayha : Homme et Nature en Similkameen »

Emilie CHALMIN

Dans le cadre d'un projet collaboratif porté par Anita Quiles (IFAO, Le Caire Egypte, finalement Ministère des Affaires étrangères), je contribue à l'étude du site orné de Chuchuwayha en m'intéressant à l'identification des matières picturales et à la recherche de sources d'approvisionnement. Il s'agit donc de déployer la démarche mise en place avec la *Pigmentoθήque* pour l'appliquer sur un site qui a la particularité de bénéficier de témoignages de la communauté d'habitants (*First Nations*) dépositaires de la mémoire de ces lieux (site orné, gîtes de matières premières). En l'occurrence, le propriétaire du site de Chuchuwayha, Mike Alison, atteste de l'utilisation de matières colorantes provenant du gisement de Tulameen *Ochre Bluffs* site à environ 40 km du site orné. Il s'agit donc dans un premier temps de caractériser les matières de ce gisement puis de le comparer aux matières trouvées sur le site archéologiques (matières picturales et artefacts retrouvés à la fouille en stratigraphie).



Figure 6.16 : Vue d'ensemble du gîte de Tulameen, *Ochre Bluffs*. Photographie et DAO : E. Chalmin

Le site ethno-archéologique de Chuchuwayha, également connu sous le nom d'Hedley cave, se situe dans la vallée de la Similkameen, au sud et à l'intérieur de la province canadienne de Colombie-Britannique.

Chuchuwayha se situe à quelques dizaines de kilomètres de l'un des plus gigantesques affleurements de matière colorante ferrugineuse connus du nord américain, communément appelée "*ochre*". Ces matières sont réputées avoir alimenté en pigment les populations anciennes et récentes du nord ouest de la côte pacifique. La source de *Tulameen Ochre Bluffs*, est localisée à une dizaine de kilomètres au sud de Princeton dans le territoire des *Upper Similkameen First Nations*, proche de la

confluence des rivières Similkameen et Tulameen.

Afin de comprendre les relations entre cette importante source régionale et l'art rupestre de Chuchwayha, j'ai souhaité me rendre sur place. Autorisée par la communauté de la Upper Similkameen à me rendre sur les gîtes de matières premières et à réaliser des prélèvements, j'ai été accompagnée et guidée par Mike Alison pour procéder à la collecte d'échantillons.

Afin de prendre en considération la variabilité verticale et horizontale de ce gîte, nous avons procédé à l'échantillonnage de plusieurs strates en se déplaçant latéralement sur le site. Étant donné le fort pendage de l'affleurement (14°, Figure 6.16), il a été possible de documenter 21 strates ou bancs, sur la totalité de la longueur du site (Figures 6.17, 6.18 et 6.19). Cinq échantillons ont été collectés au pied de l'affleurement.



Figure 6.17 : Détail de l'alternance de strates plus ou moins ferrugineuses à *Ochre Bluffs*, Tulameen. Photographie : E. Chalmin

Pour enregistrer l'ensemble des informations du gîte et l'échantillonnage, la fiche normalisée a été remplie sur le terrain. Elle laisse une place à la prise de notes et à la réalisation d'un croquis de l'affleurement (Figure 6.20). Les photographies accompagnent la fiche de terrain.

L'information complémentaire concernant le nom de la formation géologique a été renseignée *a posteriori* à partir de la couche géologique : Eocène, roche volcano-sédimentaire du groupe *Princeton* (Rice, 1960).





Figure 6.18 : Échantillonnage par strate : banc 8. Photographie et DAO : E. Chalmin

La distance entre les points de collecte tout le long de l'escarpement a été estimée de façon très approximative. Des photographies larges ont été réalisées sur chaque point. Le Point 1 se situe à quelques mètres de la grille d'entrée. Les points suivants se dirigent dans le sens d'écoulement de la Tulameen vers l'est. Onze points ont été enregistrés au total.

Le bassin de Pinceton révèle de nombreuses matières ferrugineuses : dépôts sédimentaires terrigènes parmi lesquels des grès et des siltites ferrugineux d'âge éocène et des dépôts volcano-sédimentaires d'âge éocène altérés (MacMehan 1975, 1983), comme c'est le cas des strates de cendres altérées au sud de Pinceton.



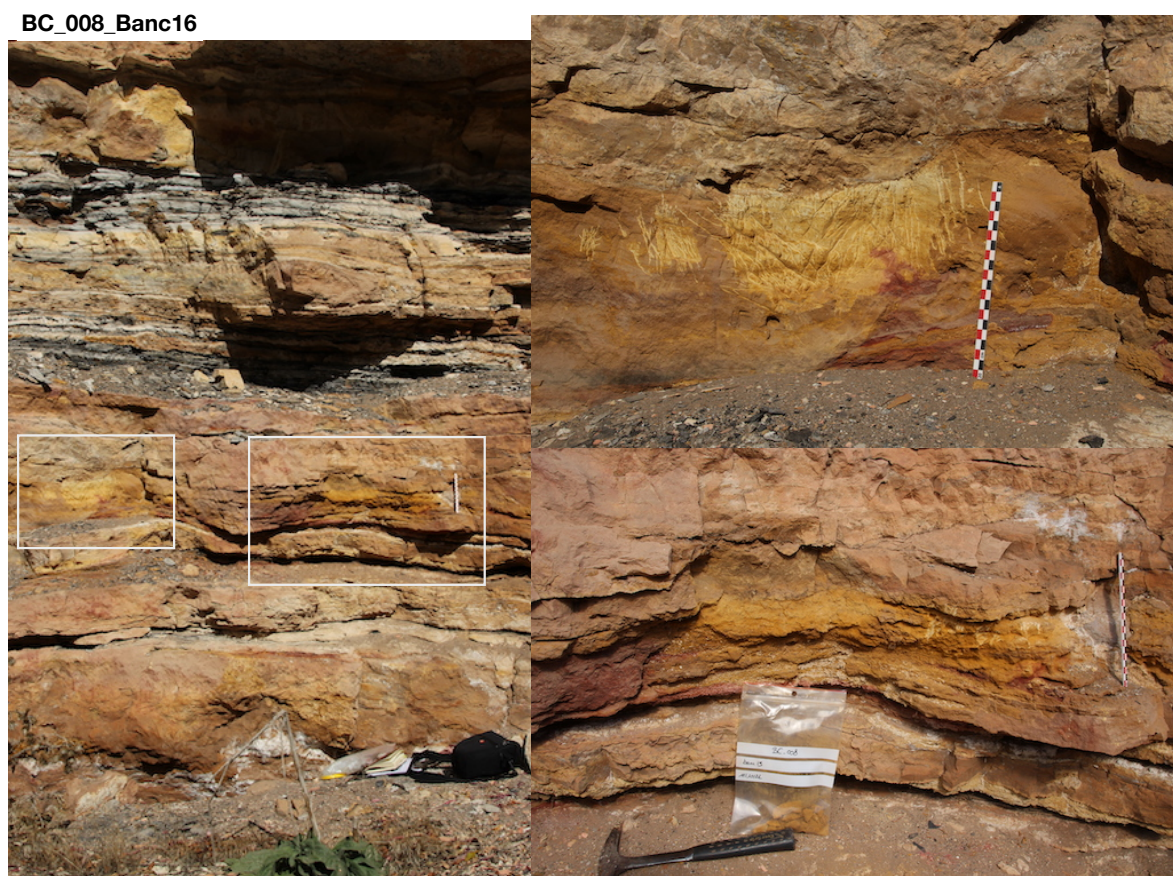


Figure 6.19 : Échantillonnage par strate : banc 16. Photographie et DAO : E. Chalmin

banche

entree 238 pas

description affleurement + morpho des éch. + schéma

16) n° de terrain  
**BC-001**

date **11.10.22**

météo **☀**

17) auteurs collecte  
**E. Chalmin**

7a) n° photos  
**100-1424**

100-2444

2a) prog. de collecte  
**TRAE BC**

1a) n° de gîte PIG déf

3) localisation : pays **Canada**

département **BC**

commune **Juliaman**

code postal

Lieu-dit **ochre bluff**

coordonnées GPS  
x **60° 26' 42" N**  
y **120° 32' 10" O**  
alt. **650 m**

méthode GPS (précision)

carte géologique

6) accessibilité

sans restriction

propriété privée

accessibilité ponctuelle

accès dangereux

6e) site archéologique

associé  oui  non

6g) nb faciès

prélèvement  sélectif  systématique

polarité renseignée  oui  non

5a) type de gîte

naturel

plaine littorale  montagne (reg\*)  ciel ouvert  coupe artificielle  tranchée

forêt  plateau  chablis  souterrain  ancienne  fossé  récent

versant végétalisé  Oterril  terrain agricole  prairie  labour  falaise  Oterril de réduction  vigne

abris sous roche  Oterril de scories  chemin  carrière  ancienne  autres

cavité  porche  Oterril

niche de décollement

éboulis

cours d'eau  lit (majeur)  berges  zone d'inondation  indéterminé

5a) position du prélèvement

primaire  sub-primaire  secondaire

dépôt sédimentaire  colluvions  colluvions

filon  sill  dyke  récentes  anciennes  indéterminées

chapeau de fer  Oindét.  incertain  autres

épointes  alluvions  alluvions  indéterminé

remplissage  O récentes  O anciennes  O indéterminées

O dépression  O fract.  O karstique  O failles  O indét.  moraine  anthropique  indéterminé

r. imprégnée  horizon altéré  autre

altérite  autre

indéterminé

6a) lithologie de la roche

sédimentaire  métamorphisme  magmatique

détritique  schiste  rhyolite  plutonique

composition  gneiss  andésite  granite

conglomératique  migmatite  trachyte  diorite

grès  arkose  siltite  métasomatique  dacite  syénite

pélite  argillite  indét.  basalte  granodiorite

non consolidé  marbre  pyroclastite  basalte  gabbro

biogène  granulite  pyroclastite  indéterminé

marnes  ponce  pouzolane  autre

calcaires  autre

biogénique  oolithique  autre

argileux  gréseux  altérite

recristallisé  craie  ocre

mudstone  packstone  bauxite

wackstone  floatstone  latérite

grainstone  boundstone  terra rossa

indét.  autres

ferruginisat\*  concrétions

fossiles  oncoïdes  encroûtement

pisolithes  BIF  indét.  rubéfaction

(bio)chimique  autre

indéterminé

4a) nom de la formation

ère

série

détermination :  observation de terrain  lecture de la carte

4b) lithologie de l'encaissant/substrat (si présent)

6b) cohésion de la matière :  filon

habitus de la mat. :  autre

6c) variabilité dim° des blocs

< 1 cm  1-5 cm  5-10 cm  10-20 cm  20-50 cm  50-100 cm  > 100 cm

Épaisseur moy. des blocs/bancs

< 1 cm  1-5 cm  5-10 cm  10-20 cm  20-50 cm  50-100 cm  > 100 cm

épaisseur min : max :

5b) dim° de l'affil

largeur (m)

hauteur (m)

6d) caractère du gîte

en danger  oui  non

épuisé  oui  non

Figure 6.20 : Copie de la fiche terrain complétée concernant le gîte de Ochre Bluffs. E. Chalmin





## **Partie 7**

### **Observation, analyse et description des échantillons géologiques**

#### **7.1 Les sources de matières colorantes en Savoie : lien avec les sites ornés du Rocher du Château et du Trou de la Féclaz**

Marianne LE TURNIER, Magali ROSSI, Fayçal SOUFI, Emilie CHALMIN

Une recherche des matières colorantes utilisées à la Préhistoire est menée depuis quelques années sur les sites néolithiques du Rocher du Château (Bessans, vallée de la Maurienne, Savoie) et du Trou de la Féclaz (Saint-Jean d'Arvey, Savoie). Cette étude pilotée par Claudia Defrasne (CR CNRS, EDyTeM) vise à étudier l'expression schématique néolithique de France méridionale, un corpus graphique encore peu connu et peu étudié, au travers de la caractérisation des matières colorantes et la recherche des sources d'approvisionnement correspondantes. Les matières colorantes sont principalement étudiées comme des vecteurs de connaissance permettant de (re)construire les liens entre les dépôts primaires et les sites décorés à travers des espaces de transformation et/ou de préparation. La recherche de ces relations permet de (re)penser les contextes culturels et géographiques des sites décorés et de travailler sur les valeurs minérales et économiques des matières colorantes.

##### **7.1.1 Matériel et méthode**

L'observation des échantillons en laboratoire s'est faite à la loupe binoculaire (modèle Leica S9i couplée à une caméra numérique 10 Mpixels, couplées à des lampes externes LED blanches), afin de les décrire précisément et de les photographier pour les renseigner dans différents rapports.

Une observation pétrographique (Microscope Pétro LEICA, couplé à une caméra numérique, en lumière réfléchie) a permis d'identifier les minéraux principaux constitutifs de ces roches.

Afin de compléter les observations à la loupe binoculaire et les premiers résultats en spectroscopie de réflectance diffuse (cf. expériences réalisées en collaboration avec Bernard Schmitt, IPAG), le microscope électronique à balayage est essentiel pour accéder à la géochimie et préciser la minéralogie. Cette partie constitue en effet la quasi-totalité de l'étude menée ici, du fait de la quantité d'informations qu'il est possible d'obtenir grâce à ce type d'analyse, mais également du fait de contraintes techniques. Les mesures ont été réalisées sur le MEB-EDX LEO400 de la plateforme ASTRE à l'Université Savoie Mont-Blanc au Bourget du Lac, couplé à une sonde EDX. Ces dernières ont été réalisées à une distance de travail de 23 mm, avec un voltage haute tension de 20kV. Des observations en SE (électrons secondaires) et BSE (électrons rétrodiffusés) ont été réalisés.

### 7.1.2 Mâchefer

Dans la continuité du travail mené sur le site du Rocher du Château, la recherche s'est focalisée cette année sur les prélèvements de matières ferrugineuses récoltés en mai 2020 (autorisation du Parc national de la Vanoise) sur l'ancien site minier de Mâchefer, lieux-dit surplombant la vallée où se situe le Rocher du Château (Figure 7.1).



Figure 7.1 : Affleurement de Mâchefer à Bessans : vue d'ensemble et vue rapprochée de l'amiante (blanc), de la magnétite et de l'hématite. Photographies : E. Chalmin

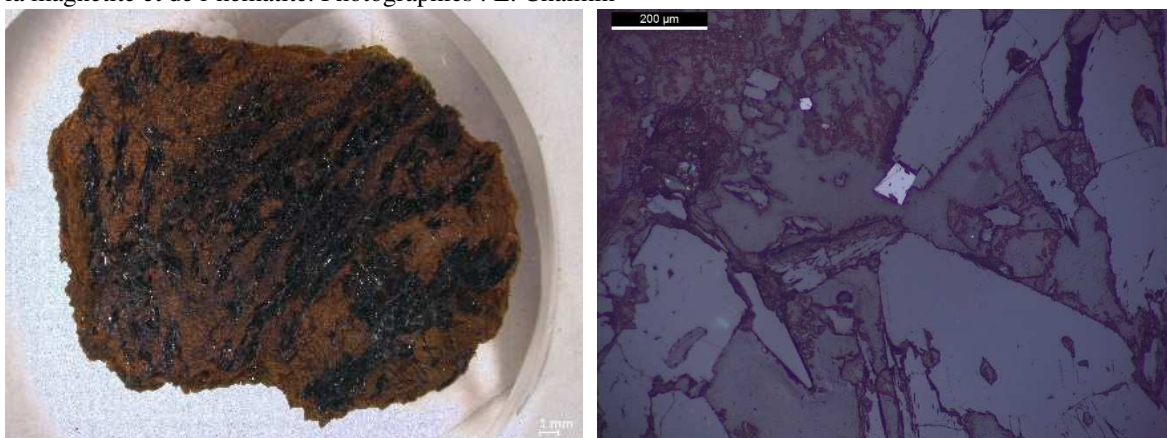


Figure 7.2 : Images en microscopie optique de l'échantillon PIG\_0257\_A\_401 : microscope optique en lumière transmise (à gauche), et détail du plot poli au microscope métallographique (à droite). Photographies : M. Le Turnier et M. Rossi

Dans la notice de la carte géologique de Lans-le-Bourg, une ancienne exploitation de magnétite est mentionnée au lieu-dit du Mollard, dans une zone de lambeaux dolomitiques ou calcaro-dolomitiques dilacérés du Trias moyen à supérieur non différencié à cause de la réduction des affleurements et de la cagneulisation de la roche indiquée par le sigle tCD sur la carte géologique. Des habitants de Bessans ont indiqué la présence d'une ancienne exploitation du fer au lieu-dit de Mâchefer (Chazal 2012) qui se situe à quelques mètres du Mollard en contre-haut du Rocher du Château. Ces informations ont pu être complétées par les analyses géochimiques mises à disposition sur le site *infoterre* du BRGM et une cartographie de l'aléa amiante environnemental a également été réalisée indiquant des zones au Mollard et à Mâchefer notamment riches en amiante et oxydes de fer.



Une analyse systématique des alluvions de l'Arc a été réalisée par le BRGM et la SEDADAID sur la commune de Bonneval indiquant des zones riches en fer et phosphore dans les alluvions. Les prélèvements réalisés sur l'ancien site minier, numérotés `PIG_0257` n'ont pas tous été récoltés en place. Parmi la dizaine d'échantillons, seulement quatre ont été analysés et seront présentés ici.

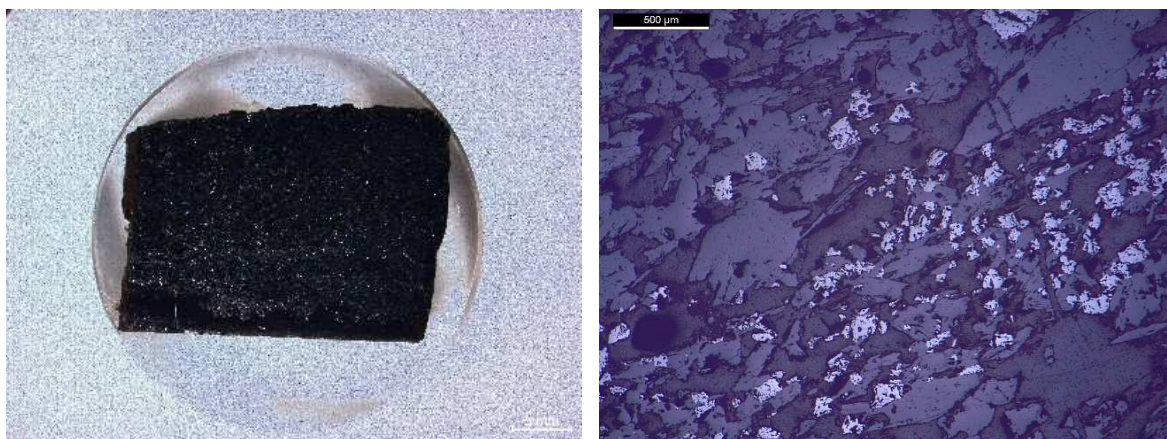


Figure 7.3 : Images en microscopie optique de l'échantillon `PIG_0257_C_401` Microscope optique en lumière transmise (à gauche) et détail du plot poli au microscope métallographique (à droite). Photographies : M. Le Turnier et M. Rossi.



Figure 7.4 : Image en microscopie optique de l'échantillon `PIG_0257_D_401` (à gauche) et de l'échantillon `PIG_0257_E_401` (à droite). Photographie : M. Le Turnier.

Il s'agit de roches noires, avec présence de cristaux verts de serpentine et rouges d'hématite (Defrasne, 2020) et présentant une grande variété d'éléments figurés. Les quatre différents faciès (`PIG_0257_A`, `C`, `D` et `E`) sont aisément distinguables. Le faciès `A` (Figure 7.2) présente par exemple un aspect hétérogène, rouge avec des inclusions vertes et noires. La forme de ces inclusions laisse penser à des recristallisations, liées à des fracturations. Le faciès `C` (Figure 7.3) apparaît ainsi très différent par sa couleur noire. Bien qu'encore différents, les faciès `D` et `E` (Figures 7.4) paraissent semblables au faciès `A`, par la présence d'inclusions vertes et plus sombres dans une matrice plus rouge. Une étude complémentaire est alors nécessaire pour tenter de distinguer ou corrélérer ces faciès entre eux.

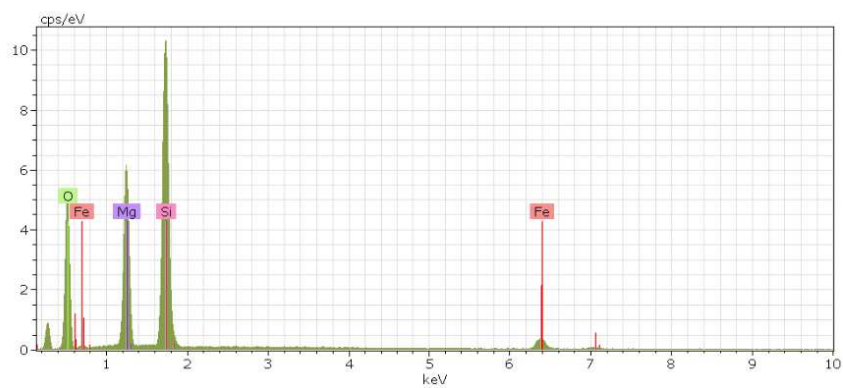
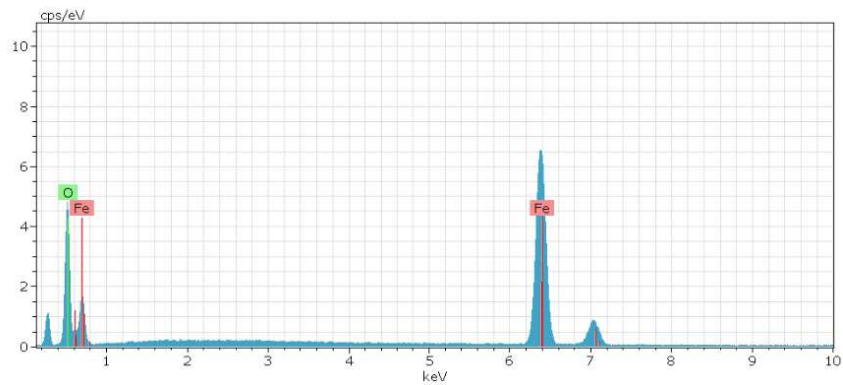
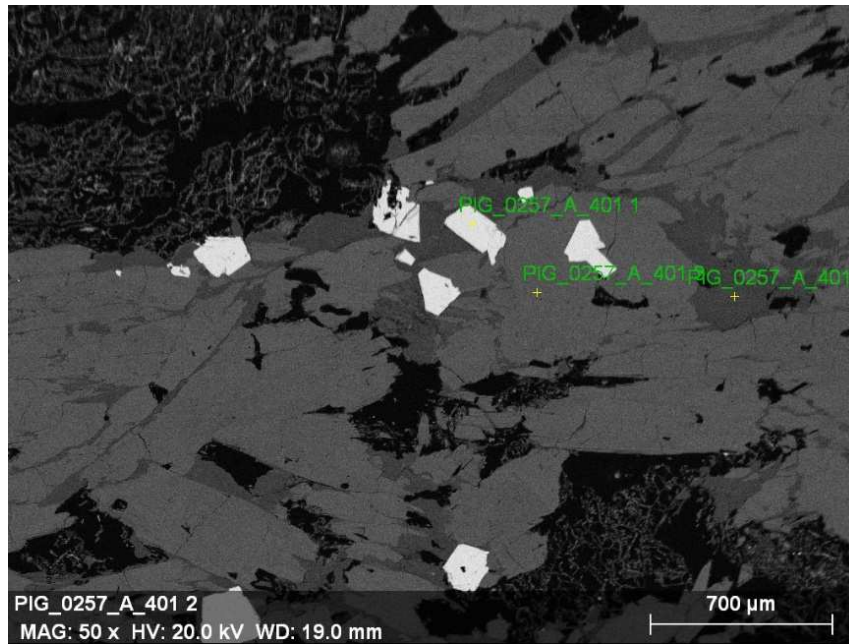


Figure 7.5 : Image MEB en mode BSE de l'échantillon FIG\_0257\_A\_401 MEB et spectres associés, montrant la présence d'oxydes de fer dans une matrice siliceuse, calcaire et accompagnée de magnésium. Micrographie et analyses : M. Le Turnier.

Pour compléter les premières observations au microscope métallographique, des images ont éga-



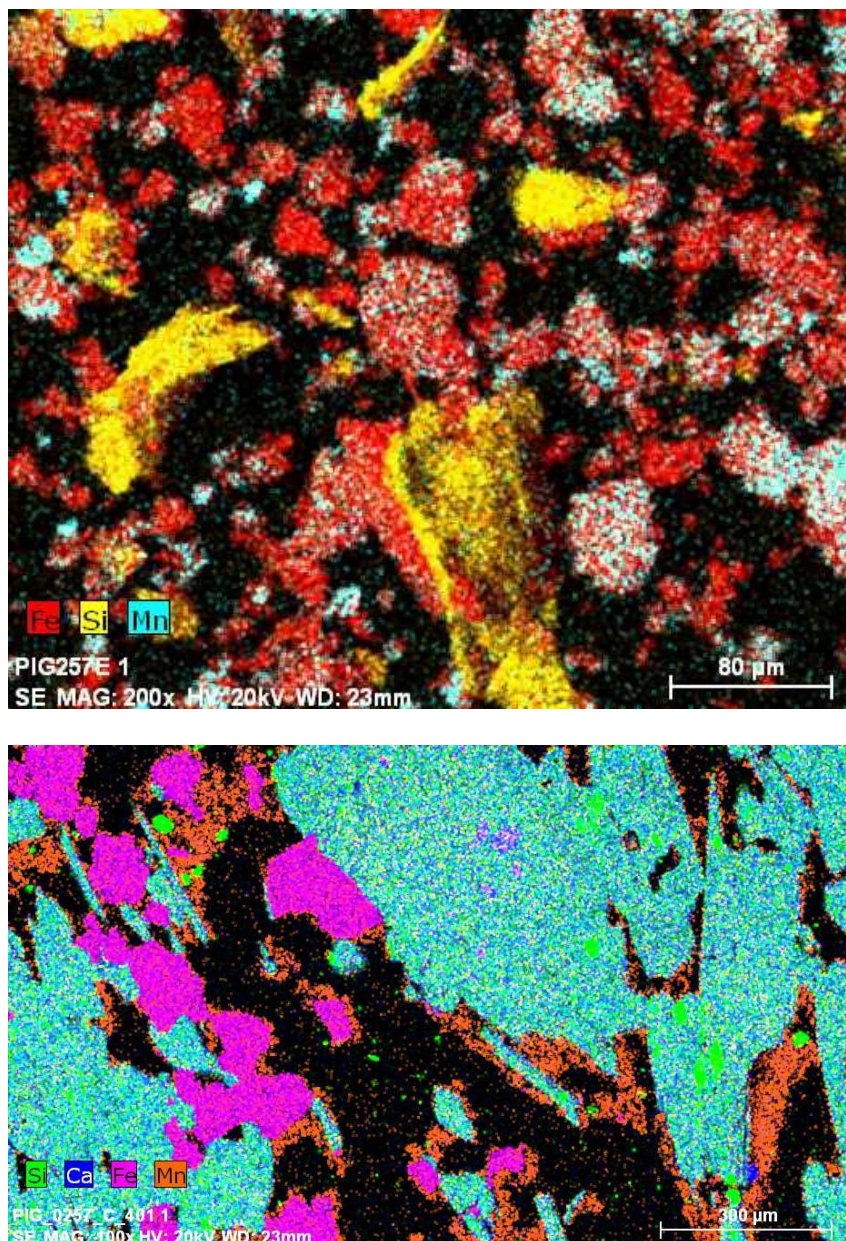


Figure 7.6 : Cartographies chimique réalisée au MEB-EDX des l'échantillons PIG\_0257\_A\_401 (en haut) et PIG\_0257\_C\_401 (en bas) (Mâchefer). Cartographies : M. Le Turnier.

lement été enregistrées (lumière réfléchie). Les observations réalisées par Magali Rossi pour le faciès D révèlent la présence de pyrite ou de chalcopyrite (jaunes en lumière réfléchie), dans un état plus ou moins oxydé et fracturé. Les phases d'altérations semblent en effet s'insinuer entre les cristaux. Par ailleurs, la présence d'inclusions (vertes lors des observations au microscope optique en lumière transmise) semble correspondre à de la serpentine. Concernant le faciès A, de petites inclusions métalliques sont bien visibles, de l'ordre de plusieurs dizaines de micromètres (entre 20 et 50 μm).

Le faciès PIG\_0257\_A (Figure 7.5) présente des oxydes de fer enchâssés dans une matrice hétérogène, constituée de silicium et magnésium, très souvent associés, qui pourraient être des amphiboles.

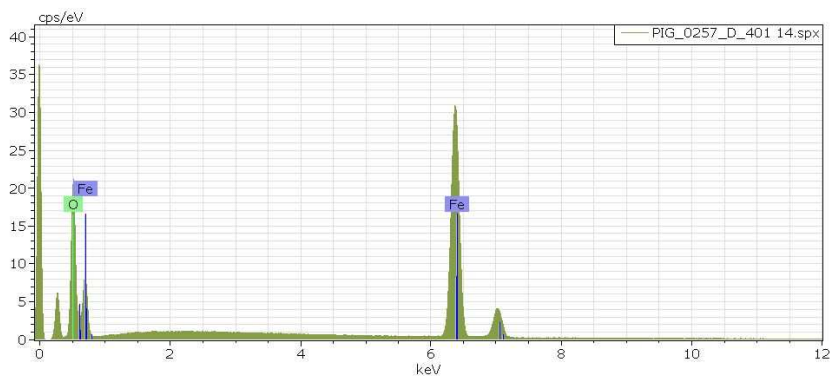
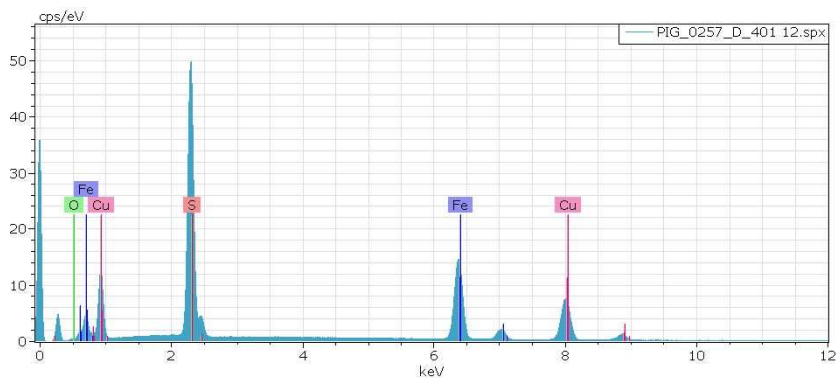
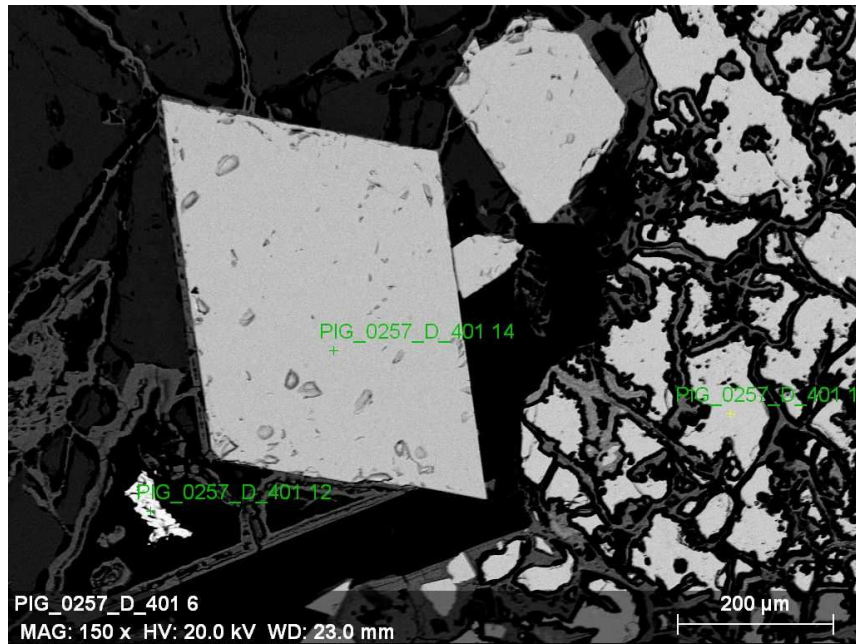


Figure 7.7 : Image MEB en mode BSE de l'échantillon PIG\_0257\_D\_401 et spectres associés montrant la présence d'inclusions d'oxydes et sulfures de fer, avec une inclusion constituée de fer et cuivre. Micrographie et analyse : M. Rossi.

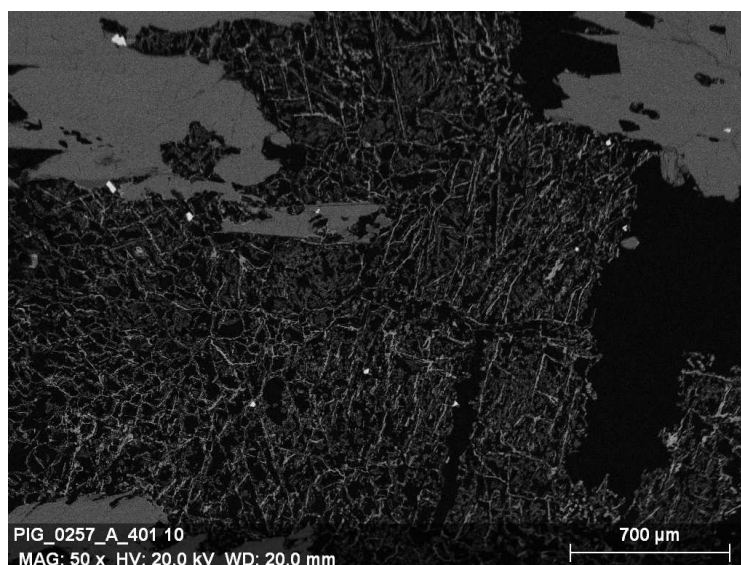


Figure 7.8 : Image MEB en mode BSE de l'échantillon PIG\_0257\_A\_401 présentant une surface très fracturée, avec recristallisations. Micrographie : M. Le Turnier.

On observe également la présence d'aluminosilicates en grande quantité. Les éléments de silice apparaissent sous forme de baguettes. Du phosphore, du soufre ainsi que du manganèse sont détectés dans cet échantillon. Le manganèse semble d'ailleurs corrélé à la présence d'oxydes de fer. La cartographie du faciès PIG\_0257\_C (Figure 7.6) signale la corrélation du calcium au silicium, ainsi qu'une association fréquente du manganèse au fer, ce qui peut être corroboré aux observations faites sur le premier faciès. Le magnésium est également associé au calcium. Quant au faciès PIG\_0257\_D (Figure 7.7), des éléments similaires sont identifiés, toutefois la présence de cuivre est à signaler. Ce dernier semble associé au fer, dans des inclusions d'une cinquantaine de micromètres environ. La cartographie du faciès révèle à nouveau une association forte entre le calcium et le magnésium. Quant à la répartition du fer, il semble possible d'observer dans la figure 7.8 une pénétration entre les cristaux (ce qui pourrait être significatif de la circulation de fluides dans la roche, amenant à des recristallisations). Les légers pics de chlore observés sont reliés à la composition de la résine du plot poli.

Les observations réalisées à l'œil nu permet d'identifier des cristaux d'oxydes cubiques ou en formes de baguettes de 1 cm de long mélangés à des cristaux de serpentine vert sombre en baguettes. La partie plus centrale est composée d'un amas de cristaux octaédriques d'environ 2 mm de couleur noire de magnétite (35 %) ayant un faible pouvoir colorant dans une matrice de serpentine (50 %). Il y a également des minéraux d'hématite (3 mm) rouge violet plus tendres que la magnétite dont la poudre est rouge orange (10 %) et quelques rares olivines et pyroxènes. L'observation au MEB-EDX montre de nouveau la belle cristallisation en baguettes des oxydes de fer avec des arêtes tranchantes et révèle la présence de fer, manganèse et phosphore.



### 7.1.3 Le Trou de la Féclaz

Cette année, nous avons principalement travaillé sur le site du Trou de la Féclaz dont les peintures présentent une polychromie de différents rouges, orangés et noirs (rapport annuel du PCR Trou de la Féclaz, dir. Claudia Defrasne) ainsi qu'une source potentielle de matière colorante au pied de la paroi ornée (cf. Chalmin in : rapport 2020 et figure 7.9). L'objectif est double : i) identifier la diversité de matière colorante à partir de micro-prélèvements de paroi et ii) documenter la matière colorante à disposition (cinq faciès identifiés : PIG\_0232\_A, B, C, D et E).



Figure 7.9 : Site orné du Trou de la Féclaz à Saint-Jean-d'Arvey et affleurement de matière colorante jaune et rouge au pied de la paroi ornée. Photographies : E. Chalmin

L'étude de la carte géologique du Mont Peney a permis d'invalider une hypothèse antérieure estimant le substrat rocheux de la vire comme étant du calcaire Urgonien. En effet, selon la carte et la notice, il ne peut s'agir de ce faciès puisqu'il est décrit comme contenant des fossiles, or nous n'en retrouvons aucun dans le banc de la vire du Trou de la Féclaz. En revanche, le substrat pourrait correspondre à de l'Hauterivien, décrit dans la notice géologique comme "marneux" (un lit marneux est en effet bien présent dans la stratigraphie de l'abri), ce qui expliquerait la présence de quartz dans les prélèvements. Il est par ailleurs possible selon la notice qu'il s'agisse de Barrémien inférieur, un "calcaire marneux jaune à roux" (Notice de la carte géologique au 1 :50 000e CHAMBERY\_725). Cette description pourrait là encore correspondre au calcaire du Trou de la Féclaz, étant donné sa couleur jaune-orangé.

Si cette description peut éventuellement correspondre aux différents faciès de matière première prélevés au Trou de la Féclaz, des analyses complémentaires sont toutefois nécessaires pour tenter de mieux l'identifier. En effet, la carte présentée dans la figure 7.10 ci-dessous ne peut se suffire à elle-même dans de telles circonstances, étant donné que le banc dans lequel ont été prélevés les échantillons est de taille très réduite (de l'ordre de quelques mètres de long), compliquant sa localisation sur la carte. De plus, le site se trouve à la croisée de différents faciès, sur un emplacement peu



Figure 7.10 : Carte géologique du Mont Peney. Fond de carte BRGM (<http://infoterre.brgm.fr>). DAO : M. Le Turnier

précis de la carte géologique, nécessitant donc des investigations complémentaires pour affiner notre connaissance du substrat. De plus, les cartes géologiques n'apportent que des informations disponibles en surface, ainsi, dans le cas d'un escarpement rocheux, la verticalité n'est pas prise en compte et seul le faciès le plus haut est représenté. Cinq faciès ont été récoltés directement au pied de l'abri orné : PIG\_0232\_A, B, C, D et E, comprenant du calcaire rouge, jaune et des faciès marneux verts.

L'analyse a été menée sur des plots polis des matières colorantes enrésinés puis polis par Fayçal Soufi. Un test de réactivité de la matière a au préalable été effectué à l'aide d'acide chlorhydrique, permettant de confirmer qu'il s'agit bien de calcite. Les premières observations du plot poli à la loupe binoculaire montrent une variété d'éléments figurés présents dans la matière, révélant sa complexité. En effet, plusieurs veines de couleur blanche à rouge sont observables dans la figure 7.11 au même titre que des éléments figurés de couleur verte et de taille plus réduite (environ 50  $\mu\text{ms}$ ).

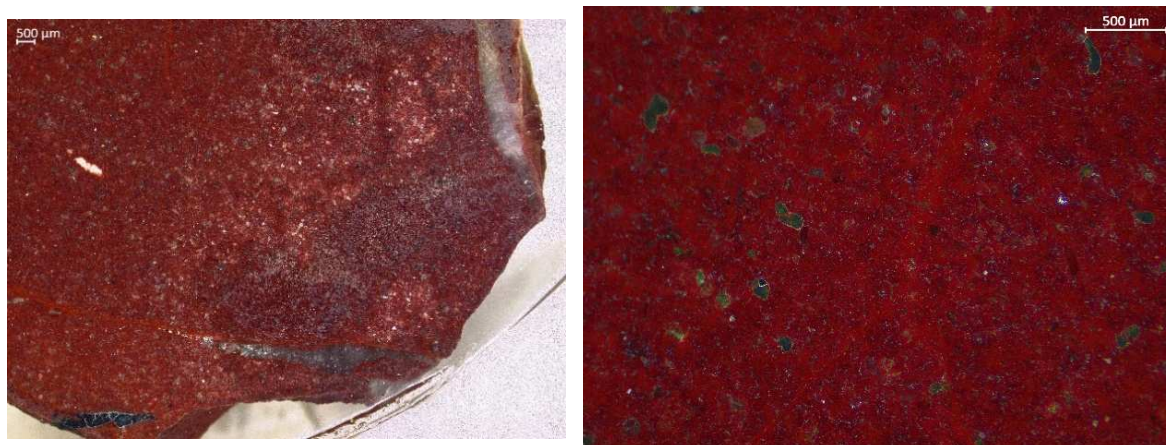


Figure 7.11 : Images en microscopie optique de l'échantillon PIG\_0232\_A\_401, avec un détail montrant les grains verts identifiés comme de la glauconie. Photographies : M. Le Turnier





Figure 7.12 : Images au microscope métallographique polarisant en lumière réfléchie de l'échantillon PIG\_0232\_A\_401. L'image de gauche témoigne d'une veine d'oxydes de fer qui, dans le cas présent a comblé une veine de calcite recristallisée. L'image de droite permet, quant à elle, d'observer des inclusions de sulfate de fer (pyrite), pointés par la flèche. Les autres parties métalliques observées forment un "réseau" au sein de la matière correspondent encore à des oxydes de fer. Photographies : M. Rossi

Dans un second temps, les observations au microscope métallographique (en lumière réfléchie) réalisées par Magali Rossi ont révélé la présence de sulfures de fer oxydés (pyrite), déjà observables à l'œil nu par leur aspect brillant, et d'oxydes de fer venant remplir les veines créées par la calcite recristallisée (Figure 7.12), ce qui explique leur couleur rouge. Tous ces indices permettent de supposer que le calcaire est détritique, et ne peut donc pas correspondre à une formation Urgonienne.

Afin de mieux cerner les faciès prélevés au Trou de la Féclaz, des analyses au MEB ont été réalisées sur des poudres ainsi que sur des plots polis de chaque faciès. Pour l'heure, si toutes les poudres ont pu être analysées, seul le faciès A est analysé en plot poli à l'aide d'un microscope pétrographique et au MEB.

Sur le plot poli PIG\_0232\_A\_401, on distingue des cristaux d'oxydes de fer cimentant le calcaire dans les parties qui ont recristallisé, donnant ainsi cette forme très géométrique au réseau formé dans le calcaire (Figure 7.13). Aussi, la présence de glauconie a été confirmée, composée de silicium, accompagné d'aluminium, de fer, de magnésium et de potassium, et à la morphologie granuleuse (Figure 7.14). D'autres minéraux ont également été identifiés, tels que la pyrite, la dolomie ou encore l'ilménite ( $\text{TiFeO}_3$ ). L'accumulation de ces différents éléments apporte des indices quant à la nature détritique du calcaire du Trou de la Féclaz. En effet, la présence d'éléments tels que le zircon ou l'ilménite, qui sont des matériaux lourds et à l'origine se formant dans des roches magmatiques ou métamorphiques amènent à penser qu'ils constituent des minéraux hérités (Figure 7.15). Ce différents éléments constituent ainsi une signature caractéristique du Trou de la Féclaz, qui pourrait alors servir à retracer l'origine d'une matière colorante. C'est d'ailleurs le cas des microprélèvements de paroi ornée, dans lesquels des éléments similaires sont identifiés. Par exemple, l'échantillon TF\_P11\_401 témoigne clairement d'inclusions identiques à celles retrouvées dans le faciès A présentes dans l'épaisseur de la matière picturale. Ces inclusions pourraient indiquer l'utilisation d'une matière locale.

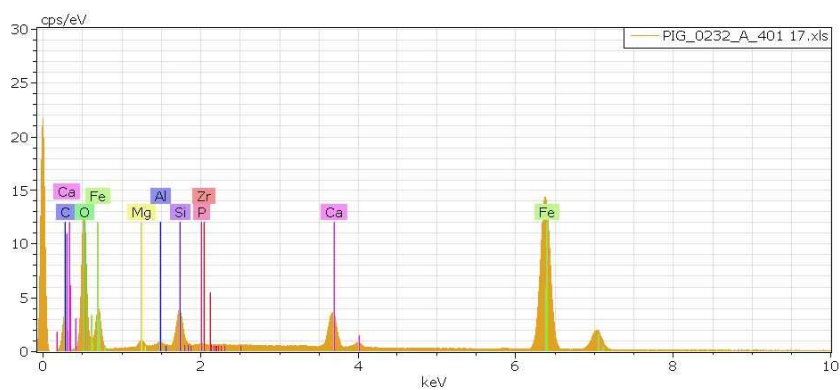
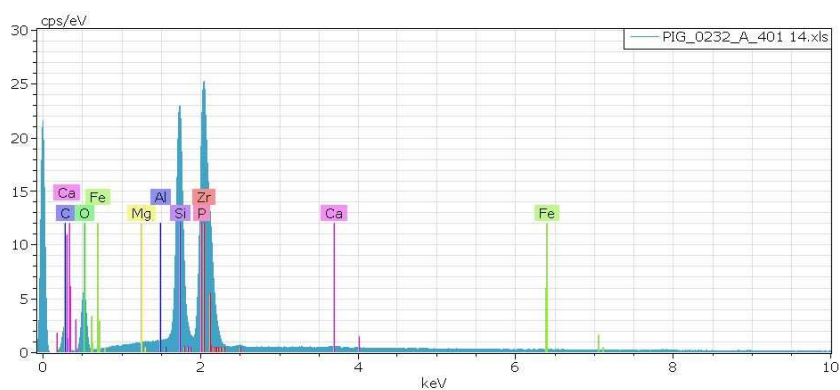
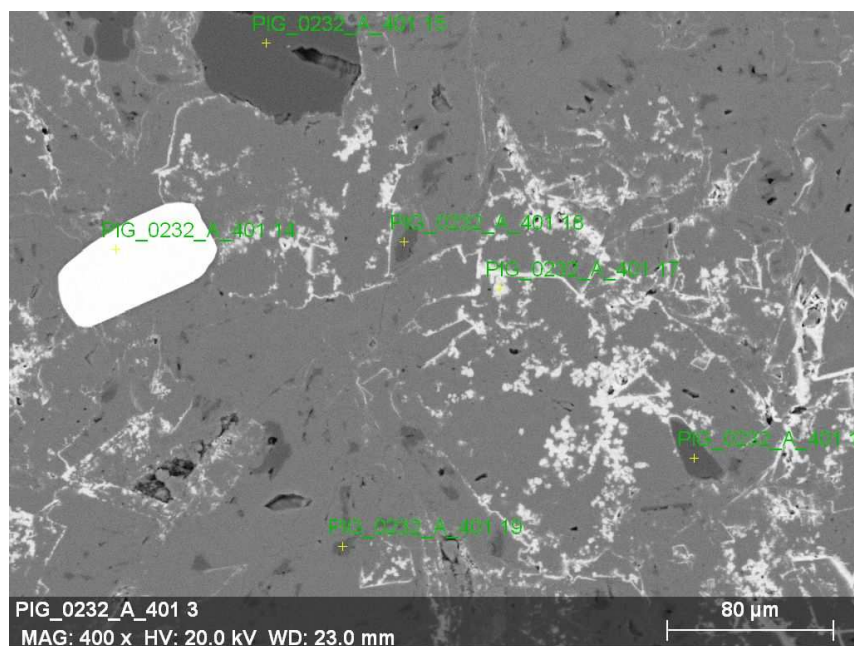


Figure 7.13 : Image MEB en mode BSE de l'échantillon PIG\_0232\_A\_401 montrant la variété d'éléments figurés qui le constitue. Le spectre 14 montre la présence de grains de zircon tandis que le spectre 17 désigne la présence de pyrites. Micrographie et analyse : E. Chalmin.

En complément des plots polis, des poudres déposées sur un adhésif de carbone ont également été analysées au MEB. Si les compositions varient légèrement entre les cinq faciès prélevés, les éléments identifiés demeurent les mêmes : aluminium et silicium désignant la présence d'argiles, souvent ratta-

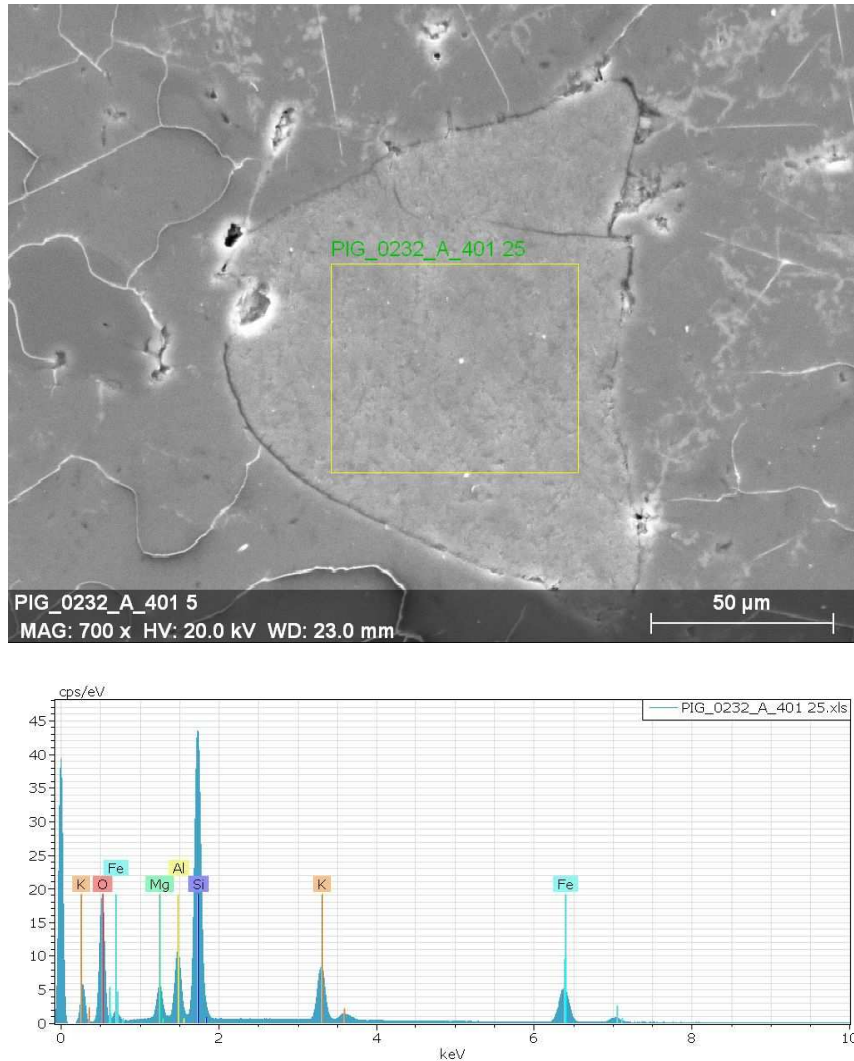


Figure 7.14 : Image MEB en mode BSE de l'échantillon FIG\_0232\_A\_401 et spectre associé d'un cristal de glauconie. Micrographie et analyse : E. Chalmin.

chés à du potassium, du manganèse ou du magnésium (pouvant donc également indiquer la présence de glauconie); du calcium en grande quantité, fréquemment rattaché à la présence de soufre. Du fer est également détecté dans chaque faciès. La cartographie du faciès B (Figure 7.16) permet là encore de confirmer la complexité de ce calcaire : en effet, des grains de silicium et d'aluminium sont présents, faisant écho aux résultats obtenus pour les matières picturales, au même titre que le sulfate de calcium.

En parallèle, nous avons étudié les changements de couleurs des différents faciès du Trou de la Féclaz. Dans le but de comprendre quelles matières ont pu être appliquées sur les parois de l'abri peint et dans quelles conditions, un traitement thermique à 550°C a été réalisé pendant 4 heures sur des poudres des cinq faciès (FIG\_0232\_A, B, C, D, E) de matières colorantes prélevés. Ces différents faciès correspondent à des teintes variables disponibles à l'affleurement, allant du rouge au vert, en passant par le jaune. L'objectif était de voir quelles teintes sont obtenus lors de la chauffe, pour tenter



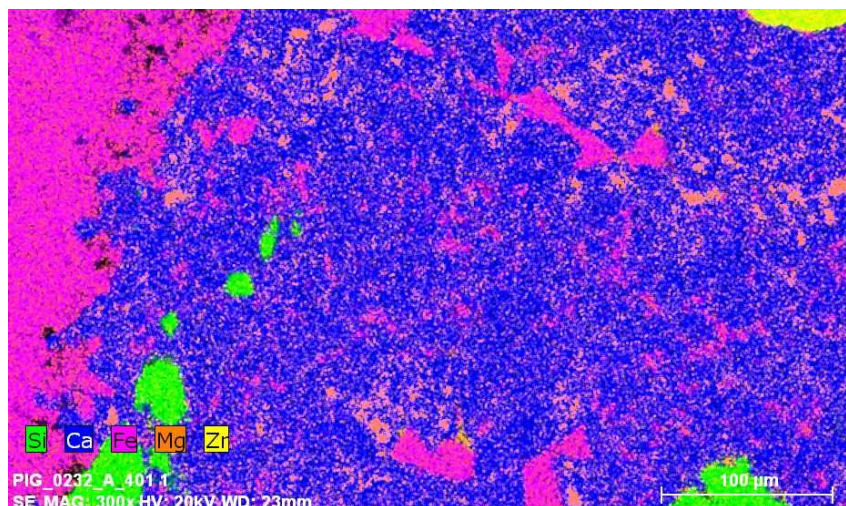


Figure 7.15 : Cartographie chimique réalisée au MEB-EDX de l'échantillon PIG\_0232\_A\_401 montrant la présence de cristaux de zircon et de silice, au-delà de la calcite et des oxydes de fer. Cartographie : E. Chalmin.

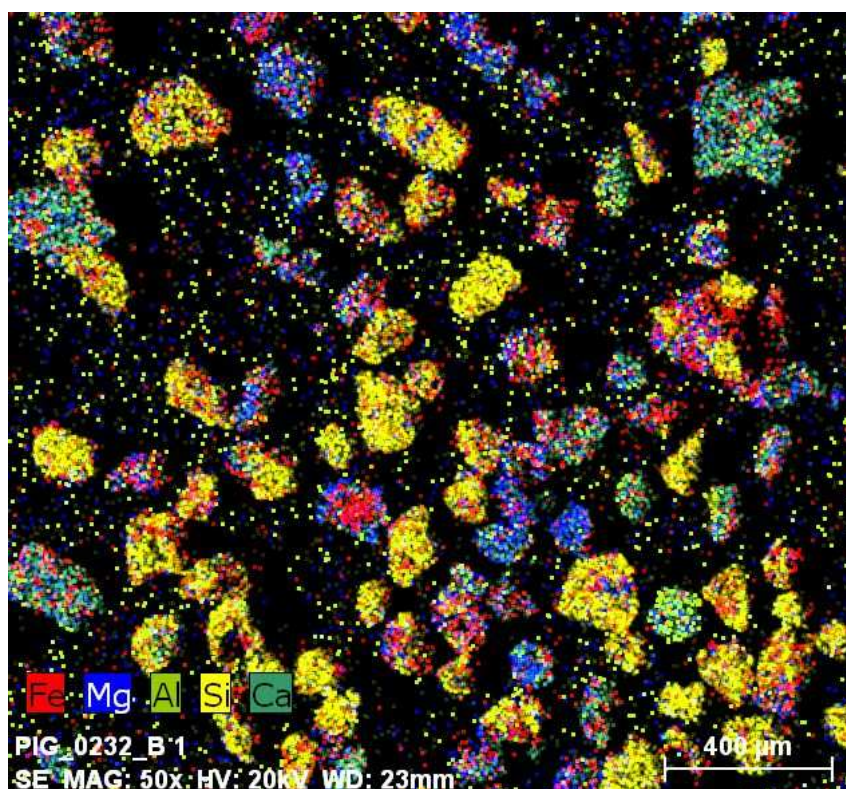


Figure 7.16 : Cartographie chimique réalisée au MEB-EDX de l'échantillon PIG\_0232\_B\_001 démontrant la variété des éléments présents. Cartographie : M. Le Turnier.

de savoir si elles ont pu être employées pour les peintures. Les matières colorantes ont été broyées auparavant dans un mortier en agate, puis déposées dans une nacelle en porcelaine. Avant et après la chauffe, les nacelles ont été pesées afin de déterminer le poids de la quantité de masse perdue lors de la chauffe. Toutefois, n'ayant pas beaucoup de matière à utiliser dans cette étude, les quantités employées demeurent inférieures à celles nécessaires pour une bonne perte au feu. La perte de matière

organique n'est donc pas considérée ici et ne permet pas d'étude approfondie des quantités de matière éliminée durant la chauffe.

Afin de pouvoir observer de façon objective le changement de couleur des matières colorantes, des prises de vues ont été réalisées avant et après la chauffe (Figure 7.17) dans des conditions ré-  
pétables. Par exemple, les images ont été prises au même emplacement, dans les mêmes conditions d'éclairage avec une lampe LED 18,7 W. A la suite de ces prises de vues, les images ont été traitées par une balance des blancs avec le logiciel DxO. Afin de normaliser au maximum la balance des blancs, la valeur 6900° a été appliquée à chaque photographie, afin de permettre une reproductibilité des conditions d'observation la plus précise possible. Les images ont été traitées au format NEF pour conserver les métadonnées propres à chaque image. Les balances des blancs étaient basées sur la mire colorimétrique accompagnant les poudres, permettant de comparer les images entre elles.

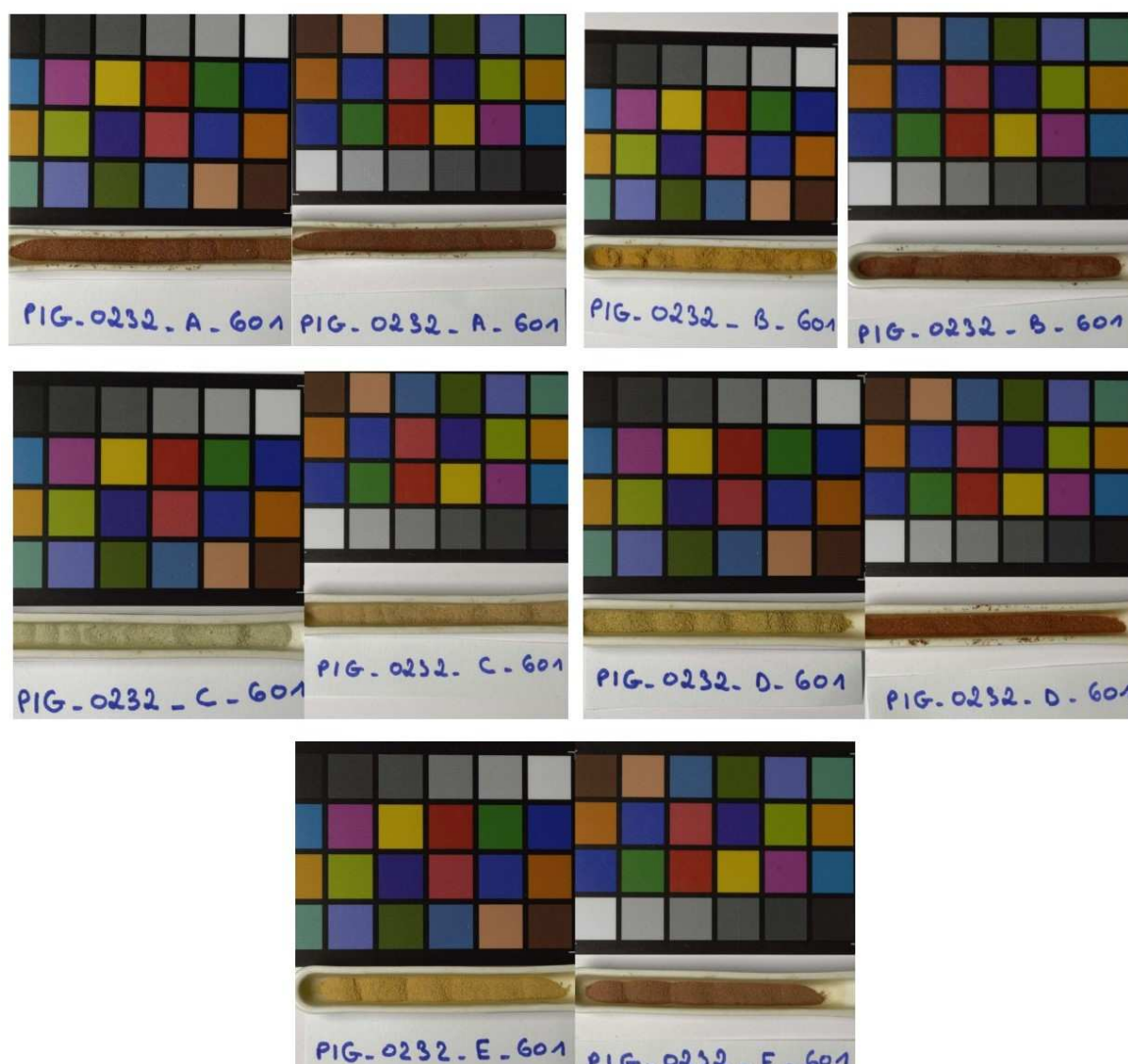


Figure 7.17 : Prises de vues des matières colorantes du Trou de la Féclaz avant (images de gauche) et après (images de droite) perte au feu. Images traitées par balance des blancs à 6900° sur le logiciel DxO. Photographies : M. Le Turnier

Les résultats de la perte au feu démontrent un changement de couleur pour chaque faciès. Si les matières jaunes ont réagi comme nous aurions pu l'espérer en virant au rouge, les poudres rouges ont également changé de couleur pour s'intensifier. De même, le faciès C de couleur verte a lui aussi changé de couleur pour virer au jaune. Ce changement pour le faciès C est lié à la présence de glauconie, minéral riche en fer, qui, une fois chauffé réagit et s'oxyde, donnant ainsi de la goethite, qui à son tour si elle subit une nouvelle chauffe peut être oxydée en hématite.

Ces observations permettent de supposer qu'éventuellement les matières colorantes disponibles au Trou de la Féclaz auraient pu être employées pour leurs propriétés chromatiques. Toutefois, rien ne permet de l'affirmer pour l'instant. Des analyses MEB seraient alors à envisager. Par ailleurs, la variété de teintes disponibles sur ce site est remarquable, à plus forte raison lorsqu'on observe une nouvelle palette chromatique après avoir chauffé la matière.

#### **7.1.4 Conclusion**

Les premiers résultats obtenus au Trou de la Féclaz apportent des éléments d'identification des matières colorantes. Ces résultats ne se suffisent toutefois pas à eux-mêmes et des analyses géochimiques doivent être réalisées en complément, afin de définir clairement les éléments caractéristiques de cette source potentielle d'approvisionnement en matière colorante. Cependant, concernant les analyses réalisées sur des microprélèvements de paroi ornée, il semble déjà possible de corréliser la matière picturale à la matière géologique étudiée. En effet, la présence répétée de glauconie semble pouvoir désigner une correspondance fiable.

## 7.2 Premières analyses des matières des Monts Lessini

Giorgia SARDELLI, Hélène SALOMON, Aurélie CHASSIN DE KERGOMMEAUX, Laurent PICHON, Claire PACHECO, Quentin LEMASSON, Brice MOIGNARD, Anne-Lise DEVELLE, Raphaël GALLET et Federica FONTANA

Les échantillons géologiques prélevés en décembre 2020 et janvier 2021 dans les dépôts de Ponte di Veja, Sant'Andrea et San Bortolo ont commencé à être analysés selon l'approche multiscalaire définie dans le cadre de la Pigmentothèque et d'une thèse de doctorat. Le matériel échantillonné en septembre 2021 n'a pas encore été observé.

Dans un premier temps, les lots de matières colorantes riches en oxydes et hydroxydes de fer de Ponte di Veja, Sant'Andrea et San Bortolo ont été inventoriés selon la numérotation établie par la Pigmentothèque (PIG\_numéro progressif du dépôt/lieu de collecte). Ils ont ensuite été intégrés dans la base de données commune du projet avec les principales informations des dépôts échantillonnés (Tableau en annexe 11). Suite à cette étape, une première observation à l'œil nu des blocs/fragments a permis de définir les caractéristiques lithologiques macroscopiques de la matière et de distinguer les faciès présents dans chaque gisement. Les faciès ont été renseignés dans une deuxième base de données par une lettre qui a été ajoutée au numéro d'inventaire du lot. Les échantillons à analyser à l'échelle mésoscopique et microscopique ont été sélectionnés dans chaque lot. Pour ces échantillons, la lettre associée au faciès est suivie de trois chiffres indiquant la préparation à laquelle l'échantillon sera soumis (série 200 pour les cassure fraîches, 400 pour les plots polis, 600 pour les poudres) : [PIG]\_[numéro progressif du dépôt/lieu de collecte]\_[faciès]\_[code de préparation] (Tableau 7.18).

Les poudres et les plots polis des matières colorantes de Ponte di Veja, Sant'Andrea et San Bortolo ont été analysés par PIXE (Proton Induced X-Ray Emission) et  $\mu$ XRD (Micro X-Ray Diffraction) en juillet 2021 au laboratoire C2RMF de Paris grâce au projet GEOCOMLES piloté par Giorgia Sardelli. Ce projet a été soumis à la commission européenne en novembre 2020 dans le cadre du programme IPERION-HS. GEOCOMLES et a permis l'obtention de 5 jours d'accès (temps maximal de réservation) à l'accélérateur de particules AGLAE (Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire). Le projet a comme objectif de définir l'empreinte géochimique (éléments majeurs, mineurs, en traces) des matières colorantes de Riparo Tagliente et des échantillons géologiques des Monts Lessini afin de les comparer et d'avancer de nouvelles hypothèses sur les stratégies d'approvisionnement et de sélection adoptées par les groupes épigravettiens. La comparaison de l'empreinte géochimique du corpus archéologique avec celle du corpus géologique est également importante afin d'investiguer les traitements volontaires mécaniques et le traitement thermique des matières premières. L'utilisation de cette technique d'analyse nous permettra, dans un deuxième temps, de comparer la composition géochimique des matières colorantes cohésives avec celle des résidus détectés sur les différents outils lithiques et celle des peintures présentes sur les objets d'art mobilier.

Vingt-quatre plots polis (sur un total de 30) et 6 poudres ont été analysées. Compte tenu de la morphologie standardisée des échantillons mis en résine ainsi que des poudres, un porte-échantillon a été conçu par les membres du laboratoire EDYTEM (Anne-Lise Develle et Raphaël Gallet) (Figure 7.21). Celui-ci a permis de placer correctement les objets sur la platine porte-échantillon d'AGLAE



Figure 7.18 : Liste des échantillons issus des prospections dans les Monts Lessini.

Numéro de gîte	Numéro d'échantillon	Gîte	Point de collecte		Faciès	Type d'échantillon	Analyses			
							Stéréomicroscope	μDRX	PIXE	MEB-EDS
PIG_0310	PIG_0310_A_401	Ponte di Veja	Cavité A	secondaire (sol)	A	Plot poli			oui	
	PIG_0310_A_501	Ponte di Veja	Cavité A	secondaire (sol)	A	Lame mince				
	PIG_0310_A_201	Ponte di Veja	Cavité A	secondaire (sol)	A	Cassure fraîche	oui			
PIG_0311	PIG_0311_A_401	Ponte di Veja	Cavité A	position primaire (paroi)	A	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0311_A_501	Ponte di Veja	Cavité A	position primaire (paroi)	A	Lame mince				
	PIG_0311_A_601	Ponte di Veja	Cavité A	position primaire (paroi)	A	Poudre				
	PIG_0311_A_201	Ponte di Veja	Cavité A	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0311_A_202	Ponte di Veja	Cavité A	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
PIG_0312	PIG_0312_A_201	Ponte di Veja	Cavité G	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0312_A_401	Ponte di Veja	Cavité G	position primaire (paroi)	A	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0312_A_501	Ponte di Veja	Cavité G	position primaire (paroi)	A	Lame mince				
	PIG_0312_A_601	Ponte di Veja	Cavité G	position primaire (paroi)	A	Poudre			oui	
	PIG_0312_B_201	Ponte di Veja	Cavité G	position primaire (paroi)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0312_C_201	Ponte di Veja	Cavité G	position primaire (paroi)	C	Cassure fraîche	oui			
PIG_0313	PIG_0313_A_201	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0313_A_401	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Plot poli				
	PIG_0313_A_501	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Lame mince				
	PIG_0313_B_201	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0313_B_401	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	B	Plot poli				
	PIG_0313_B_501	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	B	Lame mince				
PIG_0314	PIG_0314_A_401	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Plot poli				
	PIG_0314_A_501	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Lame mince				
	PIG_0314_A_201	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0314_B_201	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0314_B_401	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	B	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0314_B_501	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	B	Lame mince				
	PIG_0314_B_601	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	B	Poudre			oui	
PIG_0315	PIG_0315_A_201	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0315_A_601	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Poudre				
	PIG_0315_A_202	Ponte di Veja	Cavité G1	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
PIG_0316	PIG_0316_A_201	Ponte di Veja	Cavité G1	secondaire (sol)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0316_A_401	Ponte di Veja	Cavité G1	secondaire (sol)	A	Plot poli				
	PIG_0316_A_501	Ponte di Veja	Cavité G1	secondaire (sol)	A	Lame mince				
PIG_0317	PIG_0317_A_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0317_A_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Plot poli			oui	
	PIG_0317_A_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Lame mince				



Figure 7.19 : Liste des échantillons issus des prospections dans les Monts Lessini.

PIG_0318	PIG_0318_A_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0318_A_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Plot poli			oui	
	PIG_0318_A_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Lame mince				
PIG_0319	PIG_0319_A_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	D	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0319_B_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	D	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0319_C_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	D	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0319_D_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	D	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0319_D_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	D	Plot poli			oui	
	PIG_0319_D_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	D	Lame mince				
PIG_0320	PIG_0320_A_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0320_A_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Plot poli			oui	
	PIG_0320_A_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	A	Lame mince				
	PIG_0320_B_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0320_B_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	B	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0320_B_402	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	B	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0320_B_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	B	Lame mince				
	PIG_0320_C_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	C	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0320_C_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	C	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0320_C_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	C	Lame mince				
PIG_0320_C_601	Ponte di Veja	Cavité D=E	position primaire (paroi)	C	Poudre			oui		
PIG_0321	PIG_0321_A_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0321_A_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	A	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0321_A_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	A	Lame mince				
	PIG_0321_A_601	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	A	Poudre			oui	
	PIG_0321_B_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0321_B_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	B	Plot poli				
	PIG_0321_B_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	B	Lame mince				
	PIG_0321_C_201	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	C	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0321_C_401	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	C	Plot poli				
	PIG_0321_C_501	Ponte di Veja	Cavité D=E	secondaire (sol)	C	Lame mince				
PIG_0322	PIG_0322_A_201	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0322_A_401	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	A	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0322_A_501	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	A	Lame mince				
	PIG_0322_A_601	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	A	Poudre			oui	
	PIG_0322_B_201	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0322_B_401	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	B	Plot poli			oui	
	PIG_0322_B_501	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	B	Cassure fraîche				
PIG_0322_C_201	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	C	Cassure fraîche	oui				

	PIG_0322_C_401	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	C	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0322_C_501	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	C	Lame mince				
	PIG_0322_D_201	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	D	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0322_E_201	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	E	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0322_E_401	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	E	Plot poli			oui	
	PIG_0322_E_501	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	E	Lame mince				
<b>PIG_0323</b>	PIG_0323_A_201	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0323_A_401	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	A	Plot poli			oui	
	PIG_0323_A_501	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	A	Lame mince				
	PIG_0323_B_201	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0323_B_401	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	B	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0323_B_501	Sant'Andrea	Cavité	position primaire (paroi)	B	Lame mince				
<b>PIG_0324</b>	PIG_0324_A_201	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0324_A_401	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	A	Plot poli			oui	
	PIG_0324_A_501	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	A	Lame mince				
	PIG_0324_B_201	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0324_B_401	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	B	Plot poli				
	PIG_0324_B_501	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	B	Lame mince				
	PIG_0324_C_201	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	C	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0324_C_401	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	C	Plot poli			oui	
	PIG_0324_C_501	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	C	Lame mince				
<b>PIG_0325</b>	PIG_0325_A_201	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0325_A_401	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	A	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0325_A_501	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	A	Lame mince				
	PIG_0325_B_201	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0325_B_401	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	B	Plot poli			oui	
	PIG_0325_B_501	Sant'Andrea	Cavité	secondaire (sol)	B	Lame mince				
<b>PIG_0326</b>	PIG_0326_A_201	San Bortolo	coupe bor	primaire (coupe)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0326_A_401	San Bortolo	coupe bor	primaire (coupe)	A	Plot poli		oui	oui	
	PIG_0326_A_501	San Bortolo	coupe bor	primaire (coupe)	A	Lame mince				
	PIG_0326_A_601	San Bortolo	coupe bor	primaire (coupe)	A	Poudre			oui	
	PIG_0326_A_202	San Bortolo	coupe bor	primaire (coupe)	A	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0326_B_201	San Bortolo	coupe bor	primaire (coupe)	B	Cassure fraîche	oui			
	PIG_0326_B_401	San Bortolo	coupe bor	primaire (coupe)	B	Plot poli			oui	
PIG_0326_B_501	San Bortolo	coupe bor	primaire (coupe)	B	Lame mince					

Figure 7.20 : Liste des échantillons issus des prospections dans les Monts Lessini.

puis de programmer et effectuer les analyses pendant les quatre nuits d'accès. Afin de confronter les données recueillies lors de cette première session PIXE de GEOCOMLES avec celles obtenues lors des précédents accès de la Pigmentoθήque (en 2015, 2018 et 2019) et de comparer les variations de détection AGLAE, les standards géologiques de la Pigmentoθήque ont été analysés à plusieurs reprises au cours des cinq jours de cette nouvelle campagne expérimentale.

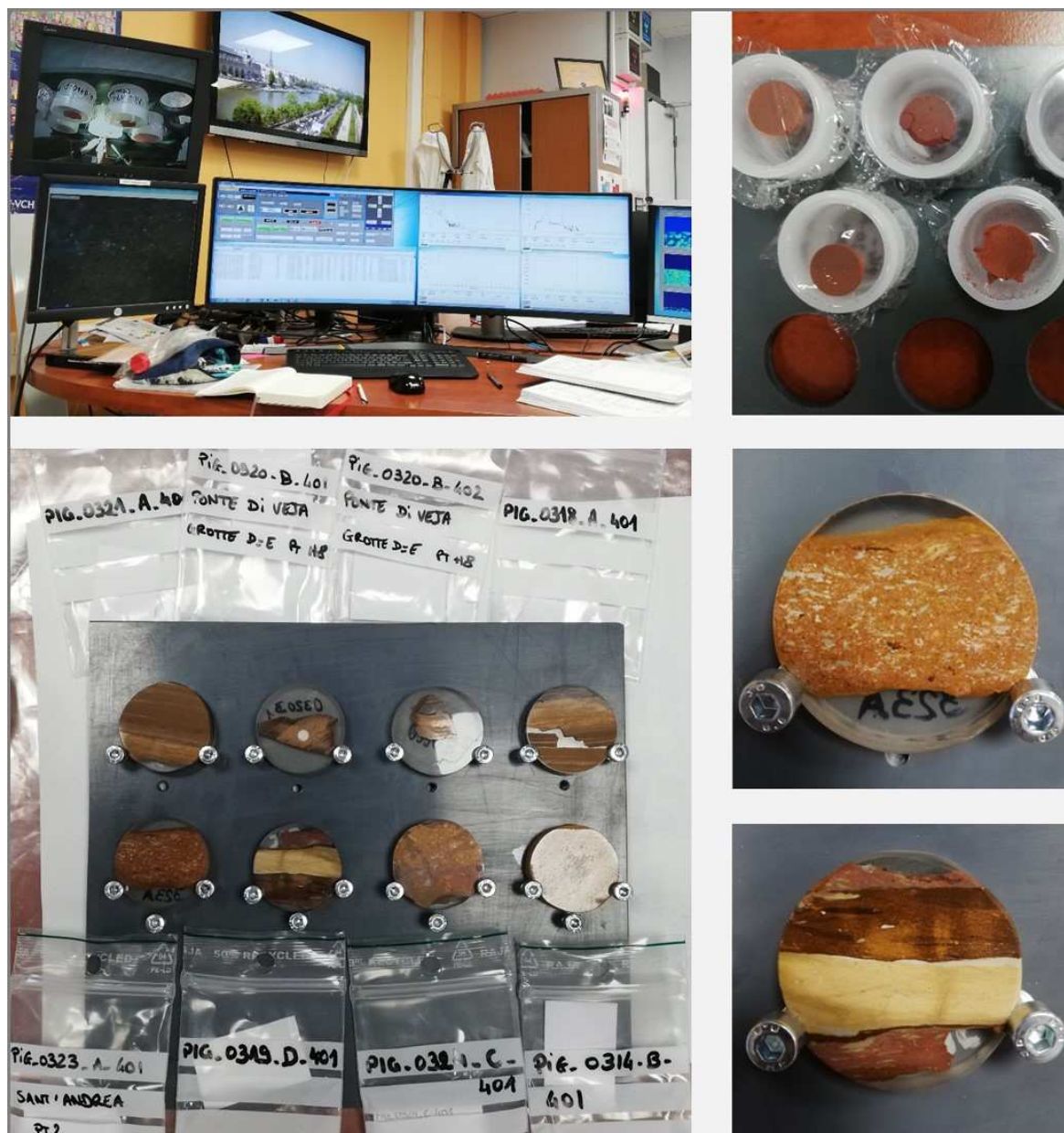


Figure 7.21 : Montage des pastilles de poudres de références (*Pigmentoθήque*) et des plots polis sur le porte-échantillon réalisé à EDyTeM (Anne-Lise-Develle, Raphaël Gallet) pour les analyses automatiques au PIXE à AGLAE en juillet 2021. Photographies et DAO : G. Sardelli

Concernant les paramètres d'acquisition (Beck *et al.*, 2012), l'équipement d'analyse suivant a été utilisé :

- faisceau de protons de 3 MeV,
- trois détecteurs Haute Energie (HE1, HE3 et HE4) équipés de filtres Al de 50  $\mu\text{m}$ ,
- filtres Cr de 20  $\mu\text{m}$  sur HE1 et HE3,
- détecteur de rayons X de basse énergie orienté à 45° par rapport au faisceau de particules.

Les poudres des échantillons standards de la Pigmentothèque ont été analysées en trois zones de 1000  $\mu\text{m}$  x 1000  $\mu\text{m}$  (pour chaque échantillon) avec une valeur de dose d'environ 1 000 000. Les poudres géologiques de Ponte di Veja, Sant'Andrea et San Bortolo ont été analysés en trois zones de 1500  $\mu\text{m}$  x 1500  $\mu\text{m}$ , en utilisant une valeur de dose d'environ 1 000 000. Les plots polis des trois sites des Monts Lessini ont été analysés au cours des trois premières nuits et deux derniers jours d'analyse : une carte de 5000  $\mu\text{m}$  x 5000  $\mu\text{m}$  a été obtenue pour chaque échantillon avec une valeur de dose de 20 000 000. En ce qui concerne le matériel archéologique, 24 échantillons (sur 100, dont 60 prioritaires) ont été examinés dans trois zones différentes de 500  $\mu\text{m}$  x 500  $\mu\text{m}$ , avec une dose d'environ 1 000 000.

Un premier traitement des données acquises au cours de cette session d'analyses PIXE a souligné une répétabilité satisfaisante des mesures entre les campagnes analytiques précédentes et le programme GEOCOMLES (annexe 13). En plus des échantillons riches en fer (teneur en Fe > 50 %), des échantillons caractérisés par une matrice riche en calcium (environ 50 % de Ca) et une matrice riche en silicium (environ 50 % de Si) ont été examinés dans le but d'acquérir des données supplémentaires sur les limites de détection des analyses. Ces références supplémentaires sont nécessaires pour évaluer finement l'impact de la matrice sur les données acquises et définir la bonne configuration de traitement des données.

En ce qui concerne le matériel géologique des Monts Lessini, l'analyse a enregistré des différences chimiques importantes entre les faciès échantillonnés dans les mêmes sources géologiques (variabilité lithologique) (Tableau 7.22). Ce premier traitement préliminaire des données nous a permis également de comparer les données relatives aux plots polis et aux poudres homogénéisées, préparées à partir du même échantillon. Pour certains échantillons (n=3), la reproductibilité est satisfaisante mais des différences importantes ont été observées sur les teneurs en éléments majeurs des autres échantillons, notamment lorsque la teneur en Fe ou en Si est élevée ou inégale au sein de la roche cohésive. En particulier lorsque la variabilité lithologique est élevée, la poudre et le plot poli présentent des différences chimiques importantes. Après avoir affiné le traitement de données et les fichiers de configuration, nous procéderons à l'extraction et au traitement des cartographies chimiques et à la première analyse statistique. Une nouvelle campagne sera nécessaire pour compléter l'analyse de la collection archéologique et pour examiner les nouvelles références géologiques. Au cours des analyses PIXE, 13 plots polis géologiques de Ponte di Veja, Sant'Andrea et San Bortolo ont également été analysés par  $\mu\text{XRD}$  (Micro X-Ray Diffraction) au laboratoire C2RMF. Le traitement des données doit encore être effectué.



Sample info	Facies	Type	% w.	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O3	MnO	Fe2O3	total	Ni	CuO	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Ba	La	Ce	W	PHO	Th			
FIG_0310_A_401	Y, laminated	section	0,89	4,92	15,92	1,00	<1,00	0,01	1,47	46,12	0,379	0,050	0,035	28,95	95,74	112,32	102,14	256,239	1	1	38	119	67	97	4	15	6	33	86	40	108	8	42	8						
FIG_0311_A_401	Y, laminated	section	0,78	4,23	13,78	1,04	0,04	0,01	1,26	47,15	0,36	0,05	0,033	30,96	99,69	108,36	113,8	18	260	1	1	32	121	78	98	9	16	<20	29	92	<185	46	53	8						
FIG_0311_A_601	Y, laminated	powder	0,71	5,33	18,12	0,93	0,04	0,01	1,76	40,96	0,38	0,05	0,027	31,35	99,67	116,19	85,9	5	280	<17	3	39	115	69	103	7	15	<20	<191	594	20	32	7							
FIG_0311_A_601	Y, laminated	powder	0,66	5,15	17,99	0,96	<1,00	0,01	1,82	42,06	0,42	0,05	0,043	30,50	99,67	119,19	91,10	271	<17	<23	35	108	84	104	6	9	<129	<155	882	320	339	19	49	<36						
FIG_0311_A_601	Y, laminated	powder	0,67	5,23	18,37	1,05	0,03	0,02	1,88	41,70	0,41	0,05	0,043	30,22	99,66	131,15	87,13	4	280	9	<13	43	114	78	102	4	7	<234	206	321	437	13	44	<40						
FIG_0312_A_401	Y, hom.	section	0,12	0,15	49,12	1,28	0,06	0,02	0,82	0,79	0,01	0,11	0,000	48,07	99,75	120,33	4	39	22	152	440	<13	1018	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
FIG_0312_A_601	Y, hom.	powder	0,22	0,23	17,41	2,89	0,10	0,01	0,01	2,56	0,01	0,11	0,005	76,53	99,70	85,11	95,5	6	338	<17	12	<26	55	22	36	<30	21	<162	211	259	181	368	<109	30	<59					
FIG_0312_A_601	Y, hom.	powder	0,18	0,20	18,25	2,35	0,06	0,01	0,01	1,83	0,01	0,10	0,005	76,63	99,70	85,11	17	100	<20	7	337	9	<20	<26	53	22	36	<142	64	<564	<1406	167	15	38	<59					
FIG_0312_A_601	Y, hom.	powder	0,20	0,19	16,17	2,65	0,07	0,01	0,01	2,23	0,01	0,11	0,000	77,93	99,59	85,8	64,6	3	341	<23	18	<30	47	26	36	6	37	<145	<234	<358	<1429	143	<59	37	<63					
FIG_0314_B_401	Y, massive, hom.	section	0,03	0,18	85,56	0,23	0,01	0,06	0,02	0,07	0,003	0,01	0,000	13,72	99,89	17,11	20,2	2	94	<3	2	<3	4	3	15	1	19	<17	22	16	<116	89	4	294	<3					
FIG_0314_B_601	Y, massive, hom.	powder	0,06	0,25	80,15	0,33	0,03	0,05	0,02	0,15	0,005	0,02	0,001	18,81	99,86	23,6	22,4	2	133	<7	<7	2	6	2	22	<20	20	<56	<172	178	<518	54	<46	20	4					
FIG_0314_B_601	Y, massive, hom.	powder	0,02	0,24	77,57	0,30	0,04	0,06	0,01	0,14	0,004	0,02	0,002	21,45	99,86	42,17	23,5	6	157	<13	5	2	9	4	25	<13	30	<149	48	<142	<739	122	13	22	<80					
FIG_0314_B_601	Y, massive, hom.	powder	0,06	0,28	79,61	0,33	0,03	0,05	0,02	0,14	0,004	0,02	0,000	19,28	99,82	18,498	28,7	4	137	5	6	<10	5	3	26	<17	34	<59	78	351	<538	115	<83	<100	<23					
FIG_0317_A_401	Y, het.	section	0,27	0,91	38,60	0,85	0,01	0,003	0,26	15,82	0,04	0,06	0,012	42,96	99,80	52,30	87,3	3	234	<3	7	4	34	23	44	1	23	<20	8	36	<168	278	8	43	2					
FIG_0317_A_401	Y, het.	section	0,42	1,12	20,51	1,04	0,01	0,003	0,17	10,81	0,07	0,08	0,001	65,20	99,43	87,41	95,5	485	446	<3	23	2	27	16	68	4	34	<26	28	36	55	94	10	69	<13					
FIG_0318_A_401	Y, lamin., hom.	section	0,46	1,27	3,73	1,41	0,02	0,005	0,06	8,90	0,04	0,05	0,007	83,70	99,65	104,21	113,4	426	331	<7	3	2	33	12	93	2	51	<26	35	<244	<129	98	13	71	<17					
FIG_0319_D_401	Y, lamin., het.	section	0,58	3,42	9,63	2,00	0,04	0,008	0,67	6,37	0,12	0,05	0,001	76,64	99,53	101,25	102,6	718	551	<3	2	15	45	63	98	3	71	55	27	57	37	37	11	1923	<13					
FIG_0320_A_401	Y, lamin., hom.	section	0,47	1,88	5,71	1,12	<1,00	0,005	0,39	20,67	0,14	0,08	0,011	69,20	99,67	97,15	107,13	<3	524	1	1	11	47	47	91	4	31	<36	45	<145	41	58	28	80	<17					
FIG_0320_B_401	Y, lamin., het.	section	0,50	1,70	6,50	0,94	0,02	0,015	0,44	43,38	0,14	0,09	0,049	45,35	99,12	88,63	174,11	<3	343	<3	2	13	88	55	80	1	32	5	12	<132	59	177	47	81	4					
FIG_0320_B_402	Y, lamin., het.	section	0,43	1,22	4,25	0,63	<1,00	0,004	0,33	61,84	0,15	0,06	0,073	29,90	98,89	61,46	114,13	65	150	5	4	12	125	60	48	2	20	<23	12	<125	73	58	68	43	<10					
FIG_0320_C_401	Y, hom.	section	0,86	5,38	18,79	1,64	0,04	0,005	1,83	4,12	0,31	0,09	0,011	66,48	99,61	148,48	146,7	2	518	2	2	44	45	56	123	6	39	<36	36	49	<290	59	10	1806	<17					
FIG_0320_C_601	Y, hom.	powder	0,64	5,37	19,97	1,45	0,03	0,006	2,01	4,22	0,31	0,09	0,019	65,43	99,56	115,28	133,9	<13	496	2	3	52	51	65	139	5	47	<129	32	1066	<1584	350	<99	1850	<50					
FIG_0320_C_601	Y, hom.	powder	0,56	4,86	18,34	1,31	0,03	<1,00	1,88	4,24	0,32	0,09	0,012	67,88	99,52	138,32	133,12	<23	522	6	15	55	53	77	141	12	32	<109	128	192	<1386	199	<109	2031	<50					
FIG_0320_C_601	Y, hom.	powder	0,62	5,09	19,25	1,35	0,04	0,010	1,94	4,15	0,30	0,10	0,012	66,66	99,52	133,36	136,7	4	505	<13	12	48	52	65	139	7	41	<139	<195	282	275	269	33	237	<60					
FIG_0321_A_401	Y, lamin., hom.	section	0,62	3,17	13,56	1,31	0,11	0,04	0,90	14,31	0,18	0,09	0,015	65,25	99,55	121,22	126,8	440	492	<3	19	19	50	35	131	4	50	4	26	26	37	37	7	74	<13					
FIG_0322_A_401	R, het.	section	10,52	1,81	3,48	1,26	0,08	0,02	0,25	17,51	0,10	0,08	0,003	64,66	99,76	53,10	48,11	<3	57	<3	2	8	74	6	97	2	51	<20	29	41	<162	78	44	11	<13					
FIG_0322_A_401	R, het.	section	0,15	0,73	1,38	1,77	0,07	0,02	0,01	1,67	0,03	0,06	<1,00	93,92	99,81	105,46	16,10	5	82	<13	<26	<33	43	9	118	<17	97	<56	<132	<574	<1409	94	24	15	<59					
FIG_0322_A_601	R, het.	section	0,57	0,82	2,12	1,59	0,05	0,03	0,10	5,29	0,04	0,06	<1,00	88,98	99,65	40,33	21,10	<23	<13	3	<33	75	4	82	3	80	41	<178	<502	<1561	92	13	<83	<63						
FIG_0322_A_601	R, het.	section	0,46	0,81	2,01	1,57	0,07	0,02	0,09	5,05	0,04	0,05	<1,00	89,68	99,84	27,53	28,30	5	88	<13	23	<36	73	9	92	6	67	<102	36	<508	<439	259	<89	20	<63					
FIG_0322_A_601	R, het.	section	0,53	0,92	2,26	1,63	0,09	0,03	0,10	4,54	0,05	0,06	<1,00	89,54	99,73	44,53	24,3	4	91	<23	10	<33	73	4	89	<20	70	17	45	<488	<1538	170	26	<50	<63					
FIG_0322_B_401	R, hom.	section	8,48	1,78	3,57	1,33	0,08	0,02	0,15	14,06	0,10	0,07	0,003	69,78	99,43	48,27	21,8	1208	66	<3	2	4	71	7	39	3	54	6	17	32	<139	660	41	6	<13					
FIG_0322_C_401	R, hom.	section	1,63	28,00	46,57	3,32	0,02	0,03	0,84	5,22	8,39	0,05	0,015	5,76	99,84	38,2	39,26	1	10	1	13	390	38	521	155	16	9	345	336	201	5	9	10							
FIG_0322_E_401	R, hom.	section	19,25	2,26	4,14	1,16	0,11	0,04	0,39	33,60	0,15	0,05	0,012	38,17	99,33	53,26	99,12	50	188	3	1	14	119	15	54	1	11	4	5	<145	<152	55	<17	7	<10					
FIG_0323_A																																								



## Partie 8

### Lien avec les collections de matières colorantes archéologiques

Les aller-retour entre les collections archéologiques et les différents contextes géologiques prospectés se poursuivent inévitablement et renouvellent les contextes géologiques et chono-culturels de même que les pratiques qui entourent les exploitations de matières colorantes. Pour rappel, la liste des sites présentant des matières colorantes sous diverses formes (roches solides brutes, fragmentées, facettés, incisées, raclées, mais aussi des résidus sur différents outils et des applications volontaires sur des objets décorés mobiliers ou sur des parois de grottes), en cours d'étude par les membres de l'équipe et donc alimentant les questions d'approvisionnement :

- Le Rocher du Château (dir. C. Desfrane) étudié par E. Chalmin, L. Bellot-Gurlet
- Le Trou de la Féclaz (dir. C. Desfrane) étudié par E. Chalmin, M. Rossi, M. Le Turnier B. Schmitt. Étude en laboratoire des microprélèvements par M. Le Turnier
- La Grande Rivoire (dir. P.Y. Nicod) – J.V. Pradeau
- Morschwiller-le-Bas (dir. H. Koehler) et Wolschwiller (S. Griselin) – H. Salomon
- Ormesson (dir. P. Bodu) – H. Salomon
- Pincevent (dir. O. Bignon-Lau) – H. Salomon
- La Baume d'Oullin (dir. N. Teyssandier) - H. Salomon
- Le Mas d'Aiguilhon (dir. P. Guillermin) - H. Salomon
- La grotte aux Points (dir. J. Monney) – C. Chanteraud (étude des micro-prélèvements de matière picturale)
- La Grotte de Cussac (dir. J. Jaubert) – H. Salomon
- Le Fourneau du Diable (dir. M. Baumann) - H. Salomon
- Régismont-le-Haut (dir. F. Bon et R. Mensan) - J.V. Pradeau et H. Salomon
- La grotte de Scladina (Belgique) – E. Goemaere en collaboration avec A. Chassin de Kergommeaux, E. Chalmin et H. Salomon.
- Divers sites LBK de Belgique – E. Goemaere, en collaboration avec E. Chalmin, H. Salomon, A. Chassin de Kergommeaux (pour ces deux ensembles de sites belges, le partage de standards géochimiques a rendu possible un travail collectif sur les analyses élémentaires réalisées en PIXE – AGLAE – C2RMF).

- le site d'Otello (Saint-Rémy-de-Provence) (Dir. Claudia Defrasne) étudié par E. Chalmin, M. Le Turnier, A. Chassin de Kergommeaux, B. Schmitt.
- Chuchuwaya (Colombie Britannique, Hedley, Canada) Dir : A. Quiles, étudié par E. Chalmin, J. Jacquet, J.-J. Delannoy

L'ensemble de ces sites fait l'objet d'études intégrées multi- et interdisciplinaires, de même que de projets dirigés et financés par ailleurs.

Les échanges avec les équipes sont l'occasion de mener des prospections et de partager les expériences acquises quant aux méthodes d'enregistrement, de documentation des gîtes et de traitement des échantillons (enregistrement, descriptions et caractérisation physico-chimiques). Nous profitons de ces terrains collectifs pour assurer la formation de nos collègues et des étudiants pour ce qui est des prélèvements et enregistrement des pièces archéologiques sur le terrain, du soin particulier à réserver lors du nettoyage ou reconnaître les pièces qui doivent être écartées du lavage (préconisation d'inspections attentives pour éviter de supprimer des traces d'usure et des résidus), du conditionnement et des modalités de description des pièces archéologiques colorantes et colorées.

## Partie 9

### Diffusion et valorisation

#### Communications

- Claire Chanteraud, Emilie Chalmin, Aurélie Chassin de Kergommeaux, Eric Goemaere, Jean-Victor Pradeau, Hélène Salomon, Julien Monney. De l'importance des références géologiques de roches ferrugineuses pour la reconnaissance des matières archéologiques, communication à la journée CAI-RN « De la conception à l'épistémologie : nature, concepts et enjeux des référentiels en archéométrie et sciences de la conservation », reportée à mai 2022.
- Aurélie Chassin de Kergommeaux, Magali Rossi, Hélène Salomon, Jean-Jacques Delannoy, Emilie Lesvignes, Quentin Lemasson, Claire Pacheco, Laurent Pichon, Caroline Peschaux, Gaëlle Dumarçay, Olivier Bignon-Lau, Emilie Chalmin. La variabilité des roches rouges et jaunes collectées au Magdalénien à Pincevent : genèse, sélection et altération, (Lyon, 1-5 nov. 2021).
- Giorgia Sardelli, Hélène Salomon, Roberto Zorzin, Aurélie Chassin de Kergommeaux, Federica Fontana. Sourcing of iron-rich colouring materials : evidence from the Epigravettian Layers of Riparo Tagliente (Verona, Italy, poster présenté à la 56e conférence de l'Instituto Italiano di Preistoria et Protostoria, Ferrara, 20-23/10/2021 (annexe 14).

#### Organisation de colloque et de session de colloque (2021)

Chalmin *et al.* : Colloque du GMPCA - Archéométrie 2021, Chambéry (USMB, EDYTEM, PATRI-MALP) reportée au 2-6 mai 2022

#### Publications

- Salomon, H., Chanteraud, C., Chassin de Kergommeaux, A., Monney, J., Pradeau, J.-V., Goemaere, E., Coquinot, Y. & Chalmin, E. 2021. A Geological Collection and Methodology for Tracing the Provenance of Palaeolithic Colouring Matter, *Journal of Lithic Studies*, special issue : The value of lithic raw materials in defining prehistoric social territories, 8(1), open access.
- Chalmin, E., Schmitt, B., Chanteraud, C., de Kergommeaux, A.C., Soufi, F. & Salomon, H., 2021. How to distinguish red coloring matter used in prehistoric time? The contribution of visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Color Research & Application*, 46(3), pp.653-673.

- Chanteraud, C., Chalmin, É., Lebon, M., Salomon, H., Jacq, K., Noûs, C., Delannoy, J.J. & Monney, J., 2021. Contribution and limits of portable X-ray fluorescence for studying Palaeolithic rock art : a case study at the Points cave (Aiguèze, Gard, France). *Journal of Archaeological Science : Reports*, 37, p.102898.

## Projets de publications

Chanteraud, C., Salomon, H., Pichon, L., Lemasson, Q., Moignard, B., Pacheco, C., Goemaere, E., Develle, A.-L., Chassin de Kergommeaux, A. & Chalmin E. Non-invasive analysis of iron-rich rocks by PIXE : standards quantification and data treatment. En cours d'écriture.

## Autres productions

- Lexiques : objectif d'une publication en open access en ligne après le lexique des lithothèques
- Base de données PIG@SSHADE permettant d'accéder aux données acquises par spectroscopie de réflectance diffuse sur plusieurs échantillons de la pigmentothèque dont les standards. Collaboration avec Bernard Schmitt, IPAG (CNRS-UGA). Les références ont été versées à la base de données consultable.

## Journée de la *Pigmentothèque*

Le principe de partage des connaissances réunies et générées au sein du projet est valable à plusieurs niveaux d'implication et de formation (adaptée aux étudiants, pour des collègues). Cette opération régulière de transferts des compétences dans les deux sens nous garantit un suivi régulier de notre approche et de notre avancement, de même que la diffusion de nos apprentissages auprès de nos collègues et futurs collègues.

### **Organisation de la journée de la Pigmentothèque les 20-21 septembre 2021 au laboratoire EDYTEM**

Comme chaque année, nous avons organisé deux journées d'échange au sujet de la *Pigmentothèque*. Cette année, une journée de présentations et discussions était suivie d'une sortie de terrain dans les Bauges pour former les collègues à l'utilisation de l'application et de la fiche de terrain (Figure 9). La première journée s'est déroulée sous la forme d'un séminaire hybride avec des collègues qui ont fait le déplacement jusqu'à EDyTeM et de nombreux collègues qui nous ont rejoint en visioconférence.

### **Programme**

#### **Le lundi 20 septembre de 14 à 17h**

- Rappel historique et actualités (Hélène Salomon)
- Affleurements riche en fer dans le bassin versant de l'Yonne (Aurélien Chassin de Kergommeaux)
- Les « Ogres » de Monte Lessini, Italie (Giorgia Sardelli)

- Les matières colorantes du Trou de la Féclaz (Emilie Chalmin, Marianne Le Turnier)
- Du côté SIG : du nouveau (Emilie Chalmin, Mathilde Waymel)
- Perspectives 2022 (Hélène Salomon)
- Temps d'échange

Liste de participants :

- En visio : Bernard Schmitt (IPAG), Guilhem Mauran (IFAS), Yvan Coquinot (C2RMF), Esther López-Montalvo (TRACES), Morgane Girardin (UGA), Julien Monney (EDyTeM), Magali Rossi (EDyTeM), Claire Pacheco (C2RMF), Claire Chanteraud (MURR), Charlène Girard (Cité de la Préhistoire), Cécile Pignol (EDyTeM), Frédérique Duquesnoy (LAMPEA-EDyTeM), Federica Fontana (U-Ferrara), Roland Nespoulet (HNHP), Christophe Tuffery (INRAP),
- Dans la salle : Giorgia Sardelli (U-Ferrara et EDyTeM), Claudia Defrasnes (EDyTeM), Matthieu Lebon (HNHP), Xavier Gallet (HNHP), Dominique Gasquet (EDyTeM), Aurélie Chassin de Kergommeaux (EDyTeM).



Figure 9.1 : Prospection dans les Bauges. Photographie : H. Salomon

## Encadrement d'étudiants

### Premier et deuxième cycles

Cette année nous avons encadré :

- Iris Querenet Onfroy de Bréville (Paris 1) : archéologie (tracéologie) : *La pensée symbolique entre autres : réflexions autour de la perception et du rôle réel des matières colorantes dans les sociétés néandertaliennes* (dir. H. Salomon et M. Christensen)



- Marianne Le Turnier (Bordeaux 3) : archéométrie : Étude des matières colorantes et taphonomie de paroi des sites ornés de montagne. Le cas du Trou de la Féclaz (Savoie) (dir. E. Chalmin et C. Defrasne).
- Mathilde Waymel : Ecole nationale des sciences géomatiques (ENSG) : géomatique, L2 : *Cartographie de gisements de matières colorantes utilisées pendant la Préhistoire et configuration de l'application Input de relevés de terrain*

### Doctorats

- Thèse débutée le 1er septembre 2020 par Aurélie Chassin de Kergommeaux (financement ministère). Sujet : Trajectoires des roches riches en fer durant le Paléolithique : genèse, sélection et altération. Direction de la thèse : J.-J. Delannoy, E. Chalmin, co-encadrement H. Salomon et M. Rossi. Laboratoire d'accueil : EDyTeM.
- Thèse en co-tutelle avec l'université de Ferrara, débutée en octobre 2020 par Giorgia Sardelli (Financement Vinci). Sujet : Les matières colorantes dans les systèmes techniques des chasseurs-collecteurs du Paléolithique final en Europe sud-occidentale. Direction : Federica Fontana et co-encadrement : Hélène Salomon. Laboratoires d'accueil : Service de Préhistoire de l'université de Ferrara et EDyTeM (6 mois par an). Giorgia utilise les références la *Pigmentothèque* et les enrichit.

### Cours et séminaires

- Cours de Préhistoire en L2 d'histoire, parcours archéologie et patrimoine (Université de Savoie Mont-Blanc) : habitat et territoire, techniques et chaînes opératoires, pratiques esthétiques et symboliques (H. Salomon),
- Cours paléo-environnement en L2 d'histoire, parcours archéologie et patrimoine (Université de Savoie Mont-Blanc) : les ressources minérales exploitées de la Préhistoire aux Ages des métaux (TP : A. Chassin de Kergommeaux et H. Salomon),
- Séminaire de Master à l'université de Ferrara : *Questioning the Transition from the Middle to the Upper Palaeolithic* (H. Salomon),
- Séminaire *Les matériaux de la Préhistoire*, école doctorale de Paris Nanterre : Les matières colorantes (Y. Coquinot, H. Salomon et I. Reiche)

## Partie 10

### Développement du réseau

#### Lien avec les réseaux de lithothèques

Le lien avec le *Réseau des lithothèques*, nous a permis d'avancer sur la structuration d'un réseau à plusieurs niveaux. Comme nous l'avons cité précédemment, cette structuration passe par des échanges méthodologiques (fusion des fiches descriptives et outils de spatialisation, formations), mais également par l'organisation d'opérations de terrain combinées et par une extension géographique par rapport au premier périmètre défini dans le cadre de la *Pigmento-thèque*. Cette extension géographique nécessite bien évidemment de poser des jalons et d'argumenter par des questionnements archéologiques communs sur les recherches d'approvisionnement de matière première.

Héritière des méthodes développées pour la recherche de provenances des silicites, la *Pigmento-thèque* partage les principes fondamentaux d'inventaire et de caractérisation des matières premières de référence et archéologiques. Ses spécificités ont demandé une révision complète du vocabulaire de description multiscalair. Pour autant, les terrains prospectés et concernés par les échantillonnages sont communs dans certains contextes d'évolution des matières premières minérales (altérites, alluvions, colluvions, par exemple). C'est pourquoi, les différents projets de recherche trouvent leur intérêt au partage des méthodes, du gîte au laboratoire.

Cette mise en réseau des travaux de recherche concernant les matières premières est rendue véritablement indispensable à ce stade de l'avancée du projet, tant les méthodes à croiser sont diverses et font appel à des compétences interdisciplinaires, mais aussi du fait de la diversité des environnements où l'on peut retrouver les matières colorantes.

La mise en réseau demande aussi d'aborder la deuxième grande dimension du projet qui concerne la qualification des propriétés des matières colorantes. En effet, la diversité et la multiplicité des modalités d'utilisation et des pratiques qui entourent l'emploi de ces matières font encore une fois appel à des connaissances qui se heurtent souvent aux limites disciplinaires (archéologie, anthropologie, esthétique, art, physique des matériaux/optique, cognition, restauration des œuvres). Initialement associée au RED (Rouge, Études Diachroniques), thème transversal de l'UMR ArScAn (Nanterre), dirigé par Michèle Ballinger, ce thème n'est plus d'actualité avec le départ à la retraite de Michèle Ballinger et la fusion de l'équipe Ethnologie préhistorique avec l'UMR PréTech à partir de janvier 2022. Nous n'avons pas encore de piste pour rebondir.

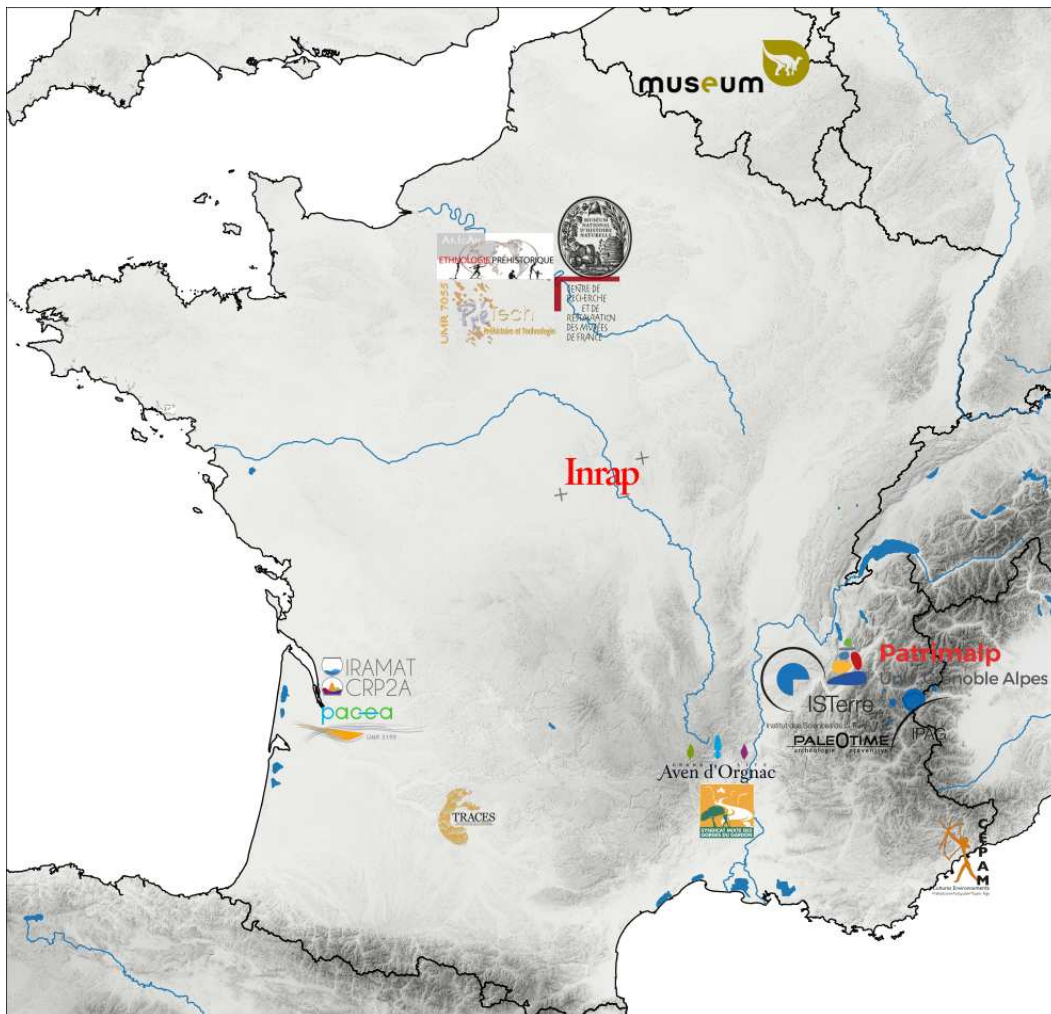


Figure 10.1 : État des lieux des collaborations et des mises en réseaux en place dans le cadre du PCR. DAO : E. Chalmin et H. Salomon

## **Pigmentoθήque Aquitaine**

Au vu des intérêts communs partagés avec les collègues de la communauté travaillant sur les matières colorantes utilisées pendant la Préhistoire, nous avons pu faire bénéficier de notre expérience dans le cadre du PCR *Pigmentoθήque* pour le montage d'un nouveau PCR du même type en région Aquitaine. Ce projet, porté par Laure Dayet et Matthieu Lebon, a été accepté en 2021 pour une première année. Il est, dans un premier temps, centré sur la Dordogne et le Lot. Nous avons continué d'épauler et d'accompagner nos collègues pour la mise en place de la gestion de la collection de références géologiques, pour l'utilisation des ressources documentaires et outils d'enregistrement, pour la préparation des échantillons.

## **ANR Color-Sources**

Le projet Color-Sources, porté par Matthieu Lebon, a été accepté dans la section CE27 "Culture, créations, patrimoine". L'objectif principal du projet est d'accompagner les études de provenances de matières colorantes à l'échelle nationale et internationale en renforçant et en mutualisant les outils, les protocoles et les méthodes nécessaires à la constitution de collections géologiques de référence, à l'interopérabilité des données collectées, à leur interprétation et à leur partage. Color-Sources est structuré par quatre axes qui définissent les tâches à réaliser (WP) et les outils méthodologiques devant être développés afin de lever les verrous identifiés :

- WP0 - coordination (M. Lebon et H. Salomon)
- WP1 - Développement de référentiels géologiques robustes (H. Salomon et L. Dayet)
- WP2 - Développement de protocoles d'acquisition et de traitement des données analytiques (M. Lebon et E. Chalmin, A. Blin),
- WP3 - Gestion des données et système d'information sur les sources de matières premières (I. Baly et C. Pignol)

Le projet démarre en janvier 2022 avec, pour EDyTeM, principalement des ressources humaines : une assistante ingénieure pour la préparation d'échantillons et un post-doctorat (en cours de recrutement) portant sur la chaîne évolutive, en particulier sur les caractéristiques perdues et acquises par les matières premières, que ces modifications soient induites par des manipulations anthropiques ou non.

## **Déploiement progressif vers l'international**

A la faveur de l'encadrement de la thèse de Giorgia Sardelli, la *Pigmentoθήque* est, dès le début de sa recherche doctorale, conçue pour être dédoublée et documentée de la même manière à EDyTeM et à l'université de Ferrara. C'est aussi à la faveur des départs en post-doctorat d'anciens étudiants que nous avons accompagnés ou encadrés durant leur thèse, que les liens se créent avec plusieurs institutions de recherche à l'étranger où les méthodes de la *Pigmentoθήque* prennent place et s'enrichissent au contact des collègues dont la culture scientifique n'est pas en tous points la même. Les travaux de recherche menés par Guilhem Mauran en Afrique du sud ont donné lieu, avec Tammy Hodgskiss et Elisabet Veliky à la création d'une lithothèque. Le projet de recherche de Claire Chanteraud permet

de renforcer les analyses géochimiques sur les matières de la *Pigmentotheque* avec des méthodes que nous n'avons pas encore utilisées (NAA, LA-ICP-MS) et largement déployées dans le laboratoire où elle effectue son post-doctorat (Université du Missouri, USA). De plus, elle met en place une lithothèque dans le Pays basque espagnol. Comme on a pu le voir, Claire continue de développer les outils de la *Pigmentotheque* et les exporte. Il devient ainsi nécessaire d'envisager une traduction des formulaires et des lexiques vers d'autres langues (anglais, espagnol, italien, allemand) pour partager nos ressources et celles de nos collègues de manière à les comparer. Ce point a récemment réémergé et nous réfléchissons aux possibilités de traduction. Enfin, le terrain de Chuchuwaya permet d'appréhender un site archéologique (intégré dans le projet de recherche porté par A. Quiles) dans un environnement minéral et culturel remarquablement riche, où les témoignages portés par les habitants concernent tant le site orné que les sites de matières premières exploitées. Ce terrain est amené à étendre les collaborations avec nos partenaires canadiens du fait de la nécessité de prospector plus largement au-delà des intérêts pour les communautés locales. De futures collaborations pourraient ainsi se mettre en place avec les universités locales de Vancouver.



## Références bibliographiques

- Aubry, Thierry. 2005. Étude de l'approvisionnement en matières premières lithiques d'ensembles archéologiques. *Pages 87–99 of : Actes du Colloque du GDR 1945 du CNRS : Comportements des hommes du Paléolithique moyen et supérieur en Europe : territoires et milieux*. ERAUL 111.
- Audouin-Rouzeau, F., & Plisson, H. 1982. Les ocres et leurs témoins au Paléolithique en France : enquête et expériences sur leur validité archéologique. *Cahiers du Centre de Recherches Préhistoriques*, **8**, 33–80.
- Bar-Yosef Mayer, D., Vandermeersch, Bernard, & Bar-Yosef, Ofer. 2009. Shells and ochre in Middle Paleolithic Qafzeh Cave, Israel : indications for modern behavior. *Journal of Human Evolution*, **56**(3), 307.
- Beauvais, Anicet. 1999. Geochemical balance of lateritization processes and climatic signatures in weathering profiles overlain by ferricretes in Central Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **63**(23), 3939–3957.
- Beauvais, Anicet, & Colin, F. 1993. Formation and transformation processes of iron duricrust systems in tropical humid environment. *Chemical Geology*, **106**, 77–101.
- Beck, Lucile, Salomon, HÉlène, Lahlil, Sophie, Lebon, Matthieu, Odin, Giliane P., Coquinot, Yvan, & Pichon, Laurent. 2012. Non-destructive provenance differentiation of prehistoric pigments by external PIXE. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B : Beam Interactions with Materials and Atoms*, **273**(Feb.), 173–177.
- Bertrand, L. 2007. Synchrotron imaging for archaeology, art history, conservation, and palaeontology. *Pages 97–114 of : Physical techniques in the study of art, archaeology and Cultural Heritage*, vol. 2. Elsevier.
- Billard, Cyrille, Bosquet, Dominique, Dreesen, Roland, Goemaere, Éric, Hamon, Caroline, Jadin, Ivan, Salomon, HÉlène, & Savary, Xavier. 2016. *About haematite. Procurement and transformation during Recent Prehistory / Acts of the international Round Table, 7-8/02/2013, Namur (Jambes)*. *Anthropologica et praehistorica*, vol. 125,126. Etudes et recherches archéologiques de l'Université de Liège (ERAUL), 143.
- Binford, Lewis Roberts. 1979. Organization and formation processes : looking at curated technologies. *Journal of anthropological research*, **35**(3), 255–273.
- Binford, Lewis Roberts. 1980. Willow smoke and dog's tails : hunter-gatherer settlement systems and archaeological site formation. *American Antiquity*, **45**(1), 4–20.

- Blot, Alain. 2002. Signification des ferruginisations des formations néoprotérozoïques du Nord-Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Comptes Rendus Geoscience*, **334**(12), 909–915.
- Blot, Alain. 2004. Caractérisation des chapeaux de fer en milieu latéritique cuirassé. *Comptes Rendus Geoscience*, **336**(16), 1473–1480.
- Bon, François. 2009. *Préhistoire. La fabrique de l'homme*. L'univers historique, Seuil, Paris.
- Bonneau, A., Pearce, D.G., & Pollard, A.M. 2012. A multi-technique characterization and provenance study of the pigments used in San rock art, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, **39**(2), 287–294.
- Bourdier, Camille. 2013. Rock art and social geography in the Upper Paleolithic. Contribution to the socio-cultural function of the Roc-aux-Sorciers rock-shelter (Angles-sur-l'Anglin, France) from the viewpoint of its sculpted frieze. *Journal of Anthropological Archaeology*, **32**, 368–382.
- Bressy, Céline, & Bintz, Pierre. 2002. Inventaire des ressources siliceuses et projet de mise en réseau des lithothèques du quart sud-est de la France. *Les industries lithiques taillées holocènes du bassin rhodanien : problèmes et actualités*, 69–77.
- Brooks, A.S., Yellen, J.E. and Potts, R., Behrensmeier, A.K., Deino, A.L., Leslie, D.E., Ambrose, S.H., Ferguson, J.R., d'Errico, F., Zipkin, A.M., Whittaker, S., Post, S., Veatch, E.G., Foecke, K., & Clark, J.B. 2018. Long-distance stone transport and pigment use in the earliest Middle Stone Age. *Science*, **360**(6384), 90–94.
- Bruder, R, Menut, D, & Detalle, V. 2007. Effects of LIBS measurement parameters on wall paintings pigments alteration and detection. *Pages 367–375 of : Lasers in the Conservation of Artworks*. Springer.
- Cabrera-Garrido, J. M. 1978. Les matériaux des peintures de la grotte d'Altamira. *Pages 1–9 of : Actes de la 5eme réunion internationale de l'ICOM*.
- Cartailhac, Émile, & Breuil, Henri. 1903. Les peintures préhistoriques de la grotte d'Altamira à Santillana (Espagne). *Comptes-rendus des séances de l'année - Académie des inscriptions et belles-lettres*, **47**(3), 256–264.
- Cavallo, Giovanni, Fontana, Federica, Gonzato, Federica, Guerreschi, Antonio, Riccardi, Maria Pia, Sardelli, Giorgia, & Zorzin, Roberto. 2017. Sourcing and processing of ochre during the late upper Palaeolithic at Tagliente rock-shelter (NE Italy) based on conventional X-ray powder diffraction analysis. *Archaeological and Anthropological Sciences*, **9**(5), 763–775.
- Cayeux, Lucien. 1909. *Les minerais de fer oolithique de France. Fascicule 2 : minerais de fer secondaire. études de gîtes minéraux de la France*. Ministère des travaux publics, Imprimerie nationale, Paris.
- Chalmin, Émilie. 2003 (nov.). *Caractérisations des oxydes de manganèse et usage des pigments noirs au Paléolithique supérieur*. phdthesis, Université de Marne-La-Vallée.

- Chalmin, Emilie, Schmitt, B, Chassin de Kergommeaux, Aurélie, CHANTERAUD, Claire, Soufi, Fayçal, & Salomon, Hélène. 2021. How to distinguish red coloring matter used in prehistoric time? The contribution of visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Color Research and Application*.
- Chanteraud, Claire. 2020 (sept.). *Provenance des matières colorantes dans le contexte des grottes ornées des Gorges de l'Ardèche. Stratégie d'approvisionnement et liens culturels au Paléolithique supérieur : le cas de la grotte aux Points (Aiguèze, Gard, France)*. phdthesis, Université Savoie Mont Blanc.
- Chassin de Kergommeaux, Aurélie, Salomon, Hélène, Monney, Julien, CHANTERAUD, Claire, Jean-Victor, Pradeau, Goemaere, Éric, Leduc, Thierry, & Chalmin, Emilie. 2021. Référencement géologique des ressources en matières colorantes entre l'Ardèche et le Gardon. Un outil pour appréhender les paysages vécus au cours du Paléolithique supérieur. *Ardèche archéologie*.
- Coquinot, Yvan, & Salomon, Hélène. 2013. Les “matériaux” ferrugineux géologiques et transformés. *In : Interdisciplinary thematic school of the CNRS ArFeMa, 9-14 juin 2013*.
- Cornell, R. M., & Schwertmann, U. 2003. *The iron oxides : structure, properties, reactions, occurrences and uses*. John Wiley & Sons.
- Cotte, Marine, Dumas, Paul, Taniguchi, Yoko, Checroun, Emilie, Walter, Philippe, & Susini, Jean. 2009. Recent applications and current trends in Cultural Heritage Science using synchrotron-based Fourier transform infrared micro-spectroscopy. *Comptes Rendus Physique*, **10**(7), 590–600.
- Couraud, Claude, & Laming-Emperaire, Annette. 1979. Les colorants. *Pages 159–171 of : Lascaux inconnu : XIIe supplément à Gallia Préhistoire*.
- Courty, Georges. 1902. Examen chimique de deux matières colorantes trouvées dans des stations préhistoriques du Périgord. *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris*, **3**(1), 840.
- Creagh, D.C., Kubik, M.E., & Sterns, M. 2007. On the feasibility of establishing the provenance of Australian Aboriginal artefacts using synchrotron radiation X-ray diffraction and proton-induced X-ray emission. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, **580**, 721–724.
- Cuenca-Solana, D., Gutiérrez-Zugasti, I., Ruiz-Redondo, A., Gonzalez-Morales, M. R., Setién, J., Ruiz-Martínez, E., Palacio-Pérez, E., de las Heras-Martin, C., & Prada-Freixedo, A. nd Lasheras-Corruchaga, J. A. 2016. Painting Altamira Cave? Shell tools for ochre-processing in the Upper Palaeolithic in northern Iberia. *Journal Archaeological Science*, **74**, 135–151.
- Damour, A. 1865. Sur la composition des Haches en pierre trouvées dans les monuments celtiques et chez les sauvages. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, **61**, 1–13.
- Darchuk, L., Tsybrii, Z., Worobiec, A., Vázquez, C., Palacios, O.M., Stefaniak, E.A., Gatto Rotondo, G., Sizov, F., & Van Grieken, R. 2010. Argentinean prehistoric pigments' study by combined SEM/EDX and molecular spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **75**(5), 1398–1402.

- David, B., Delannoy, J.-J., Mialanes, J., Clarkson, C., Petchey, F., Geneste, J.-M., Manne, T., Bird, M.I., Barker, B., Richards, T., Chalmin, E., & Castets, G. 2019. Dating painting events through by-products of ochre processing : Borologa 1 Rockshelter. *85*(1), 57–94.
- Dayet, L., Bourdonnec, F.-X. Le, Daniel, F., Porraz, G., & Texier, P.-J. 2015. Ochre Provenance and Procurement Strategies During The Middle Stone Age at Diepkloof Rock Shelter, South Africa. *Archaeometry*, **58**(5), 807–829.
- Dayet, L., Wurz, S., & Daniel, F. 2017. Ochre Resources, Behavioural Complexity and Regional Patterns in the Howiesons Poort : New Insights From Klasies River Main Site, South Africa. *Journal of African Archaeology*, **15**(1), 20–41.
- Dayet, Laure. 2012 (Dec). *Raw material, processing and function of ochre remains during the MSA : the case study of Diepkloof Rock Shelter in southern Africa*. Theses, Université Michel de Montaigne - Bordeaux III.
- de Lapparent, J. 1930. *Les bauxites de la France méridionale*. Imprimerie nationale, 211 p.
- de Mortillet, Gabriel, & de Mortillet, Adrien. 1910. *La Préhistoire. Origine et antiquité de l'Homme*. Bibliothèque des Sciences contemporaines, Schleicher Frères, Paris, 709 p.
- Delvigne, Vincent. 2016 (Feb.). *Georessources and techno cultural expressions in the South of the French Massif Central during the Upper Palaeolithic : determinism and choices*. Theses, Université de Bordeaux.
- Denayer, J., Pacyna, D., & F., Boulvain. 2011. *Le minerai de fer en Wallonie : cartographie, historique et géologie*. Ed. de la Région Wallonne.
- Denayer, Julien. 2016. Iron ores of Southern Belgium : much more than hematite. *Pages 39–49 of : Billard, Cyrille, Bosquet, Dominique, Dreesen, Rolland, Goemaere, Éric, Hamon, Caroline, Jadin, Ivan, Salomon, Hélène, & Savary, Xavier (eds), About haematite. Procurement and transformation during Recent Prehistory. Proceedings of the international Round Table, 7-8/02/2013, Namur (Jambes)*. *Anthropologica et Praehistorica*.
- Dreesen, Roland, Savary, Xavier, & Goemaere, Éric. 2016. Definition, classification and microfacies characteristics of oolitic ironstones, used in the manufacturing of red ochre-a comparative petrographical analysis of Palaeozoic samples from France, Belgium and Germany. *C. Billard et al*, 7–8.
- Dumas, Emilien. 1876. *Statistique géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du département du Gard*. Bertrand.
- Dunham, Robert J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional textures.
- d'Errico, Francesco, Salomon, Hélène, Vignaud, Colette, & Stringer, Chris. 2010. Pigments from the Middle Palaeolithic levels of Es-Skhal (Mount Carmel, Israel). *Journal of Archaeological Science*, **37**(12), 3099–3110.

- d'Errico, Francesco, Garcia Moreno, Renata, & Rifkin, Riian F. 2012. Technological, elemental and colorimetric analysis of an engraved ochre fragment from the Middle Stone Age levels of Klasies River Cave 1, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, **39**(4), 942–952.
- Eiselt, B. Sunday, Popelka-Filcoff, Rachel S., Darling, J. Andrew, & Glascock, Michael D. 2011. Hematite sources and archaeological ochres from Hohokam and O'odham sites in central Arizona : an experiment in type identification and characterization. *Journal of Archaeological Science*, **38**(11), 3019–3028.
- Evans, A. M. 1993. *Ore geology and industrial minerals an introduction*. UK, Blackwell Scientific Publications, 3d edition : 400 p.
- Fernandes, P., & Raynal, J.-P. 2006. Pétroarchéologie du silex : un retour aux sources. *Comptes rendus Palevol*, **5**, 829–837.
- Fernandes, Paul. 2012. *Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen*. PhD Thesis.
- Fernandes, Paul. 2015. PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes. *ADLFI. Archéologie de la France-Informations. une revue Gallia*.
- Fernandes, Paul, Raynal, Jean-Paul, Tallet, Pascal, Tuffery, Christophe, Piboule, Michel, Séronie-Vivien, Micheline, Séronie-Vivien, Marie-Roger, Turq, Alain, Morala, André, Affolter, Jehanne, *et al.* . 2013. A map and a database for flint-bearing formations in Southern France : A tool for Petroarchaeology. *PALEO. Revue d'archéologie préhistorique*, 219–228.
- Flick, H., & Nesbor, H. D. 1988. Der Vulkanismus in der Lahnmulde. *Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins*, **70**, 411–475.
- Flick, H., Nesbor, H. D., & Behnisch, R. 1990. Iron ore of the Lahn-Dill type formed by diagenetic seeping of pyroclastic sequences – a case study on the Schalstein section at Gänsberg (Weilburg). *Geologische Rundschau*, **79**(2), 401–415.
- Folk, Robert L. 1962. Spectral subdivision of limestone types.
- Galbrun, B., Baudin, F., Bassoullet, J. P., Depeche, F., Emmanuel, L., Lachkar, G., Renard, M., Riveline, J., Gabilly, J., Hantzpergue, P., Manivit, H., & Ruget, C. 1994. Stratigraphie intégrée du Toarcien stratotypique (coupes de Thouars et Airvault, Deux-Sèvres, France). *Geobios*, **27**, 575–595.
- Glavenchuk, A. V. 2012. The Use of Pigment Ochre at the Late Palaeolithic Site of Anetovka II. *Stratum Plus Journal*, **138**.
- Godelier, Maurice. 2009. *Au fondement des sociétés humaines : ce que nous apprend l'anthropologie*. Albin Michel.
- Goemaere, E., A., Katsch, Eschghi, I., & Dreesen, R. 2016. Geological record and depositional setting of Palaeozoic oolitic ironstones in Western Europa. *Pages 23–43 of : Billard, Cyrille, Bosquet, Dominique, Dreesen, Rolland, Goemaere, Éric, Hamon, Caroline, Jadin, Ivan, Salomon,*



- Hélène, & Savary, Xavier (eds), *About haematite. Procurement and transformation during Recent Prehistory. Proceedings of the international Round Table, 7-8/02/2013, Namur (Jambes)*, vol. 125. Anthropologica et Praehistorica, Bruxelles.
- Gould, R.A., & Saggers, S. 1985. Lithic procurement in Central Australia : a closer look at Binford's idea of embeddedness in archaeology. *American Antiquity*, **5**(1), 117–136.
- Gourdon-Platel, N., & Lambert, P. 1986. Microstructures et répartition de trois éléments majeurs (Fe, Al, Si) au sein des pisolites de fer nord-aquitains. *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, **10**(1), 5–22.
- Gourdon-Platel, N., Platel, J.-P., & Astruc, J.-G. 1996. Karst et mines en France et en Europe : gîtes, grottes-mines et géotechnique. *Karstologia*, **27**(1), 1–20.
- Gourdon-Platel, N., Platel, J.-P., & Astruc, J.-G. 2000. La Formation de Rouffignac, témoin d'une paléoaaltéritecuirassée intra-éocène en Périgord-Quercy. *Géologie de la France*, **1**, 65–67.
- Guendon, J.-L., & Parron, C. 1985. Les phénomènes karstiques dans les processus de la bauxitisation sur substrat carbonaté. Exemples des gisements du sud-est de la France. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **108**, 85–92.
- Henshilwood, Christopher S., d'Errico, Francesco, Van Niekerk, K. L., Coquinot, Yvan, Jacobs, Zenobia, Lauritzen, S. E., Menu, Michel, & García-Moreno, Renata. 2011. A 100,000-year-old ochre-processing workshop at Blombos Cave, South Africa. *Science*, **334**(6053), 219–222.
- Hernanz, A., Chang, J., Iriarte, M., Gavira-Vallejo, J. M., Balbin-Behrmann, R. De, Bueno-Ramirez, P., & Maroto-Valiente, A. 2016. Raman microscopy of hand stencils rock art from the Yabrai Mountain, Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Applied Physics A*, **7**, 1–8.
- Hodgskiss, Tammy, & Wadley, Lyne. 2017. How people used ochre at Rose Cottage Cave, South Africa : Sixty thousand years of evidence from the Middle Stone Age. *PloS one*, **12**(4), e0176317.
- Hovers, Erella, Ilani, Shimon, Bar-Yosef, Ofer, & Vandermeersch, Bernard. 2003. An early case of color symbolism : ochre use by modern humans in Qafzeh Cave. *Current anthropology*, **44**(4), 491–522.
- Hunt, Alexandria, Thomas, Paul, James, Daniel, David, Bruno, Geneste, Jean-Michel, Delannoy, Jean-Jacques, & Stuart, Barbara. 2016. The characterisation of pigments used in X-ray rock art at Dalakngalarr 1, central-western Arnhem Land. *Microchem. J.*, **126**(May), 524–529.
- Huntley, Jillian, Braud, Helen, Aubert, Maxime, & Morwood, Michael. 2014. The first Australian Synchrotron powder diffraction analysis of pigment from a Wandjina motif in the Kimberley, Western Australia. *Australian archaeology*, **78**, 33–38.
- Iriarte, E., Foyo, A., Sanchez, M.A., Tomillo, C., & Setien, J. 2009. The origin and geochemical characterization of red ochres from the Tito Bustillo and Monte Castillo caves, Northern Spain. *Archaeometry*, **51**(2), 231–251.
- James, R. E., & Ferris, F. G. 2004. Evidence for microbial-mediated iron oxidation at a neutrophilic groundwater spring. *Chemical Geology*, **212**(3-4), 301–311.

- Jébrak, M., & Marcoux, É. 2008. *Géologie des ressources minérales*. Ministère des ressources naturelles et de la faune, Québec, 668 p.
- Jezequel, Pierre, Wille, Guillaume, Beny, Claire, Delorme, Fabian, Jean-Prost, Veronique, Cottier, Roger, Breton, Jean, Dure, Frederic, & Desprie, Jacky. 2011. Characterization and origin of black and red Magdalenian pigments from Grottes de la Garenne (Vallée moyenne de la Creuse-France) : a mineralogical and geochemical approach of the study of prehistorical paintings. *Journal of Archaeological Science*, **38**(6), 1165–1172.
- Kholodov, V. N., Nedumov, R. I., & Golubovskaya, E. V. 2012. Facies Types of Sedimentary Iron Ore Deposits and Their Geochemical Features : Communication 1. Facies Groups of Sedimentary Ores, Their Lithology, and Genesis. *Lithology and Mineral Resources*, **47**(6), 447–472.
- Lartet, E., & Christy, H. 1865. *Reliquiae Aquitanicae, being contributions to the archaeology and palaeontology of Perigord and the adjoining provinces of Southern France*. William and Norgate, London, 506 p.
- Lofrumento, Cristiana, Ricci, Marilena, Bachechi, Luca, Feo, Denise De, & Castellucci, Emilio Mario. 2011. The first spectroscopic analysis of Ethiopian prehistoric rock painting. *J. Raman Spectrosc.*, **43**(6), 809–816.
- Lorblanchet, M, Labeau, M, & VERNET, J-L. 1988. Première étude des pigments des grottes ornées quercinoises. *Préhistoire Quercynoise*, 79–94.
- Lozet, J., & Mathieu, C. 2002. *Dictionnaire des sciences du sol*. Éditions TEC & DOC, Paris, 574 p.
- MacDonald, Brandi Lee, Fox, William, Dubreuil, Laure, Beddard, Jazmin, & Pidruczny, Alice. 2018. Iron oxide geochemistry in the Great Lakes Region (North America) : Implications for ochre provenance studies. *Journal of Archaeological Science : Reports*, **19**(June), 476–490.
- Mackay, A., & Welz, A. 2008. Engraved ochre from a middle stone age context at Klein Kliphuis in the Western Cape of South Africa. *Journal of Archaeological Science*, **35**(6), 1521–1532.
- Malainey, Mary E. 2010. *A consumer's guide to archaeological science : analytical techniques*. Springer Science & Business Media.
- Mathis, François, Bodu, Pierre, Dubreuil, Olivier, & Salomon, Hélène. 2014. PIXE identification of the provenance of ferruginous rocks used by Neanderthals. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B : Beam Interactions with Materials and Atoms*, **331**, 275–279.
- Menu, M, & Walter, Ph. 1992. Prehistoric cave painting PIXE analysis for the identification of paint "pots". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **64**, 547–552.
- Moissan, H. 1902a. Sur les matières colorantes des figures de la grotte de Font-de-Gaume. *C.R. Hebd. Seances Acad. Sci.*, 1539–1540.
- Moissan, H. 1903a. Sur une matière colorante des figures de la grotte de La Mouthe. *C.R. Hebd. Seances Acad. Sci.*, 144–146.

- Moissan, Henri. 1902b. Sur les matières colorantes des figures de la grotte de Font-de-Gaume. *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, **134**, 1539–1540.
- Moissan, Henri. 1903b. Sur une matière colorante des figures de la Grotte de la Mouthe. *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, **135**, 144–145.
- Mustoe, G. E. 1981. Bacterial oxidation of manganese and iron in a modern cold spring. *Geological Society of America Bulletin*, **92**(3), 147–153.
- Nesbor, H. D. 2007. Paläozoischer Vulkanismus im Lahn-Dill-Gebiet – südöstliches Rheinisches Schiefergebirge (Exkursion E am 12. April 2007). *Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins*, 93–216.
- Nicolas, J. 1968. Nouvelles données sur la genèse des bauxites à mur karstiques du Sud-Est de la France. Leur origine latéritique, leur transport et leur dépôt en milieu aqueux sous forme de bauxite déjà constituée. *Mineralium Deposita*, **3**, 18–33.
- O'Neill, P., Creagh, Dudley, & Sterns, Meta. 2004. Studies of the composition of pigments used traditionally in Australian Aboriginal bark paintings. *Radiation Physics and Chemistry*, **71**(3), 841–842.
- Onoratini, Gérard. 2002. Diversité minérale et origine des matériaux colorants utilisés dès le Paléolithique supérieur en Provence. *Bulletin du Musée d'Histoire Naturelle de Marseille*, **45**.
- Pavia, G., Corbin, L., Defaveri, A., Maerten, L., & Olivero, D. 1971. Laterite and bauxite formation). *Economic Geology*, **66**(7), 1070–1071.
- Pavia, G., Corbin, L., Defaveri, A., Maerten, L., & Olivero, D. 2002. La formation de l'oolithe ferrugineuse de Bayeux du Bajocien (Jurassique moyen) au lieu-dit "Les fours à chaux" entre Croisilles et les Moutiers-en-Cinglais (Calvados, NW France). *Geologie de la France*, **2**, 5–17.
- Pichon, L., Beck, Lucile, Walter, Ph, Moignard, B., & Guillou, Th. 2010. A new mapping acquisition and processing system for simultaneous PIXE-RBS analysis with external beam. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B : Beam Interactions with Materials and Atoms*, **268**(11-12), 2028–2033.
- Popelka-Filcoff, Rachel S., Miksa, Elizabeth J., Robertson, J. David, Glascock, Michael D., & Wallace, Henry. 2008. Elemental analysis and characterization of ochre sources from southern Arizona. *Journal of Archaeological Science*, **35**(3), 752–762.
- Popelka-Filcoff, Rachel S., Lenehan, Claire E., Glascock, Michael D., Bennett, John W., Stopic, Attila, Quinton, Jamie S., Pring, Allan, & Walshe, Keryn. 2012. Evaluation of relative comparator and k<sub>0</sub>-NAA for characterization of Aboriginal Australian ochre. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **291**(1), 19–24.
- Popelka-Filcoff, R.S., & Charrison, E. 2012. Chemical archaeology : On the trail of aboriginal ochre. *Chemistry in Australia*, **20**.

- Pradeau, J.-V. 2015 (June). *Les matières colorantes au sein des systèmes techniques et symboliques au Néolithique (VIe et Ve millénaires BCE) dans l'arc liguro-provençal*. phdthesis, Sociologie, Université Nice Sophia Antipolis.
- Pradeau, Jean-Victor, Salomon, Hélène, Bon, François, Mensan, Romain, Lejay, Mathieu, & Regert, Martine. 2014. Les matières colorantes sur le site aurignacien de plein air de Régismont-le-Haut (Poilhes, Hérault). *Bulletin de la Société préhistorique française*, **111**(4), 631–658.
- Pradeau, Jean-Victor, Binder, Didier, Verati, Chrystele, Lardeaux, Jean-Marc, Dubernet, Stephan, Le-frais, Yannick, & Regert, Martine. 2016. Procurement strategies of Neolithic colouring materials : Territoriality and networks from 6th to 5th millennia in North-Western Mediterranean. *Journal of Archaeological Science*, **71**(July), 10–23.
- Préat, A., Mamet, B., Bernard, A., & Gillan, D. 1999. Bacterial mediation, red matrices diagenesis, Devonian, Montagne Noire (southern France). *Sedimentary Geology*, **126**, 223–242.
- Quinif, Y. 1993. Les phénomènes karstiques en Calectienne. *De la Meuse à l'Ardenne*, **16**, 55–75.
- Reiche, Ina, & Chalmin, Emilie. 2013. *Synchrotron Methods : Color in Paints and Minerals*.
- Resano, M., Pérez-Arantegui, J., Garcia-Ruiz, E., & Vanhaecke, Frank. 2005. Laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry for the fast and direct characterization of antique glazed ceramics. *J. Anal. At. Spectrom.*, **20**(6), 508.
- Rifkin, Riaan F. 2012. Processing ochre in the Middle Stone Age : Testing the inference of prehistoric behaviours from actualistically derived experimental data. *Journal of Anthropological Archaeology*, **31**(2), 174–195.
- Rivière, E. 1887. *Paleoethnologie. De l'antiquité de l'Homme dans les Alpes maritimes*. J.-B. Baillière & Fils Editeurs, Paris, 82 p.
- Robb, L. J. 2005. *Introduction to ore-forming processes*. Blackwell Pub, Malden, MA, 373 p.
- Rosenthal, P. 1991. Les minerais de fer de France-Comté. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle du Doubs*, 25–62.
- Rosina, P, Gomes, H, Collado, H, Nicoli, M, Volpe, L, & Vaccaro, C. 2018. Micro-Raman spectroscopy for the characterization of rock-art pigments from Abrigo del Águila (Badajoz–Spain). *Optics & Laser Technology*, **102**, 274–281.
- Rossi, Magali, & Gasquet, Dominique. 2014. Panorama géologique des exploitations minières dans les Alpes françaises. *Collection EDYTEM. Cahiers de géographie*, **17**(1), 23–40.
- Rosso, Daniela Eugenia, dtextquotesingleErrico, Francesco, & Zilhão, João. 2014. Stratigraphic and spatial distribution of ochre and ochre processing tools at Porc-Epic Cave, Dire Dawa, Ethiopia. *Quaternary International*, **343**(Sept.), 85–99.
- Rouhtier, P. 1963. *Les gisements métallifères*. Éd. Masson, Paris, 1282 p.

- Sajó, I.E., Kovács, J., Fitzsimmons, K. E., Jáger, V., Lengyel, G., Viola, B., Talamo, S., & Hublin, J. J. 2015. Core-Shell processing of natural pigment : upper Palaeolithic red ochre from Lovas, Hungary. *PloS one*, **10**(7), e0131762.
- Salomon, Hélène. 2009 (Dec.). *Les matières colorantes au début du Paléolithique supérieur : sources, transformations et fonctions*. phdthesis, Université Bordeaux 1.
- Salomon, Hélène. 2019. Les matières colorantes. *Pages 213–258 of* : Julien, Michèle, David, Francine, Girard, Michel, & Roblin-Jouve, Annie (eds), *Le Châtelperronien de la grotte du Renne (Arcy-sur-Cure, Yonne, France). Les fouilles d'André Leroi-Gourhan (1949-1963)*. PALÉO, Numéro spécial. Musée National de la Préhistoire.
- Salomon, Hélène, Coquinot, Yvan, Beck, Lucile, Vignaud, Colette, Lebon, Matthieu, Odin, Giliane P, Mathis, François, & Julien, Michèle. 2014. Stratégies spécialisées d'acquisition de pigments rouges durant le Châtelperronien de la grotte du Renne à Arcy-sur-Cure (Yonne, France). *Pages 125–133 of* : Paillet, Patrick (ed), *Les arts de la Préhistoire : micro-analyses, mises en contextes et conservation* ». *Ouvrage collectif de synthèse du programme ANR MADAPCA 2007-2012*. PALÉO, no. Numéro spécial. Paris : Musée national de la Préhistoire.
- Salomon, Hélène, Goemaere, Éric, Billard, Cyrille, Dreesen, Roland, Bosquet, Dominique, Hamon, Caroline, & Jadin, Ivan. 2016. Analyse critique du protocole de caractérisation des hématites oolithiques mis en place dans le cadre du projet collectif de recherche sur l'origine des hématites oolithiques exploitées durant la Préhistoire récente entre l'Eifel (DE) et la Normandie (FR). *Anthropologica et Præhistorica*.
- Salomon, Hélène, CHANTERAUD, Claire, Chassin de Kergommeaux, Aurélie, Monney, Julien, Pradeau, Jean-Victor, & Chalmin, Emilie. 2021. A Geological Collection and Methodology for Tracing the Provenance of Palaeolithic Colouring Matter. *Journal of lithic studies*.
- Salomon, J.-N., & Pomel, S. 2005. Karst et mines. Accumulations et gisements de fer dans les terrains karstiques : exemple du Périgord et du Jura Franconnien. *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, **23**, 11–20.
- Scadding, Rachel, Winton, Vicky, & Brown, Vivienne. 2015. An LA-ICP-MS trace element classification of ochres in the Weld Range environ, Mid West region, Western Australia. *Journal of Archaeological Science*, **54**(Feb.), 300–312.
- Simon-Coinçon, R., Thiry, M., & Quesnel, F. 2000. Paléopaysages et paléoenvironnements sidérolithiques du Nord du Massif central (France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, **330**(10), 693–700.
- Smith, MA, & Pell, S. 1997. Oxygen-isotope ratios in quartz as indicators of the provenance of archaeological ochres. *Journal of archaeological science*, **24**(9), 773–778.
- Stanton, R.L. 1972. *Ore Petrology*. McGraw-Hill, 771 p.
- Thelemann, M., Bebermeier, W., Hoelzmann, P., & Lehnhardt, E. 2017. Bog iron ore as a resource for prehistoric iron production in Central Europe — A case study of the Widawa catchment area in eastern Silesia, Poland. *CATENA*, **149**, 474–490.



- Thiry, M., Quesnel, F., Yans, J., Wyns, R., Vergari, A., Théveniaut, H., Simon-Coninçon, R., Ricordel, C., Moreau, M.-G., Giot, D., Dupuis, C., Bruxelles, L., Barabrand, J., & Baele, J.-M. 2006. Continental France and Belgium during the Early Cretaceous : paleoweatherings and paleolandforms. *Bulletin de la société géologique de France*, **177**(3), 155–175.
- Tomasso, Antonin, Binder, Didier, Martino, Gabriele, Porraz, Guillaume, Simon, Patrick, & Naudinot, Nicolas. 2013. Ressources lithiques, productions et transferts entre Alpes et Méditerranée.
- Triat, Jean-Marie. 2010. *Les ocres*. CNRS Éditions, Paris, 198 p.
- Tromeur, R. 1998. *L'ocre, exactement*. Cahiers Terres et Couleurs Editeurs, 24 p.
- Valeton, I. 1996. *Bauxites*. Elsevier, Amsterdam, 226 p.
- Velliky, E. C., Porr, M., & Conard, N. J. 2018. Ochre and pigment use at Hohle Fels cave : Results of the first systematic review of ochre and ochre-related artefacts from the Upper Palaeolithic in Germany. *PloS one*, **13**(12), e0209874.
- Vinchon, C. 1984. *Sédimentogenèse et métallogenèse du Permien du Dôme du Barrot : Alpes-Maritimes, France*. Edition du Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans, 445 p.
- Wadley, Lyne. 2013. Recognizing complex cognition through innovative technology in Stone Age and Palaeolithic sites. *Cambridge Archaeological Journal*, **23**(2), 163.
- Waterlot, G., Beugnies, A., & Bintz, J. 1973. *Ardenne - Luxembourg. Guides géologiques régionaux*. Masson, Paris, 206 p.
- Watts, Ian. 2002. Ochre in the Middle Stone Age of southern Africa : ritualised display or hide preservative ? *The South African Archaeological Bulletin*, 1–4.
- Weinstein-Evron, M., & Ilani, S. 1994. Provenance of ochre in the Natufian layers of el-Wad Cave, Mount Carmel, Israel. *Journal of Archaeological Science*, **21**, 461–467.
- Widdowson, M. 2007. Geochemical Sediments and Landscapes. *Pages 45–94 of : Nash, D.J., & McLaren, S.J. (eds), Geochemical Sediments and Landscapes*. Wiley-Blackwell.
- Wilson, L., & Pollard, A. M. 2008. *Handbook of Archaeological Sciences*. London Wiley.
- Wreschner, E.E. 2002. Red ochre and human evolution : a case for discussion [and comments and reply]. *Current Anthropology*, **21**(5), 631–644.
- Zipkin, Andrew M, Ambrose, Stanley H, Hanchar, John M, Piccoli, Philip M., Brooks, Alison S., & Anthony, Elizabeth Y. 2017. Elemental fingerprinting of Kenya Rift Valley ochre deposits for provenance studies of rock art and archaeological pigments. *Quaternary International*, **430**, 42–59.



## **Partie 11**

### **ANNEXES**



## ANNEXE 1 – Fiche terrain et lexique adaptés à la *Pigmentotheque*

Hélène SALOMON, Aurélie CHASSIN DE KERGOMMEAUX, Emilie CHALMIN, Claire CHANTE-RAUD, Magali ROSSI, Dominique GASQUET, Eric GOEMAERE, Jean-Victor PRADEAU, Paul FERNANDES, Vincent DELVIGNE, Jean-Paul PIBOULE, Mathilde WAYMEL

Nous reprenons ici le descriptif de la fiche de terrain mise au point par le *Réseau des lithothèques* avec les champs et le détail des descripteurs. L'essentiel de l'architecture est conservé.

### Lexique des valeurs pour la table des gîtes (récolement / terrain)

#### 1. Point

##### 1.1. num\_gite = Numéro définitif du gîte (PIG)

(champ numérique entier) numéro unique renseigné par l'administrateur ; c'est le numéro définitif **à ne pas remplir**

##### 1.2. num\_terr = Numéro de terrain ou numéro d'inventaire dans la lithothèque s'il est différent du numéro définitif du gîte

(champ alphanumérique) numéro unique de terrain qui sera complété à l'enregistrement avec le numéro définitif du gîte, numéro unique dans la lithothèque

p. ex. Baux01

ou renseigner le numéro d'inventaire dans la lithothèque étudiée, que cette lithothèque soit physiquement intégrée ou non à une pigmentothèque (ce sera le cas lors de la prise en compte de collections conservées dans d'autres institutions).

p. ex. numéro d'inventaire des matières riches en fer conservées dans la lithothèque de l'ENS de Lyon.

##### 1.3. date\_coll = Date de la collecte

date du prélèvement de l'échantillon (champ date) au format XX/XX/XXXX ; inconnu

p. ex. 21/02/2018

##### 1.4. heure\_coll = Heure de la collecte

(champ heure) heure du prélèvement de l'échantillon (champ heure) au format XXXX ; inconnu



### 1.5. **meteo = Météo**

(champ texte) il est important de documenter les conditions de la collecte pour apprécier la qualité des données collectées, en particulier pour leur précision, pour estimer le rendu, la visibilité, la perception de la couleur ...

p. ex. couvert, variable, pluie torrentielle, grand beau, etc.

### 1.6. **aut1\_coll = Auteur-e-s de la collecte**

(choix multiple) Prénom + Nom ; inconnu

p. ex. Emilie Chalmin

### 1.8. **comm\_aut = Commentaires / Auteur-e-s de la collecte**

pour ajouter autant de personnes que nécessaire

## 2. Fiche

Sur la fiche papier de terrain, seule figure l'information du programme de la collecte.

### 2.1. **date\_fiche = Date de création de la fiche**

(champ date) au format XX/XX/XXXX

p. ex. 21/02/2018

### 2.2. **aut\_fiche = Auteur-e de la fiche**

(choix multiple) Prénom + Nom

p. ex. Hélène Salomon

### 2.3. **date\_modif = Date de modification de la fiche**

(champ date) au format XX/XX/XXXX ; non modifiée

p. ex. 23/02/2019

### 2.4. **aut1\_modif = Auteur-e 1 de la modification de la fiche**

(choix multiple) ; non modifiée Prénom + Nom p. ex. Emilie Chalmin

### 2.5. **contexte\_f = Contexte de la fiche**

Contexte de réalisation de la fiche (liste fermée) terrain ; inventaire de lithothèques ; autre (à préciser)

### 2.6. **progr\_coll = Programme de la collecte**

(liste fermée) programme dans lequel la collecte a été effectuée ; Pigmentothèque ; Pigment-HO ; ; hors programme (préciser) ; inconnu

p. ex. hors programmeprospection personnelle

## 2.7. **nom\_litho** = Nom de la lithothèque

Lithothèque d'accueil des échantillons (fermée) nom entier de la lithothèque Pigment-HO ; Pigmentothèque ; Autre (préciser en commentaire)

p.ex. [Lithothèque du musée de l'Aven d'Ornac](#)

## 2.8. **adr\_litho** = Adresse de la lithothèque

Adresse postale de la lithothèque (champ alphanumérique) numéro, voie, commune, code postal, pays

p.ex. [27, bois des Coustilles, Laussonne, 43150, France](#)

## 2.9. **lieu\_stock** = Lieu de stockage précisement dans le lieu de stockage

(champ alphanumérique) renseigné a posteriori bâtiment, étage, salle, numéro d'armoire, de caisse, de tiroir...

## 2.10. **num\_lithot** = Numéro d'échantillon dans la lithothèque (si différent)

(champ alphanumérique) numéro d'inventaire dans la lithothèque étudiée (autre numéro renseigné dans la lithothèque), que cette lithothèque soit physiquement intégrée ou nom à une pigmentothèque

p. ex. [numéro d'inventaire des matières riches en fer conservées dans la lithothèque de l'ENS de Lyon.](#)

## 2.11. **comment\_f** = Commentaire sur la fiche

(champ alphanumérique)

## 3. Localisation

### 3.1. **pays\_gite** = Pays

Pays du gîte (liste fermée) nom du Pays

p. ex. [France](#)

### 3.2. **dep\_gite** = Département du gîte

(liste fermée) nom du département

p.ex. [Indre-et-Loire](#)

### 3.3. **commune\_g** = Commune du gîte

(champ texte) champ qui n'apparaît pas sur la fiche papier de terrain nom de la commune

p.ex. [Le Grand-Pressigny](#)

### 3.4. **code\_insee** = code insee de la commune

à utiliser plutôt que le code postal (vérifier *a posteriori*)

### 3.4bis. **code\_poste** = code postal du gîte

(champ numérique entier) code postal mieux que code postal. . .

p.ex. 74600

### 3.5. **lieu\_dit\_g** = Lieu-dit du gîte

(champ texte) nom du lieu-dit

p. ex. La Jarrie

### 3.6. **coord\_x\_g** = Coordonnée X du gîte

. Cette coordonnée est obtenue avec un GPS ou d'après les cartes. Avec l'application input, les coordonnées du point sont directement enregistrées dans ce champ(champ numérique à 6 décimales) latitude en degrés décimaux dans le système WGS84 ; non renseigné (si le champ « coordonnée X de la commune » est rempli)

### 3.7. **coord\_y\_g** = Coordonnée Y du gîte

. Cette coordonnée est obtenue avec un GPS ou d'après les cartes. Avec l'application input, les coordonnées du point sont directement enregistrées dans ce champ(champ numérique à 6 décimales) longitude en degrés décimaux dans le système WGS84 ; non renseigné (si le champ « coordonnée Y de la commune » est rempli)

### 3.8. **alt\_gite** = Altitude précise du gîte

(champ numérique entier) en mètres ; inconnu

### 3.9. **method\_gps** = Méthode GPS -méthode d'enregistrement de la position GPS

(liste fermée) concerne la précision du gps ou alors la méthode utilisée pour localiser le site (portable, gps, géoportail, infoterre. . .)Fonds de carte ; GPS de point ; GPS téléphone.

### 3.10. **coord\_x\_co** = Coordonnée X de la commune du gîte

Coordonnée en X du centroïde de la commune du gîte (champ numérique à 6 décimales) latitude en degrés décimaux dans le système WGS84, si la coordonnée précise en X du gîte n'est pas connue ; non renseigné (si le champ Coordonnée X du gîte est rempli)

### 3.11. **coord\_y\_co** = Coordonnée Y du centroïde de la commune du gîte

Coordonnée en Y du centroïde de la commune du gîte (champ numérique à 6 décimales) longitude en degrés décimaux, si la coordonnée précise en Y du gîte n'est pas connue ; non renseigné (si le champ coordonnée Y est rempli)

### 3.12. **com\_alt** = Commentaires

(champ texte) commentaires libres sur la localisation (précision gps, date de vérification, etc.)

p. ex. Validé en 2019 avec la carte IGN 1 :25 000e *Infoterre*

## 4. Géologie : Informations sur la géologie du gîte

### 4.1. **carte\_geol** = Carte géologique

Nom et numéro de la carte géologique :

(champ alphanumérique) NOM-DE-LA-CARTE numéro de la carte

p. ex. [PREUILLY-SUR-CLAISE\\_542](#)

### 4.2. **ere\_geol** = Ère géologique

Nom de l'ère géologique à laquelle appartient le gîte

(choix multiple) Cénozoïque ; Mésozoïque ; Paléozoïque ; Protérozoïque ; Archéen ; indéterminée, non observé ; autre (à préciser en commentaire).

### 4.3. **syst\_geol** = Système géologique

Nom du système stratigraphique, de la période (n'apparaît pas la version papier de la fiche)

(choix multiple) Quaternaire, Néogène, Paléogène ; Crétacé ; Jurassique ; Trias ; Permien ; Carbonifère ; Dévonien ; Silurien ; Ordovicien ; Cambrien ; Ediacarien ; Cryogénien ; Tonien ; Sténien ; Ectasien ; Calymmien ; Statherien ; Orosirien ; Rhyacien ; Sidérien ; Néoarchéen ; Mésoarchéen ; Paléoarchéen ; Eoarchéen ; Imbrien inférieur ; Nectarien ; Basin Groups ; Cryptique ; indéterminé ; non observé ; autre (à préciser en commentaire).

### 4.4. **serie\_geol** = Série géologique

Nom de l'époque ou de la série géologique à laquelle appartient le gîte

(choix multiple) Holocène ; Pléistocène ; Pliocène ; Miocène ; Mio-Pliocène ; Oligocène ; Eocène ; Paléocène ; Crétacé supérieur ; Crétacé inférieur ; Jurassique supérieur ; Jurassique moyen ; Jurassique inférieur ; Trias supérieur, Trias moyen ; Trias inférieur ; Lopingien, Guadeloupéen ; Cisuralien ; Pennsylvanien ; Mississippien ; Dévonien supérieur, Dévonien moyen ; Dévonien inférieur ; Pridoli, Ludlow, Wenlock, ; Llandovery ; Ordovicien supérieur, Ordovicien moyen ; Ordovicien inférieur ; Furonien, Miaolingien ; Série 2 ; Terreneuvien ; indéterminé ; non observé ; autre (à préciser en commentaire).

### 4.5. **etage\_geol** = Étage géologique

Nom de l'étage géologique auquel appartient le gîte

(choix multiple) Holocène ; Pleistocène supérieur ; Pleistocène moyen ; Pléistocène inférieur ; Gélasien ; Plaisancien ; Zancéen ; Messinien ; Tortonien ; Serravallien ; Langhien ; Burdigalien ; Aquitanien ; Chattien ; Rupélien ; Priabonien ; Bartonien ; Lutétien ; Yprésien ; Thanétien ; Sélandien ; Darnien ; Maastrichtien ; Campanien ; Santonien ; Coniacien ; Turonien ; Cénomaniens ; Albiens ; 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 ; Capitaniens ; Wordien ; Roadien ; Kungurien ; Artinskien ; Sakmarien ; Assélien ; Gzhélien ; Kasimovien ; Moscovien ; Bashkirien ; Serpukhovien ; Viséen ; Tournaisien ; Famennien ; Frasnien ; Givetien ; Eifelien ; Emsien ; Pragien ; Lochkovien ; Pridolien ; Ludfordien ; Gorstien ; Homerien ; Sheinwoodien ;

Télychien; Aéronien; Rhuddanien; Himantien; Ordovicien VI (Katien); Ordovicien V (Sandbien); Darriwilien; Ordovicien III (Dapingien); Arénig (Floien); Trémadocien; Cambrien (étage 10); Cambrien (étage 9, Jiangshanien); Cambrien (étage 8, Paibien); Cambrien (étage 7, Guzhangien); Cambrien (étage 6, Drumien); Cambrien (étage 5, Wuliuan); Cambrien (étage 4); Cambrien (étage 3); Cambrien (étage 2); Cambrien (étage 1, Fortunien); indéterminé; non observé; autre (à préciser en commentaire).

#### 4.6. **form\_geol** = Nom de la formation géologique

Formation à laquelle appartient le gîte

(champ alphanumérique) nom de la formation en toute lettre; inconnu; absent

p.ex. calcaire d'Estampe, grès de Fontainebleau, formation des Assions, e3 argiles à silex

#### 4.7. **determ\_age** = Détermination de l'âge

Précision concernant la méthode de détermination de l'âge du gîte

lecture de la carte géologique; observations de terrain

#### 4.8. **litho\_enc** = Lithologie de l'encaissant

(liste fermée) roche sédimentaire; roche d'altération; roche siliceuse; roche métamorphique; roche magmatique; indéterminé; non observé.

On documente ici l'encaissant de la matière ou de la formation prélevée si la matière colorante prélevée est incluse dans une autre roche

p. ex. : si l'on prélève le remplissage karstique = argiles ferrugineuses dans un calcaire urgonien, la lithologie de l'encaissant est donc sédimentaire : sélectionner "**sédimentaire**"; filon hydrothermal d'hématite dans une diorite, la lithologie de l'encaissant est donc plutonique : sélectionner "**magmatique**"; concrétions de sulfure de fer dans une craie, la lithologie de l'encaissant est donc sédimentaire : sélectionner "**sédimentaire**".

#### 4.9. **litho\_enc2** = Lithologie précise de l'encaissant

(choix multiple)

##### I- Roche sédimentaire :

1- détritique terrigène : composition (liste fermée + champ libre)

- a- conglomératique : poudingue; brèche
- b- grès; siltite; pelite; argilite; indéterminé
- c- non consolidé : blocs; graviers; sables; silts; argiles

2- biogène (liste fermée + champ libre)

- a- marnes
- b- calcaires : biogénique; oolithe; argileux; gréseux; recristallisé; craie; mudstone; packstone; wackstone; floatstone; grainstone; boundstone; autre calcaire (à préciser)
- c- BIF



d- indéterminé

3- (bio)chimique (à préciser)

4- autre roche sédimentaire (à préciser)

5- silicite : quartz ; silcrète ; jaspéroïde ; radiolarite ; sinter ; chert ; grès quartzitique ; autres (à préciser)

6- roche sédimentaire indéterminée ;

II **Roche et produit d'altération** : altérite ; ocre ; bauxite ; latérite ; terra rossa ; autre ; indéterminé.

III- **Roche magmatique** :

1- volcanique : rhyolite ; andésite ; trachyte ; dacite ; basalte ; phonolithe ; pyroclastite ; pouzzolane ; phonolithe ; ponce ; volcano-sédimentaire ; autre (à préciser) ; indéterminé

2- plutonique : granite ; monzonite ; diorite ; syénite ; granodiorite ; gabbro ; indéterminé ; autre (à préciser)

3- filon (à préciser)

IV- **Roche métamorphique** : schiste ; gneiss ; migmatite ; métasomatique ; marbre ; granulite ; serpentine ; roches imprégnées ; autre (à préciser) ; indéterminé

Documenter plus précisément la lithologie de l'encaissant.

p. ex. si l'on prélève le remplissage karstique = argiles ferrugineuses dans un calcaire urgonien, sélectionner "**calcaire**"; filon hydrothermal d'hématite dans une diorite, sélectionner "**diorite**"; concrétions de sulfure de fer dans une craie, sélectionner "**craie**").

#### 4.10 **compo\_sed** = Composition de la roche sédimentaire encaissante

(champ texte) décrire les spécificités de la roche sédimentaires.

p. ex. grès glauconieux, grès à ciment calcaire, poudingue à ciment calcaire et fragments de silex, grès micacé à ciment ferrugineux (goethitique), grès feldspathique (arkose), etc.

#### 4.11 **comm\_geol** = Commentaires sur la géologie

(champ texte)

p. ex. roches au mur et au toit

### 5 Gîte : caractéristiques du gîte

#### 5.1. **type1\_gite** = Position géologique

position géologique du gîte : (liste fermée) primaire ; subprimaire ; secondaire ; indéterminée

## 5.2. type2\_gite = Position géologique précise du gîte

### I- primaire : (liste fermée)

- 1- dépôt sédimentaire
- 2- filon : sill ; dyke ; chapeau de fer ; épontes
- 3- remplissage : de dépression ; de fractures ; de karst ; de faille  
Uniquement si les matières sont formées dans ces "pièges", sinon, elles sont secondaires :  
primaire = autochtone ; secondaire = allochtone
- 4- roche imprégnée
- 5- horizon altéré ; altérite
- 6- indéterminé ; autre (autre)

### II- subprimaire : (choix multiple)

- 1- colluvions : récentes ; anciennes ; indéterminées
- 2- alluvions : récentes ; anciennes ; indéterminées
- 3- indéterminé ; autre (préciser)

### III- secondaire : (choix multiple)

- 1- colluvions : récentes ; anciennes ; indéterminées
- 2- alluvions : récentes ; anciennes ; indéterminées
- 3- moraine
- 4- remplissage : de dépression ; de fractures ; de karst ; de faille  
Uniquement si les matières ont été déposées dans ces "pièges" : primaire = autochtone ;  
secondaire = allochtone
- 5- anthropique
- 6- non observé ; indéterminé ; autre (préciser) indéterminé ; autre (préciser)

## 5.3. type1\_affl = Contexte de la collecte

(liste fermée) gîte anthropisé ; gîte naturel ; indéterminé ; non observé.

Ici anthropisé qualifie un gîte, dont l'affleurement est modifié de manière évidente par des aménagements humains : creusements, constructions, agriculture, etc.

Et enfin, un gîte naturel n'existe pas vraiment, nous en convenons. Il s'agira de gîtes pour lesquels l'impact des activités humaines est négligeable sur la nature même de l'affleurement, comme p. ex. une falaise, une niche de décollement, un ravin, etc.

## 5.4. type2\_affl = Contexte précis de la collecte

(choix multiple)

### I- ouvert/fermé : (liste fermée)

II- **naturel** : plaine littorale ; région de montagne ; forêt ; plateau ; chablis ; clairière ; rivage ; versant végétalisé ; escarpement rocheux ; falaise ; abris sous roche ; cavité : porche ou intérieur ; niche de décollement ; éboulis ; cours d'eau : lit (majeur) ou berges ou zone d'inondation ; autre (préciser)

III- **anthropisé** : mine à ciel ouvert ou souterraine ; mine ancienne ou récente ; teruil ; rejet de réduction ; lentilles de scories ; carrière à ciel ouvert ou souterraine ; carrière ancienne ou récente ; front de taille ; remblais ; déblais ; épierrement ; empiérement ; élément d'architecture ; coupe artificielle : tranchée ou accotement ou fossé ou talus ; terrain agricole : prairie ou labour ou verger ou vigne ; chemin ; autre (préciser) /indéterminé

III- **indéterminé**

### 5.5. **pos\_prelev** = Position de récolte de l'échantillon

(choix multiple) dans l'affleurement ; au pied de l'affleurement ; non observé ; indéterminé

### 5.6. à 5.9. Dimension, nature et orientation de l'affleurement

#### 5.6. **larg\_affl** = Largeur de l'affleurement

(alphanumérique) mesure en mètre

#### 5.7. **haut\_affl** = Hauteur de l'affleurement

(alphanumérique) mesure en mètre

#### 5.8. **nature\_str** = nature de la structure visible

(liste fermée) faille ; filon ; stratification ; fracture ; schistosité ; diaclase ; autre (à préciser)

#### 5.9. **orient\_str** = orientation de la structure visible

(champ alphanumérique) mesure à la boussole direction du plan (° /Nord) et pendage (° + azimuth) ; indéterminé ; non observé.

#### 5.10. **comm\_affl** = Commentaire affleurement

(champ libre)

## 6. Échantillons

### 6.1. **litho\_roc** = Lithologie générale de la roche

(liste fermée) roche sédimentaire ; roche d'altération ; roche siliceuse ; roche métamorphique ; roche magmatique ; indéterminé ; non observé.

## 6.2 litho\_roc2 = Lithologie précise de la roche

(choix multiple)

### I- Roche sédimentaire :

- 1- détritique terrigène : composition (liste fermée + champ libre)
  - a- conglomératique : poudingue ; brèche
  - b- grès ; siltite ; pelite ; argilite ; indéterminé
  - c- non consolidé : blocs ; graviers ; sables ; silts ; argiles
- 2- biogène (liste fermée + champ libre)
  - a- marnes
  - b- calcaires : biogénique ; oolihitique ; argileux ; gréseux ; recristallisé ; craie ; mudstone ; packstone ; wackstone ; floatstone ; grainstone ; boundstone ; autre calcaire (à préciser)
  - c- BIF
  - d- indéterminé
- 3- (bio)chimique (à préciser)
- 4- autre roche sédimentaire (à préciser)
- 5- Éléments figurés ferrifères : fossiles ; oncoïdes ; pisolithes ; autres (préciser)
- 6- silicite : quartz ; silcrète ; jaspéroïde ; radiolarite ; sinter ; chert ; grès quartzitique ; autres (à préciser)
- 7- roche sédimentaire indéterminée ;

II **Roche et produit d'altération** : altérite ; ocre ; bauxite ; latérite ; terra rossa ; ferricrète ; concrétions ; encroûtements ; *hardground* ; rubéfaction ; ferruginisation ; autre ; indéterminé.

### III- Roche magmatique :

- 1- volcanique : rhyolite ; andésite ; trachyte ; dacite ; basalte ; phonolithe ; pyroclastite ; pouzzolane ; phonolithe ; ponce ; volcano-sédimentaire ; autre (à préciser) ; indéterminé
- 2- plutonique : granite ; monzonite ; diorite ; syénite ; granodiorite ; gabbro ; indéterminé ; autre (à préciser)
- 3- filon (à préciser)

IV- **Roche métamorphique** : schiste ; gneiss ; migmatite ; métasomatique ; marbre ; granulite ; serpentine ; roches imprégnées ; autre (à préciser) ; indéterminé

## 6.3. compo\_sed = Composition de la roche sédimentaire

(champ texte) décrire les spécificités de la roche sédimentaire. p. ex. grès glauconieux, grès à ciment calcaire, poudingue à ciment calcaire et fragments de silex, grès micacé à ciment ferrugineux (goethitique), etc.

#### **6.4. comm\_litho = Commentaire sur la lithologie de l'échantillon**

Si vous n'avez pas suffisamment exprimé vos observations

#### **6.5. cohes\_mat = cohésion de la matière**

(choix multiple) meuble, friable, plastique, cohésif, indéterminé.

#### **6.6. habitus = Habitus (champ libre)**

Morphologie de la formation (blocs séparés, banc, lits, lamination ...)

### **Dimension : dimension des blocs ou de la formation**

#### **6.7. nature\_f\_b = Nature de la source**

(liste fermée) bloc ; formation

##### **6.7.1. Si Bloc**

##### **6.7.1.1. b\_var\_dim = Variabilité dimensionnelle des blocs**

(choix multiple) homométrique ; hétérométrique ; inconnue

##### **6.7.1.2. b\_epai\_min = l'épaisseur minimale des épaisseurs des blocs**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)

##### **6.7.1.3. b\_epai\_max = l'épaisseur maximale des épaisseurs des blocs**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)

##### **6.7.1.4. b\_epai\_moy = l'épaisseur moyenne - Moyenne des épaisseurs des blocs**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)

##### **6.7.1.5. b\_dim\_min = la dimension caractéristique minimale - Dimension minimale des blocs**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)

##### **6.7.1.6. b\_dim\_max = la dimension caractéristique maximale des blocs**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)



**6.7.1.7.b dim\_moy = la dimension caractéristique moyenne des blocs**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)

**6.7.2. Si Formation****6.7.2.1. f\_var\_dim = Variabilité dimensionnelle de la formation**

(choix multiple) homométrique ; hétérométrique ; inconnue

**6.7.2.2. f\_epai\_min = l'épaisseur minimale de la formation**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)

**6.7.2.3. f\_epai\_max = l'épaisseur maximale de la formation**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)

**6.7.2.4. f\_epai\_moy = l'épaisseur moyenne de la formation**

(choix multiple) < 1 cm ; 1 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 50 cm ; 50 à 100 cm ; > 100 cm ;  
autre (à préciser dans les commentaires)

**6.8. descr\_vol = Description des volumes**

(choix multiple) homogène ; présence de fracturation ; échantillon géoliffracté ; présence de géodes ;  
autre (préciser)

**Echantillonnage : informations concernant l'échantillonnage****6.9. nb\_facies = Nombre d'échantillons ou faciès collectés**

(champ numérique entier)

**6.10. type\_coll = Type de collecte**

systématique ; sélective par classe de taille ; sélective par couleur ; sélective par type macroscopique ;  
autre sélection (préciser le critère).

**6.11. polarite = Polarité documentée sur l'échantillon**

oui ; non.

**7. Eléments associés : informations sur les documents et échantillons associés****7.1. fich\_descr = Existence d'une fiche descriptive**

oui ; non.

## 7.2. **num\_fdescr** = Numéro de la fiche descriptive existante

(champ alphanumérique); non renseigné (si la valeur de **fich\_descr** est "non")

## 7.3. **lien\_fiche** = Lien hypertexte vers la fiche descriptive

lien hypertexte créé par l'administrateur (si la valeur de **num\_fdescr** est différente de "non renseigné"); **à ne pas remplir**

## 7.4. **photo\_gite** = L'existence d'une photographie du gîte

oui, non

## 7.5. **lien\_ph\_g** = Le lien vers la photographie du gîte avec sa légende

lien hypertexte créé par l'administrateur (si la valeur de **photo\_gite** est différente de "non renseigné"); **à ne pas remplir**

## 7.6. **photo\_ech** = L'existence d'une photographie de l'échantillon

oui; non

## 7.7. **lien\_ph\_e** = Le lien vers la photographie de l'échantillon avec légende

lien hypertexte créé par l'administrateur (si la valeur de **photo\_ech** est différente de "non renseigné"); **à ne pas remplir**

## 7.8. **type\_ech** = Le type d'échantillon

bloc(s), éclat(s), talon(s), lames mince(s), poudre(s)

## 7.9. **exploitabl** = Données exploitables

oui; non

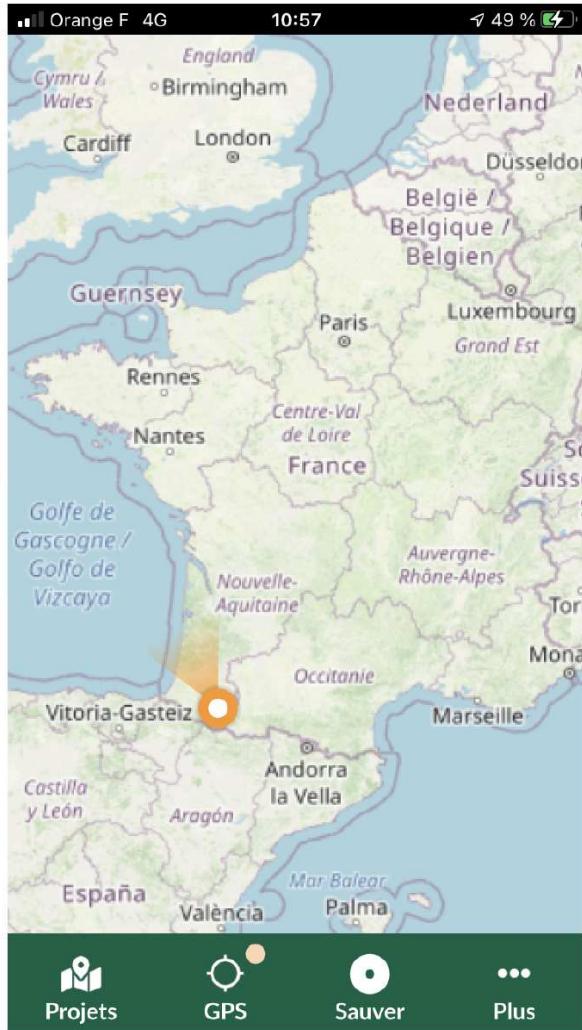
## 7.10. **comment, comment2** = Commentaires

(Champs alphanumériques) texte libre réparti dans 2 champs, 2\*254 caractères

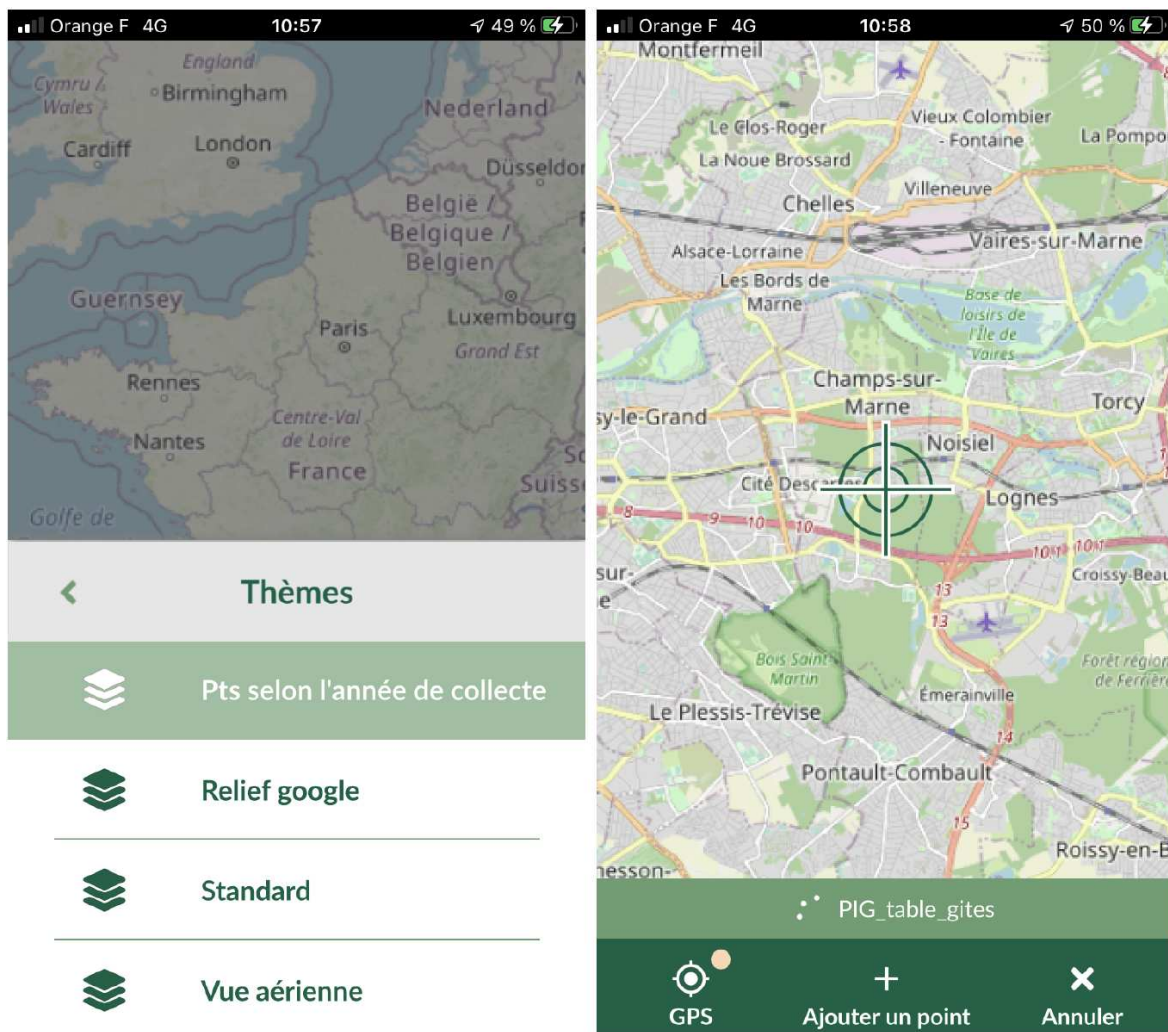
Figure 11.1 : Modèle de formulaire papier utilisé sur le terrain pour renseigner les gîtes et les échantillons de matières premières collectés. DAO A. Chassin de Kergonneaux

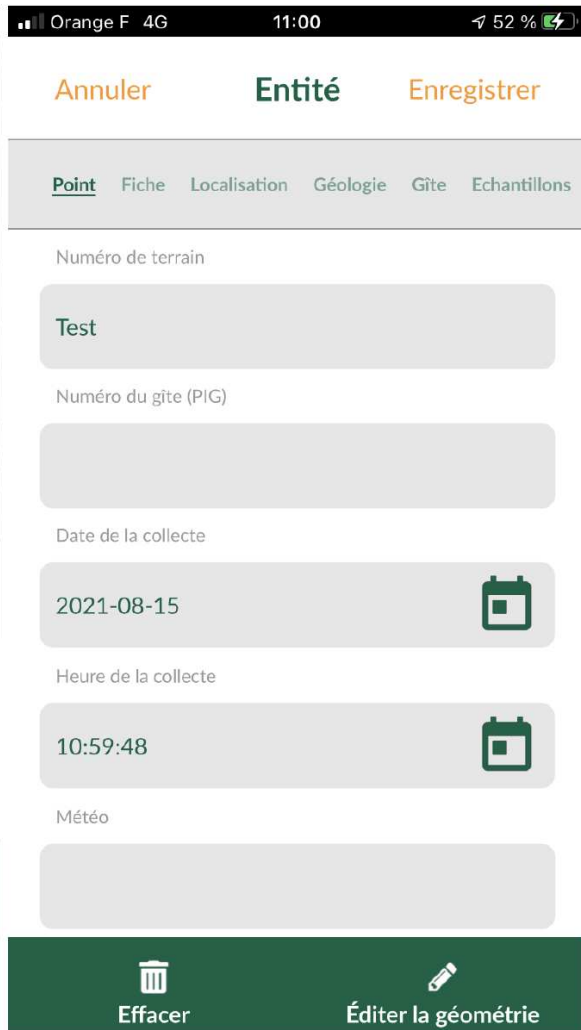
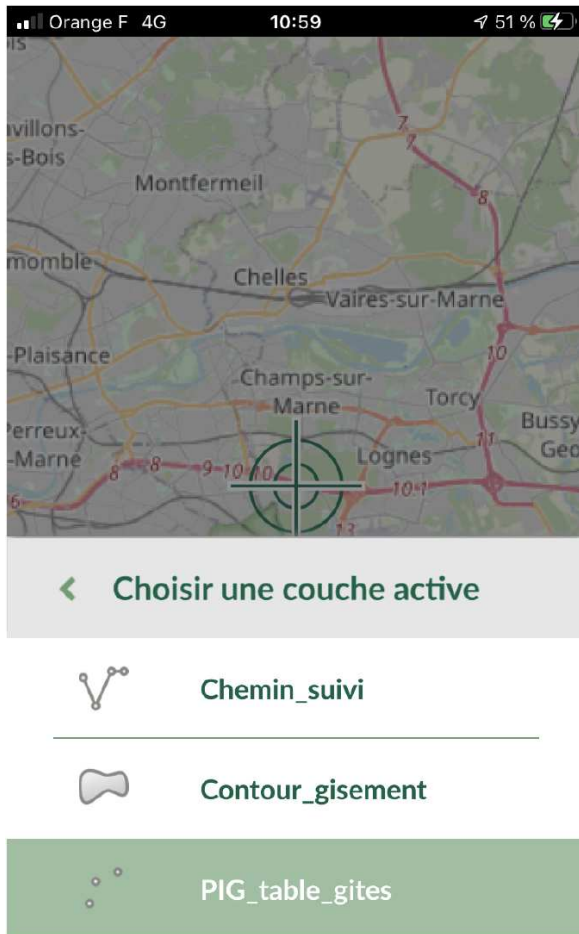
1b) n° de terrain	3) <b>localisation</b> : pays ..... département ..... commune ..... code postal ..... Lieu-dit .....	6f) <b>accessibilité</b> <input type="checkbox"/> sans restriction <input type="checkbox"/> propriété privée <input type="checkbox"/> accessibilité ponctuelle <input type="checkbox"/> accès dangereux
1c) date ...../...../.....	coordonnées GPS X ..... Y ..... alt. ....	6e) <b>site archéologique associé</b> <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
1e) <b>météo</b>		6g) <b>nb faciès</b> ..... <b>prélèvement</b> <input type="checkbox"/> sélectif <input type="checkbox"/> systématique
1f) <b>auteurs collecte</b>	2g) <b>prog. de collecte</b> méthode GPS (précision) .....	<b>polarité renseignée</b> <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
7d-e) <b>n° photos</b>		
1a) <b>n° de gîte PIG déf</b>	4a) <b>carte géologique</b> n° .....	
5c-d) <b>type de gîte</b> <input type="checkbox"/> <b>naturel</b> <input type="checkbox"/> <b>ouvert</b> <input type="checkbox"/> <b>fermé</b> <input type="checkbox"/> plaine littorale <input type="checkbox"/> montagne (reg°) <input type="checkbox"/> <b>anthropisé</b> <input type="checkbox"/> <b>indéterminé</b> <input type="checkbox"/> forêt <input type="checkbox"/> plateau <input type="checkbox"/> chablis <input type="checkbox"/> mine <input type="checkbox"/> ciel ouvert <input type="checkbox"/> coupe artificielle <input type="checkbox"/> tranchée <input type="checkbox"/> clairière <input type="checkbox"/> rivage <input type="checkbox"/> versant végétalisé <input type="checkbox"/> souterraine <input type="checkbox"/> ancienne <input type="checkbox"/> fossé <input type="checkbox"/> accotement <input type="checkbox"/> escarpement rocheux <input type="checkbox"/> talus <input type="checkbox"/> récent <input type="checkbox"/> récent <input type="checkbox"/> prairie <input type="checkbox"/> talus <input type="checkbox"/> falaise <input type="checkbox"/> terrain agricole <input type="checkbox"/> verger <input type="checkbox"/> abris sous roche <input type="checkbox"/> rejet de réduction <input type="checkbox"/> chemin <input type="checkbox"/> cavité <input type="checkbox"/> porche <input type="checkbox"/> lentilles de scories <input type="checkbox"/> carrière <input type="checkbox"/> ancienne <input type="checkbox"/> chemin <input type="checkbox"/> Ointérieur <input type="checkbox"/> récente <input type="checkbox"/> souterraine <input type="checkbox"/> autres .....		
5a-b) <b>position géologique</b> <input type="checkbox"/> <b>primaire</b> <input type="checkbox"/> <b>sub-primaire</b> <input type="checkbox"/> <b>indéterminé</b> <input type="checkbox"/> <b>secondaire</b> <input type="checkbox"/> dépôt sédimentaire <input type="checkbox"/> colluvions <input type="checkbox"/> colluvions <input type="checkbox"/> filon <input type="checkbox"/> sill <input type="checkbox"/> dyke <input type="checkbox"/> récentes <input type="checkbox"/> récentes <input type="checkbox"/> chapeau de fer <input type="checkbox"/> anciennes <input type="checkbox"/> anciennes <input type="checkbox"/> épontes <input type="checkbox"/> indét. <input type="checkbox"/> indéterminées <input type="checkbox"/> remplissage <input type="checkbox"/> alluvions <input type="checkbox"/> alluvions <input type="checkbox"/> O dépression <input type="checkbox"/> fract. <input type="checkbox"/> récentes <input type="checkbox"/> récentes <input type="checkbox"/> O karstique <input type="checkbox"/> failles <input type="checkbox"/> anciennes <input type="checkbox"/> anciennes <input type="checkbox"/> r. imprégnée <input type="checkbox"/> indét. <input type="checkbox"/> indéterminées <input type="checkbox"/> horizon altéré <input type="checkbox"/> indéterminé <input type="checkbox"/> moraine <input type="checkbox"/> altérite <input type="checkbox"/> autre : ..... <input type="checkbox"/> anthropique <input type="checkbox"/> indéterminé <input type="checkbox"/> autre : ..... <input type="checkbox"/> indéterminé <input type="checkbox"/> autre : .....		
5f-g) <b>dim° de l'affl'</b> largeur (m) ..... hauteur (m) .....		
6d) <b>caractère du gîte</b> en danger <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non épuisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		
5e) <b>posit° récolte</b> <input type="checkbox"/> dans l'affleurem' <input type="checkbox"/> aux pieds de l'affl' <input type="checkbox"/> incertain <input type="checkbox"/> autre ..... <input type="checkbox"/> indéterminé		
5h-i) <b>structure et orientation</b> <input type="checkbox"/> faille ..... <input type="checkbox"/> filon ..... <input type="checkbox"/> strati ..... <input type="checkbox"/> schistosité ..... <input type="checkbox"/> autre .....		
7j) <b>description affleurement + morpho des éch. + schéma</b>		
6a-b) <b>lithologie de la roche</b> <input type="checkbox"/> <b>sédimentaire</b> <input type="checkbox"/> <b>métamorphisme</b> <input type="checkbox"/> <b>magmatique</b> <input type="checkbox"/> <b>détritique</b> [composition .....] <input type="checkbox"/> schiste <input type="checkbox"/> <b>volcanique</b> <input type="checkbox"/> <b>plutonique</b> <input type="checkbox"/> conglomératique <input type="checkbox"/> gneiss <input type="checkbox"/> rhyolite <input type="checkbox"/> granite <input type="checkbox"/> Opoudingue <input type="checkbox"/> brèche <input type="checkbox"/> andésite <input type="checkbox"/> monzonite <input type="checkbox"/> grès <input type="checkbox"/> arkose <input type="checkbox"/> siltite <input type="checkbox"/> migmatite <input type="checkbox"/> trachyte <input type="checkbox"/> diorite <input type="checkbox"/> pélite <input type="checkbox"/> argilite <input type="checkbox"/> indét. <input type="checkbox"/> métasomatique <input type="checkbox"/> dacite <input type="checkbox"/> syénite <input type="checkbox"/> r. imprégnées <input type="checkbox"/> marbre <input type="checkbox"/> pyroclastite <input type="checkbox"/> gabbro <input type="checkbox"/> <b>non consolidé</b> ..... <input type="checkbox"/> granulite <input type="checkbox"/> pouzzolane <input type="checkbox"/> indéterminé <input type="checkbox"/> <b>biogène</b> <input type="checkbox"/> marnes <input type="checkbox"/> calcaires <input type="checkbox"/> altération <input type="checkbox"/> O biogénique <input type="checkbox"/> oolithique <input type="checkbox"/> altérite <input type="checkbox"/> O argileux <input type="checkbox"/> gréseux <input type="checkbox"/> Ocre <input type="checkbox"/> O recristallisé <input type="checkbox"/> craie <input type="checkbox"/> O bauxite <input type="checkbox"/> O mudstone <input type="checkbox"/> packstone <input type="checkbox"/> O latérite <input type="checkbox"/> O wackstone <input type="checkbox"/> floatstone <input type="checkbox"/> O terra rossa <input type="checkbox"/> O grainstone <input type="checkbox"/> boundstone <input type="checkbox"/> ferricrète <input type="checkbox"/> O indét. <input type="checkbox"/> autres ..... <input type="checkbox"/> fossiles <input type="checkbox"/> oncoïdes <input type="checkbox"/> concrétions <input type="checkbox"/> pisolithes <input type="checkbox"/> BIF <input type="checkbox"/> indét. <input type="checkbox"/> hardground <input type="checkbox"/> (bio)chimique <input type="checkbox"/> ferruginisat° <input type="checkbox"/> autre ..... <input type="checkbox"/> indéterminé <input type="checkbox"/> autre .....		
6c) <b>cohésion de la matière</b> : ..... 6d) <b>habitus de la mat.</b> : ..... 6e) <b>variabilité dim° des blocs</b> <1 cm   5-10 cm   20-50 cm   >100cm 1-5 cm   10-20 cm   50-100 cm <b>Épaisseur moy. des blocs/bancs</b> <1 cm   5-10 cm   20-50 cm   >100cm 1-5 cm   10-20 cm   50-100 cm <b>épaisseur min : ..... max : .....</b>		
4f) <b>nom de la formation</b> .....		
4b) ère .....      code formation sur carte .....		
4d) série .....      4e) étage .....		
4g) <b>détermination</b> : <input type="checkbox"/> observation de terrain <input type="checkbox"/> lecture de la carte		
4h-i) <b>lithologie de l'encaissant/substrat</b> (si présent) .....		

## **ANNEXE 2 – Application de terrain**









Orange F 4G 11:01 53 %

Annuler Entité Enregistrer

Point Fiche Localisation Géologie Gîte Echantillons

## Echantillonnage

Type d'échantillon

lame(s) mince(s)

Nombre de faciès/échantillons collectés

- 2 +

Type de collecte

sélective par couleur

Polarité documenté sur l'échantillon

Oui

Effacer Éditer la géométrie

Orange F 4G 11:00 52 %

RECHERCHER

- Trias Feature ID 6
- Permien Feature ID 7
- Carbonifère Feature ID 8
- Dévonien Feature ID 9
- Silurien Feature ID 10
- Ordovicien Feature ID 11
- Cambrien Feature ID 12
- Ediacarien Feature ID 13
- Cryogénien Feature ID 14



## **ANNEXE 3 – Formulaire de terrain sous QGIS**



123 ffd

Expression

- FIG\_0369
- FIG\_0370
- FIG\_0371
- FIG\_0372
- FIG\_0373
- FIG\_0374
- FIG\_0375
- FIG\_0376
- FIG\_0377
- FIG\_0378
- FIG\_0379
- FIG\_0380
- FIG\_0381
- FIG\_0382
- FIG\_0383
- FIG\_0384
- FIG\_0385
- FIG\_0386
- FIG\_0387
- FIG\_0388
- FIG\_0389
- FIG\_0390
- FIG\_0391
- FIG\_0392
- FIG\_0393
- FIG\_0393
- FIG\_0394

392 / 402

Magnifier toutes les entités.

FIG\_table\_gites — Total des entités: 402, Filtrées: 402, Sélectionnées: 1

Tout mettre à jour Mettre à jour la sélection

Numéro définitif du gîte (FIG) FIG\_0385

Point Fiche Localisation Géologie Gîte Echantillons Éléments associés

Numéro de terrain/ Numéro d'inventaire de lithothèque spot 57

Date de la collecte 15-05-2021

Heure de la collecte 11:12:51

Météo grand beau temps

Auteur 1 de la collecte

Commentaires / Auteurs supplémentaires

Aurélie Chassin de Kergommeaux  Autre collecteur  Claire Chanteraud

Emilie Chalmrin  Estelle Camizuli  Giorgia Sardelli

Héléne Salomon  Jean-Victor Fraudeau  Julien Momney

Laure Dayet  Matthieu Lebon  Xavier Gallet

Hervé Guéneau

123 ffd

Expression

133 ffd

PIG\_table\_gites — Total des entités: 402, Filtrées: 402, Sélectionnées: 1

133 ffd

392 / 402

Mntrer toutes les entités

Numéro définitif du gîte (PIG) PIG\_0385

Point Fiche Localisation Géologie Gîte Echantillons Éléments associés

Date de création de la fiche

15-09-2021

Auteur de la fiche

Date de modification de la fiche

Auteur\_1 de la modification de la fiche

Numéro d'échantillon dans la lithothèque (si différent)

Contexte de la fiche

Programme de la collecte

Nom de la lithothèque

Adresse de la lithothèque

Lieu de stockage précis

Commentaires éventuels sur la fiche

Commentaires sur le point

stratigraphie visible à droite de l'entrée de mine, permettant de voir les bancs supérieur du Barrémien, sous un calcaire bleuuté, on trouve un banc de lumachelles puis directement en dessous les premiers bancs de calcaire à entroques ferruginisés.

Autre collecteur  
 Aurélie Chassin de Kergommeaux  
 Claire Chanteraud  
 Estelle Camizuli  
 Emille Chalmir  
 Estelle Sardelli  
 Hélène Salomon  
 Jean-Victor Pradeau  
 Laure Dayet  
 Matthieu Lebon  
 Xavier Gallet

Autre collecteur  
 Aurélie Chassin de Kergommeaux  
 Claire Chanteraud  
 Emille Chalmir  
 Estelle Camizuli  
 Estelle Sardelli  
 Hélène Salomon  
 Jean-Victor Pradeau  
 Laure Dayet  
 Matthieu Lebon  
 Xavier Gallet

NULL  
 terrain  
 (Thèse)  
 Pimentothèque  
 laboratoire EDYTEM, pôle montagne, Boulevard de la Mer Caspienne, 73370 Le Bourget-du-Lac  
 bureau des docs  
 d'Auréli Chassin de Kergommeaux

PIG\_table\_gites — Total des entités: 402, Filtrées: 402, Sélectionnées: 1

123 ffd

Expression

Numéro définitif du gîte (PIG) PIG\_0385

Point Fiche Localisation Géologie Gîte Échantillons Éléments associés

Pays (France)

département du gîte Yonne

Commune du gîte Thoste

Code INSEE NULL

code postal NULL

Lieu-dit du gîte entrée de mine Beaugregard

Coordonnée X du gîte (à ne pas remplir) 4,24471

Coordonnée Y du gîte (à ne pas remplir) 47,43434

Altitude du gîte (mètres) 360

Méthode gps (GNSS viewer, 6 satellites)

Coordonnée X de la commune (si besoin) NULL

Coordonnée Y de la commune (si besoin) NULL

Commentaires NULL

stratigraphie visible à droite de l'entrée de mine, permettant de voir les bancs supérieur du Barrémien, sous un calcaire bleuuté, on trouve un banc de lumachelles puis directement en dessous les premiers bancs de calcaire à entroques ferruginisés.

Commentaires sur le point

392 / 402

Montrer toutes les entités

123 ffd

Expression

1392 / 402

Mettre à jour la sélection

Tout mettre à jour

PIG\_table\_gites — Total des entités: 402, Filtrées: 402, Sélectionnées: 1

Numéro définitif du gîte (PIG) PIG\_0385

Point Fiche Localisation Géologie Gîte Echantillons Éléments associés

Carte géologique

Ère géologique

Système géologique

Série géologique

Etage géologique

Norm de la formation géologique

Détermination de l'âge

Lithologie de l'encaissant

Lithologie précise de l'encaissant

compo\_sed\_enc

Commentaires

Commentaires sur le point

stratigraphie visible à droite de l'entrée de mine, permettant de voir les bancs supérieur du Barrémien, sous un calcaire bleuuté, on trouve un banc de lumachelles puis directement en dessous les premiers bancs de calcaire à entroques ferruginisés.

QUARRE-LES-T

Mésozoïque

Jurassique

autre (à préciser)  Cisolalien  Crétacé inférieur  Dévonien inférieur  Dévonien moyen  Eocène  Furongien  Indéterminé  Jurassique supérieur  Jurassique moyen  Aalénien  Albien  Aptien  Avénig (Floien)  Assélien  Aéronien  Anisien  Aquitainien  Artinskien  autre (à préciser)

Hettangien ferrugineux (Z-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer)

lecture de la carte géologique

observations de terrain

(pas de sélection)

(bi)chimique (à préciser)  altérite  andésite  argille  arkose  autre (à préciser)  autre calcaire (à préciser)  autre roche d'altération (à préciser)

NULL

NULL

Mntrer toutes les entités

123 ffd

Expression

392 / 402

Montrer toutes les entités

PIG\_table\_gites — Total des entités: 402, Filtrées: 402, Sélectionnées: 1

Tout mettre à jour Mettre à jour la sélection

Numéro définitif du gîte (PIG) PIG\_0385

Point Fiche Localisation Géologie Gîte Échantillons Éléments associés

position géologique  
position géologique précise  
Type d'affleurement général

Type d'affleurement précis

Position de récolte par rapport à l'affleurement

Largeur de l'affleurement (m)  
Hauteur de l'affleurement (m)

Nature de la structure visible

Orienteation de la structure visible

Commentaires

Commentaires sur le point

primaire  
dépôt sédimentaire  
environnement anthropisé

abri sous roche  
autre type de gîte (à préciser)  
carrière à ciel ouvert  
carrière souterraine  
chemin  
cordon marin  
éboulis

accotement  
bâtiment  
carrière ancienne  
chablis  
clairière  
coupe artificielle  
empierrement

autres (à préciser)  
aux pieds de l'affleurement  
dans l'affleurement  
incertain  
indéterminé

5 m  
2 m

aucune  
faille  
indéterminé  
stratification

subhorizontale  
stratigraphie en place à l'entrée de la mine

autre élément d'architecture (à préciser)  
berge de cours d'eau  
carrière récente  
champs  
construction  
déblais  
ENVIRONNEMENT ANTHROPISE

diacase  
fracture  
schistosité

autre (à préciser)  
filon  
non observé

stratigraphie visible à droite de l'entrée de mine, permettant de voir les bancs supérieur du Barrémien, sous un calcaire bleuuté, on trouve un banc de lumachelles puis directement en dessous les premiers bancs de calcaire à entroques ferruginisés.

123 ffd

Expression

PIG\_0364  
 PIG\_0365  
 PIG\_0366  
 PIG\_0367  
 PIG\_0368  
 PIG\_0369  
 PIG\_0370  
 PIG\_0371  
 PIG\_0372  
 PIG\_0373  
 PIG\_0374  
 PIG\_0375  
 PIG\_0376  
 PIG\_0377  
 PIG\_0378  
 PIG\_0379  
 PIG\_0380  
 PIG\_0381  
 PIG\_0382  
 PIG\_0383  
 PIG\_0384  
 PIG\_0385  
 PIG\_0386  
 PIG\_0387  
 PIG\_0388  
 PIG\_0389  
 PIG\_0390  
 PIG\_0391  
 PIG\_0392  
 PIG\_0393  
 PIG\_0394

PIG\_table\_gites — Total des entités: 402, Filtrées: 402, Sélectionnées: 1

Tout mettre à jour Mettre à jour la sélection

Point Fiche Localisation Géologie Gîte Echantillons Éléments associés

Lithologie de la roche  
 indéterminé  
 non observé  
 roche d'altération

Lithologie précise de la roche  
 biochimique à préciser  
 altérite  
 argille  
 argile  
 autre (à préciser)  
 autre calcaire (à préciser)  
 autre élément figuré ferrifère (à préciser)

Commentaire sur la lithologie de la roche  
 ferrugineux à entroques

Cohésion de la matière  
 cohésif  
 friable  
 meuble  
 non observé  
 plastique

Habitus  
 bancs

Dimensions

Nature de la source formation

Formation

Variabilité dimensionnelle de la formation homométrique  
 Epaisseur minimale de la formation <NULL>  
 Epaisseur maximale de la formation <NULL>  
 Epaisseur moyenne de la formation > 100 cm

Description des volumes  
 <NULL>

Gîte en danger ?  
 non

Gîte épuisé ?  
 non

Y a-t-il un site archéologique associé ?  
 non

Accessibilité du gîte  
 propriété privée

Echantillonnage

Nombre de faciès/échantillons collectés  
 8

Type de collecte  
 systématique

Polarité documentée sur l'échantillon

392 / 402

Mntrer toutes les entités



123 ffd

Expression

- FIG\_0242
- FIG\_0243
- FIG\_0244
- FIG\_0245
- FIG\_0246
- FIG\_0247
- FIG\_0248
- FIG\_0249
- FIG\_0250
- FIG\_0251
- FIG\_0252
- FIG\_0253
- FIG\_0254
- FIG\_0255
- FIG\_0256
- FIG\_0257
- FIG\_0258
- FIG\_0259
- FIG\_0260
- FIG\_0261
- FIG\_0262
- FIG\_0263
- FIG\_0264
- FIG\_0265
- FIG\_0266
- FIG\_0267
- FIG\_0268
- FIG\_0269
- FIG\_0270
- FIG\_0271
- FIG\_0272
- FIG\_0273
- FIG\_0274
- FIG\_0275
- FIG\_0276
- FIG\_0277

280 / 402

Montrer toutes les entités

FIG\_table\_gites — Total des entités: 402, Filtrées: 402, Sélectionnées: 1

Tout mettre à jour Mettre à jour la sélection

Lithologie de la roche

- roche magmatique
- roche métamorphique
- calcaire oolithique
- calcaire recristallisé
- chert
- craie
- diorite
- calcaires
- concrétions
- dactile
- indéterminé
- plastique

Lithologie précise de la roche

Commentaire sur la lithologie de la roche

NULL

Cohésion de la matière

- cohésif
- meuble
- non observé
- friable
- concrétion

Habitus

Dimensions

Nature de la source

bloc

Blocs

Variabilité dimensionnelle des blocs	hétérométrique
Épaisseur minimale des blocs	1 à 5 cm
Épaisseur maximale des blocs	10 à 20 cm
Épaisseur moyenne des blocs	1 à 5 cm
Dimension caractéristique minimale des blocs	<NULL>
Dimension caractéristique maximale des blocs	<NULL>
Dimension caractéristique moyenne des blocs	<NULL>

Description des volumes

présence de fracturation

Gîte en danger ?

non

Gîte épuisé ?

non

Y a-t-il un site archéologique associé ?

oui

Accessibilité du gîte

accessible sans restriction

Echantillonnage

Nombre de faciès/échantillons collectés

Type de collecte

systematique

Polarité documentée sur l'échantillon

123 ffd

Expression

- FIG\_0364
- FIG\_0365
- FIG\_0365
- FIG\_0366
- FIG\_0366
- FIG\_0367
- FIG\_0368
- FIG\_0369
- FIG\_0370
- FIG\_0371
- FIG\_0371
- FIG\_0372
- FIG\_0373
- FIG\_0374
- FIG\_0375
- FIG\_0376
- FIG\_0377
- FIG\_0378
- FIG\_0379
- FIG\_0380
- FIG\_0381
- FIG\_0382
- FIG\_0382
- FIG\_0383
- FIG\_0384
- FIG\_0384
- FIG\_0385
- FIG\_0386
- FIG\_0387
- FIG\_0388
- FIG\_0389
- FIG\_0390
- FIG\_0391
- FIG\_0392
- FIG\_0393
- FIG\_0393
- FIG\_0394

Point Fiche Localisation Géologie Gîte Echantillons Éléments associés

Tout mettre à jour Mettre à jour la sélection

Existence d'un fiche descriptive ?

Si oui, numéro de la fiche

Lien vers la fiche

Existence d'une photographie du gîte ?

Lien vers la photographie

Existence d'une photographie de l'échantillon ?

Lien vers la photographie de l'échantillon

Type d'échantillon produits

- autre
- bloc(s)
- éclat(s)
- lamel(s) mince(s)
- poudre(s)
- talon(s)

Données exploitables ?

Commentaires supplémentaires

392 / 402

Montrer toutes les entités



## ANNEXE 4 – Tutoriels

### 11.1 Atlas

1. Mise en page - Introduction - Tutos QGIS pour les forestiers Explique comment mettre en page une carte grâce à QGIS (première étape pour l’atlas)  
(<https://www.youtube.com/watch?v=VLjba1oD8w8>)
2. Export de plusieurs cartes via un atlas - Tutos QGIS pour les forestiers Explique comment générer un atlas (une fois que la mise en page générale est faite)  
(<https://www.youtube.com/watch?v=o9r4rSj986c>)
3. Présentation de l’atlas de la Pigmentoθήque - M. Waymel Précisions supplémentaires sur l’atlas déjà créé, comment le modifier, ... (tuto\_Atlas\_PIG.mp4)
4. Construction de la carte de l’atlas - M. Waymel Comment télécharger, ajouter et traiter les cartes géologiques du BRGM (tuto\_Atlas\_Geol.mp4)

### 11.2 Application de terrains

1. Relevés de terrain avec l’app *Input* et QGIS - Tutos QGIS pour les forestiers explique comment configurer l’application sur QGIS et l’utiliser sur téléphone  
(<https://www.youtube.com/watch?v=KeXn6fYbJCY>)
2. Présentation de l’application de la Pigmentoθήque - M. Waymel Précisions supplémentaires sur le formulaire de remplissage, l’application et le post-traitement sur l’ordinateur  
(tuto\_Appli\_PIG.mp4)

### 11.3 Projet vierge

Installation et adaptation du projet vierge - M. Waymel Explication pour installer le projet vierge et l’adapter (ajouter des propositions, instaurer des valeurs par défaut) (Install\_proj\_vierge.mp4)

<http://geoservices.brgm.fr/geologie>

<https://wxs.ign.fr/svnds6mivl7pr12ytn8aqxjj/geoportail/r/wms/> Attention, pour celui-là besoin d’un identifiant et d’un mot de passe spécifique au labo. Le demander à l’IGN si pas déjà obtenu

### 11.4 Projet bibliothèque

1. Présentation du projet « bibliothèque » - M. Waymel Description et explication pour rajouter des nouveaux points et des thèmes à la bibliothèque (tuto\_bibli.mp4)

2. Modifier les attributs des points déjà enregistrés - M. Waymel Comment modifier les valeurs des champs pour plusieurs points à la fois (modif\_points.mp4)
3. Quelques fonctionnalités utiles de QGIS - M. Waymel Description de quelques fonctionnalités de QGIS utiles (recherche de points par valeur des attributs, génération de la vue depuis un point, ...)

## **ANNEXE 5 – Atlas**



# Auxerre

## Carte géologique

### Département 89

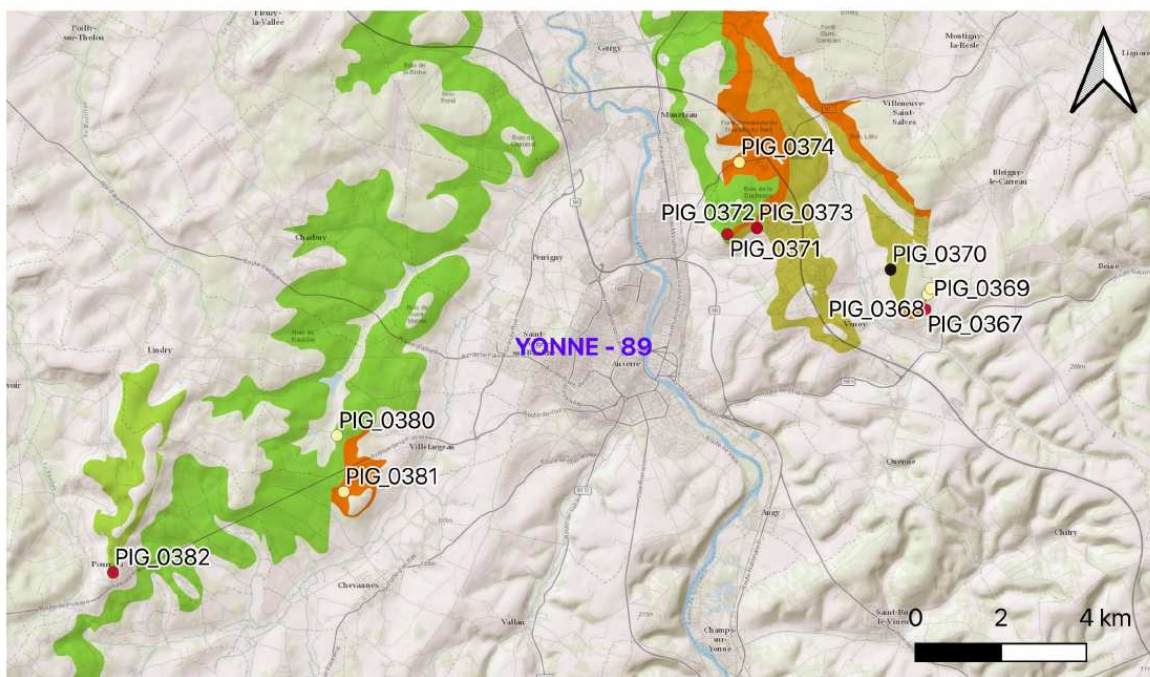
- c2b, Craie à Ammonites (Cénomanien supérieur) - 67
- n7a/c1a, Argiles de Myennes (Albien inférieur et moyen) - 71
- n5, Argiles (Aptien) - 73
- n4b, Barrémien supérieur : sables et argiles panachées - 74

### Légende

Départements

### Points de la Pigmentoθήque : type de gîte

- Primaire
- Secondaire
- Indéterminé



Num. du gîte	Commune	Lieu dit du gîte	Série géologique	Etage géologique	Lithologie de la roche
PIG_0367	Venoy	Château Saint-Anne	Crétacé inférieur	Barrémien	grès
PIG_0368	Venoy	Champs sud Château Sainte-	Crétacé inférieur	Barrémien	
PIG_0369	Venoy	champs nord Château Sainte-	Crétacé inférieur	Aptien	calcaire oolithique
PIG_0370	Venoy	Les Cailloux Noirs	Crétacé inférieur	Barrémien	argilite
PIG_0371	Auxerre	Tureau du Bar	Crétacé inférieur	Albien	sable
PIG_0372	Auxerre	Rue des Chaumes, Laborde	Crétacé inférieur	Aptien	argilite
PIG_0373	Auxerre	Rue des Chaumes, Laborde	Crétacé inférieur	Aptien	argilite
PIG_0374	Monéteau	Forêt domaniale du Bar de Tur	Crétacé inférieur	Aptien	concrétions
PIG_0380	Villefargeau	les Mazuriaux	indéterminé	indéterminé	grès
PIG_0381	Chevannes	l'étang Jussier	indéterminé	indéterminé	grès
PIG_0382	Pourrain	carrière d'ocre	Crétacé supérieur	Cénomanien	calcaire biogénique

# Avallon

## Carte géologique

### Département 89

- Fz, Alluvions modernes : graviers, sables, limons, etc - 7
- LP, Limons quaternaires loessiques, argilo-sableux, hydromorphes, à
- I4a, Calcaires et marnes à Bélémnites (Carixien) - 113
- I1-2, Formations de base: lumachelles (Hettangien) - 116
- Hydro, Hydro - 999

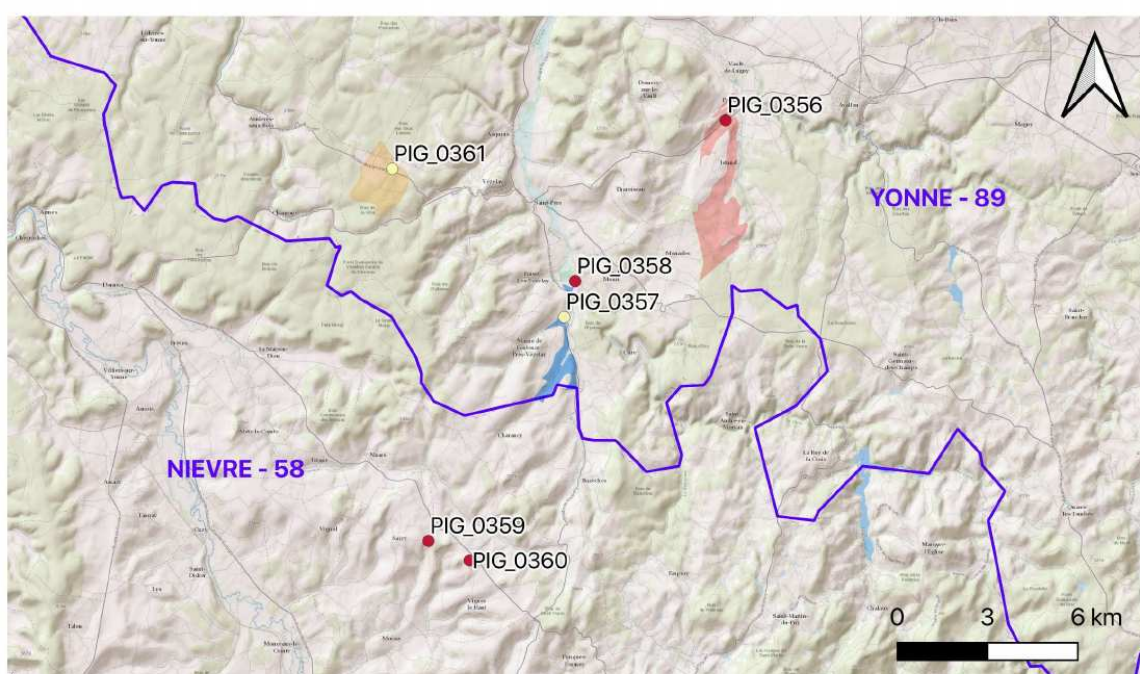
## Légende

Départements

Points de la Pigmentothèque : type de gîte

● Primaire

● Secondaire



Sources : PCR Pigmentothèque Edytem, BRGM, ESRI Topo, ESRI Shaded Relief

Num. du gîte	Commune	Lieu-dit du gîte	Série géologique	Etage géologique	Lithologie de la roche
PIG_0359	Saizy	Le Tartre	Jurassique moyen	Bajocien	calcaire biogénique
PIG_0360	Neuffontaines	Mont Sabot	Jurassique moyen	Bajocien	calcaire biogénique
PIG_0361	Vézelay	ferrier, Les Chênes, Bois de la	indéterminé	indéterminé	concrétions
PIG_0356	Pontaubert	fossé La Corvée	Jurassique inférieur	Hettangien	argile
PIG_0357	Pierre-Perthus	fossé et chemin Le Pontot	Jurassique inférieur	Sinemurien	calcaire biogénique
PIG_0358	Pierre-Perthus	Roche Percée	indéterminé	indéterminé	filonien

# Bazarnes

## Carte géologique

Département 89

- j8, Calcaires et marnes à *Exogyra virgula* (Kimméridgien moyen et supérieur)
- j7b, Calcaires à Astartes (ancien Séquanien : Kimméridgien inférieur)

### Légende

Départements

Points de la Pigmentothèque : type de gîte

- Primaire
- Secondaire



Sources : PCR Pigmentothèque Edytem, BRGM, ESRI Topo, ESRI Shaded Relief

Num. du gîte	Commune	Lieu-dit du gîte	Série géologique	Etage géologique	Lithologie de la roche
PIG_0348	Bazarnes	Champs entre le bois de l'Épin	Jurassique supérieur	Kimméridgien inférieur	calcaire biogénique
PIG_0349	Bazarnes	début du champs au niveau du	Jurassique supérieur	Kimméridgien inférieur	calcaire biogénique
PIG_0350	Bazarnes	chemin bois de la Cave	Jurassique supérieur	Kimméridgien inférieur	calcaire biogénique
PIG_0351	Bazarnes	début chemin bois de la Cave	Néogène	Mio-Pliocène	grès
PIG_0352	Vincelles	forêt de dessus Pommard	Néogène	Mio-Pliocène	grès
PIG_0353	Bazarnes	chemin entre la ferme de Mazi	Néogène	Mio-Pliocène	grès



# Bordezac

## Carte géologique

### Département 30

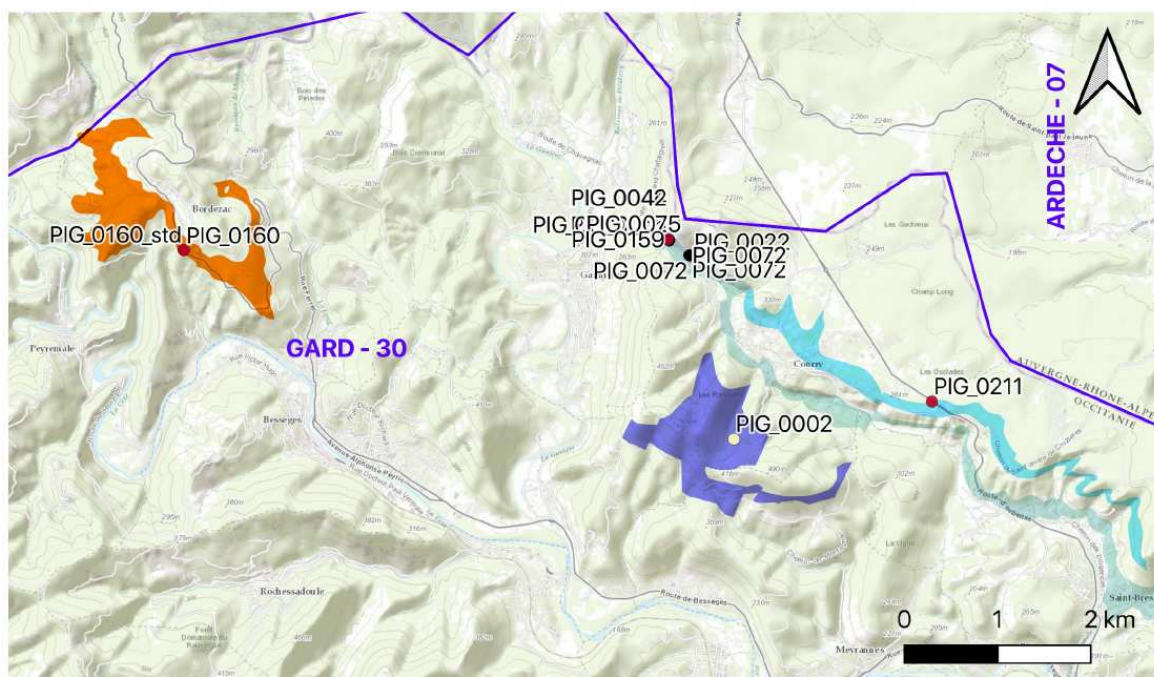
- j5sJ, "Calcaires et marnes : ""Couches de Joyeuse"" (Oxfordien sur
- j4im, Barre calcaire (Callovien inf. et Callovien moyen) - 248
- j4i, Marnes et calcaires (Callovien inf.) - 249
- l2iC, Calcaires argileux ( Sinémurien inf.) - 282
- t3-4, Ensemble gréseux inférieur : argiles, grès, conglomérat (Trias hydro, Hydrographie - 385

### Légende

Départements

#### Points de la Pigmentothèque : type de gîte

- Primaire
- Subprimaire
- Secondaire
- Indéterminé



Sources : PCR Pigmentothèque Edytem, BRGM, ESRI Topo, ESRI Shaded Relief

Num. du gîte	Commune	Lieu-dit du gîte	Série géologique	Etage géologique	Lithologie de la roche
PIG_0002	Courry	Combe du Barry – piste foresti	Jurassique inférieur	Domérien	
PIG_0020	Courry	Pierremorte 1	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0020_std	Courry	Pierremorte 1	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0022	Courry	Pierremorte 1 (2 selon J. Monr	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0042 PIG_0020	Courry	Pierremorte 1	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0043 PIG_0020	Courry	Pierremorte 1	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0044 PIG_0020	Courry	Pierremorte 1	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0072	Courry	Pierremorte site 1	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0075	Courry	Pierremorte site 2	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0159	Courry	Pierre Morte	Jurassique moyen	Callovien	
PIG_0160	Bordezac	Bordezac	Trias	inférieur ? et moyen	
PIG_0160_std	Bordezac	Bordezac	Trias	inférieur ? et moyen	
PIG_0211	Courry St-Brès	La Fortunelle	Jurassique supérieur	Oxfordien	

# Pont-Saint-Esprit

## Carte géologique

### Département 30

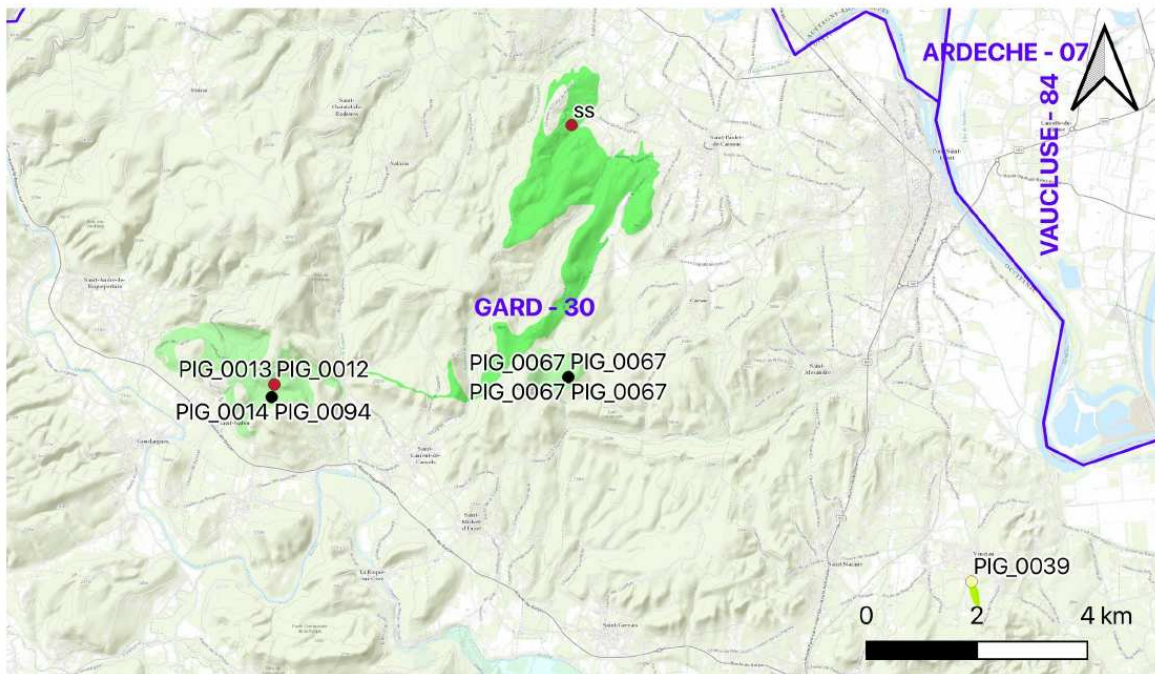
- c4a, Grès ferrugineux (Santonien) - 153
- c2c, Grès et sables siliceux (Turonien sup.) - 159
- c11ch, Lignites, calcaires argileux et cherts indifférenciés (Cénomani hydro, Hydrographie - 385

### Légende

Départements

### Points de la Pignentothèque : type de gîte

- Primaire
- Secondaire
- Indéterminé



Sources : PCR Pignentothèque Edytem, BRGM, ESRI Topo, ESRI Shaded Relief

Num. du gîte	Commune	Lieu dit du gîte	Série géologique	Etage géologique	Lithologie de la roche
PIG_0014	Cornillon	Cornillon 1b	Crétacé supérieur	Turonien	
PIG_0094	Cornillon	Cornillon site 1	Crétacé supérieur	Turonien	
PIG_0012	Cornillon	Cornillon	Crétacé supérieur	Turonien	
PIG_0013	Cornillon	Cornillon 1a	Crétacé supérieur	Turonien	
PIG_0067	Carsan	Maison forestière de Valbonne	Crétacé supérieur	Turonien	
ss	St-Julien-de-Peyrolas	Foncouverte	Crétacé supérieur	Cénomani	
PIG_0039	Vénéjan	Vénéjan sud	Crétacé supérieur	Santonien	



# Rousson

## Carte géologique

Département 30

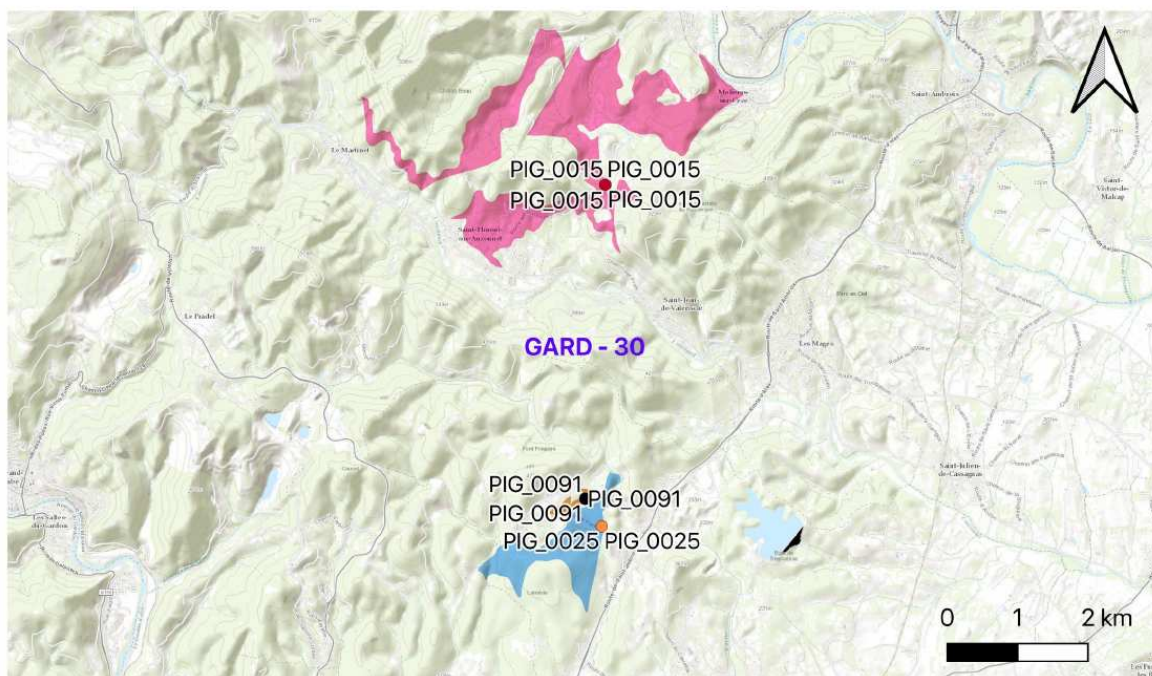
- j5sCM, Calcaires, marnes (Oxfordien sup.) - 235
- l4s-j2m, Calcaires (calcarénites) et marnes (Toarcien sup. ou Aalén
- t5-6, Marnes bariolées, grès, dolomie, évaporites (Norien-Carnier hydro, Hydrographie - 385

### Légende

Départements

Points de la Pigmentothèque : type de gîte

- Primaire
- Subprimaire
- Indéterminé



Sources : PCR Pigmentothèque Edytem, BRGM, ESRI Topo, ESRI Shaded Relief

Num. du gîte	Commune	Lieu dit du gîte	Série géologique	Etage géologique	Lithologie de la roche
PIG_0015	St-Florent-sur-Auzou	Col des Brousses couche 2	Trias	Keuper	
PIG_0015	St-Florent-sur-Auzou	Col des Brousses couche 3	Trias	Keuper	
PIG_0015	St-Florent-sur-Auzou	Col des Brousses couche 1	Trias	Keuper	
PIG_0015	St-Florent-sur-Auzou	Col des Brousses couche 4	Trias	Keuper	
PIG_0025	Rousson	Croix de Fauvie (Préhistorama	Jurassique supérieur	Kimméridgien (?)	
PIG_0091	Rousson	Font de Roure	indéterminé	indéterminé	





## **ANNEXE 6 – Notice de description méso- microscopique des roches riches en fer**

Peu d'avancées ont été réalisées durant l'année 2021 sur la notice. La dernière version est néanmoins présentée ici pour être partagée. Elle fait écho au formulaire développé dans *Excel*. Une grande partie du vocabulaire a été validée.

**Notice et procédure pour remplir la fiche pétrologique/pétrographique - étude à l'échelle macro- et mésoscopique d'objets archéologiques et de références géologiques intactes ou préparées - PCR PIGMENTOTHEQUE - région AuRA**

*H. SALOMON, A. CHASSIN DE KERGOMMEAUX, C. CHANTERAUD, M. ROSSI, E. CHALMIN, J.-V. PRADEAU, D. GASQUET, E. GOEMAERE, P.FERNANDES, V. DELVIGNE, J.-P. PIBOULE*

---

**1\_ID**

**1.1\_Numéro d'échantillon** : = n° de gîte + lettre correspondant à chaque faciès présent sur le gîte + n°000 correspondant à un mode de préparation (p. ex : PIG\_0001\_A\_002)

\_100 : brut

\_200 : cassure fraîche

\_300 : coupe non polie

\_400 : coupe polie (préciser si enrésinée)

\_500 : lame mince (préciser si couverte ou non)

\_600 : poudre non tamisée ou tamisée (indiquer la maille du tamisage)

\_700 : objets expérimentaux, volumes modifiés dans leur morphologie par des actions techniques expérimentales : ex : blocs abrasé

\_800 : pastille (préciser le diamètre, le mode de préparation, l'épaisseur)

\_900 : poudre appliquée (préciser les modalités d'application)

\_000 : autre (à préciser)

**1.2\_Numéro d'échantillon alpha-numérique** : renseigner l'ancien nom de l'échantillon

**1.3\_Numéro de gîte** : repris de la BdD terrain.

**1.4\_Date de l'observation** : format 20/06/2019

**1.5\_Auteur de création de la fiche** : Prénom + Nom (ex : Hélène Salomon)

**1.6\_Date de la modification de la fiche** : format 20/06/2019

**1.7\_Auteur de la modification de la fiche** : Prénom + Nom (ex : Eric Goemaere)

**1.8\_Type de collection** : cf. BdD terrain

**1.9\_Nom de site ou de lithothèque de conservation** : cf. BdD terrain

**1.10\_Coordonnées en X** : lié à la fiche gîte ou à la fiche d'inventaire du site archéologique

**1.11\_Coordonnées en Y** : lié à la fiche gîte ou à la fiche d'inventaire du site archéologique

**1.12\_Coordonnées en Z** : lié à la fiche gîte ou à la fiche d'inventaire du site archéologique

**1.13\_Longueur (mm)** : sans décimale

**1.14\_Largeur (mm)** : sans décimale

**1.15\_Épaisseur (mm)** : sans décimale

**1.16\_Masse de l'échantillon (g)** : sans décimale, masse totale de l'échantillon (au 1/10ème de g près pour les objets archéologiques).

---

**1.17\_Densité (sans unité) :** au 1/10<sup>ème</sup> près pour les objets archéologiques. A calculer avec la masse du bloc mesuré et les colonnes 1.9, 1.10, 1.11 selon :

$$\text{densité} = d = \frac{\rho_{obj}}{\rho_{eau}} = \frac{\text{masse}}{\frac{\text{longueur} \times \text{largeur} \times \text{épaisseur}}{0.001}}$$

**1.18\_Usure :** préciser s'il y a des traces d'usure anthropique : oui, non, indéterminé, non observé

**1.19\_Commentaires libres usure**

**1.20\_Chauffage :** préciser s'il y a des indices de chauffe : oui, non, indéterminé, non observé

**1.21\_Commentaires libres chauffage**

**1.22\_Résidus :** préciser s'il s'agit de résidus à la surface d'un autre objet : oui, non, indéterminé, non observé

**1.23\_Commentaires libres résidus**

## **2\_SURFACE**

**2.1\_Sphéricité de l'objet** (cf. charte) : *sphericity*, description du volume de l'échantillon (cf. charte) : sphérique ; pseudo-sphérique ; sub-sphérique ; aplati ; plat ; non observé ; indéterminé ; non pertinent (ex : position primaire d'une veine métallifère ou échantillon qui ne présente pas de surface naturelle, c'est-à-dire qu'il a été fracturé lors du prélèvement). Sphérique : uniquement pour les objets complètement sphériques ET arrondis (ex : boule de marcassite), sinon mettre pseudo-sphérique.

**2.2\_Arrondi de l'objet :** *roundness*, description du volume de l'échantillon (cf. charte) - arrondi ; subarrondi ; subanguleux ; anguleux ; non observé ; indéterminé ; non pertinent (ex : position primaire d'une veine métallifère ou échantillon qui ne présente pas de surface naturelle, c'est-à-dire qu'il a été fracturé lors du prélèvement).

**2.3\_Présence d'une surface naturelle :** oui ; non ; indéterminé ; non observé  
Surface naturelle : à définir

**2.4\_Localisation des surfaces naturelles :** champ texte libre : par exemple : généralisée, sur des surfaces délimitées, et préciser quelles surfaces (grandes, tranches...) et si correspondance avec polarités (génétique, gîtologique et post-dépositionnelle : cf. revenir de la fin ou des enfers....).

**2.5\_Présence de surfaces anthropiques anciennes :** oui ; non ; indéterminé ; non observé

**2.6\_Localisation des surfaces anthropiques anciennes :** champ texte libre

### **2.7\_SURFACE NATURELLE**

**2.7.1\_Type de surface :** (champ libre texte) ex : surface de diaclase, surface de plan de fracture, indéterminée

**2.7.2\_Couleurs de la surface naturelle :** Détermination de la couleur à "l'œil nu" sur la surface externe. Description simple et limitée aux couleurs dominantes de la surface d'origine de la matière, liste fermée, maximum 3 couleurs parmi : aucune ; rouge ; rose ; violet ; orangé ; brun ; jaune ; noir ; blanc ; gris.

On peut choisir des combinaisons de couleurs telles que « rouge ET brun », « rouge ET jaune ». Si une matière contient du jaune, de l'orangé, du brun, du blanc, violet, rouge et du bordeaux, alors ne noter que « jaune ET rouge ET blanc » = teintes dominantes. Pour une matière rouge violacée, ne pas cocher rouge ET violet, mais seulement violet.

### 2.7.3 Commentaires libres sur la couleur externe : couleur sur cassure fraîche éventuellement

Couleur, *colour* : Qualité de la lumière que renvoie un objet et qui permet à l'œil de le distinguer des autres objets, indépendamment de sa nature et de sa forme (CNRTL, CNRS). Définition reprise de JV Pradeau (2015) :

L'appréciation « à l'œil nu » de la couleur, ou sensation colorée (Perraudeau, 2004, p. 5), est conditionnée par des caractères physiologiques (daltonisme par exemple), culturels et des habiletés personnelles résultant de la pratique d'un art ou artisanat, ou d'une occupation en relation avec l'usage des couleurs (peintre par exemple).

La couleur d'un objet peut être décrite par trois critères (Perraudeau, 2004) :

- la *teinte* (*hue*) est associée à une (alors qualifiée de dominante) ou deux longueurs d'onde : bleu, jaune, rouge, vert ;
- la *saturation* (ou intensité, *chroma*) est la proportion de blanc et de noir de la teinte ;
- la *clarté* (ou luminosité, *brightness*) est le rapport entre blanc et noir.

La saturation et la clarté permettent de qualifier la teinte :

		Saturation		
		Faible	Moyenne	Élevée
Clarté	Élevée	Pâle	Clair	Lumineux
	Moyenne	Gris	Moyen	Vif
	Faible	Sombre	Foncé	Profond

Tableau Qualification des teintes en fonction de la saturation et de la clarté

Il faut prendre en considération le métamérisme, phénomène par lequel différentes couleurs peuvent être perçues comme identiques, ou l'inverse. Le métamérisme est imputable à l'illuminant ou à l'observateur, c'est-à-dire aux capacités physiologiques ou acquises de ce dernier à distinguer les teintes et les couleurs (Perraudeau, 2004). C'est pourquoi la comparaison entre deux objets nécessite des conditions de comparaison identiques (illuminant, état de surface, etc.) et que nous n'aurons pas recours à la charte Munsell. Ainsi nous limiterons la description des couleurs à des termes simples et peu nombreux pour ne pas ajouter de l'erreur dans la description.

**2.7.4 Reflet de la surface naturelle, *luster*** : observé à la surface, excepté sur cassure fraîche, liste fermée : mat ; métallique ; gras ; mat à métallique ; mat à gras ; gras à métallique ; indéterminé ; non observé ; non pertinent.

### 2.7.5 Commentaires libres sur le reflet

Reflét, *luster* : caractérise le pouvoir réflecteur d'un minéral/cristal ; décrit l'apparence que peut prendre une surface cristalline lorsqu'elle réfléchit la lumière (pouvoir réflecteur) (modifié d'après le CNRTL).

Mat, *dull* : qui n'a pas d'éclat ; qui n'a aucun pouvoir réflecteur.

Métallique, *metallic* : se dit de l'éclat brillant des roches opaques qui renvoient presque intégralement la lumière ; il décrit le pouvoir réflecteur maximal. C'est l'éclat des métaux natifs (or, platine, argent), de certains sulfures (galène, pyrite) ... (modifiée de Montel et Martin 2014).



Gras, *greasy* : éclat dont l'aspect évoque une surface enduite d'huile ou de graisse. La halite, par exemple, a un éclat gras typique (ACK HS, modifié de Montel et Martin 2014).

**2.7.6 Traces d'altérations physiques sur la surface naturelle, *traces of physical weathering*** – fragilisation ou diminution du volume de la roche sous l'action physique d'agents atmosphériques : aucune ; fragment ; fracture ; délitage ; choc en V ; cupule de choc ; racine de coup d'ongle ; coup d'ongle ; cônes de pression ; stries d'abrasion ; galet impressionné ; impression, traces anthropiques ; non observée ; indéterminé ; fouille. Ce champs peut être multivaleurs

‡ Altération, *weathering* (Géologie et pédologie) - traduction en anglais selon le contexte (cf. dans la définition) : Processus physique, chimique ou biologique se traduisant par une transformation voire une **dégradation\*** de roches, de **minéraux\***, de sols ou de sédiments **meubles\*** superficiels. Ces transformations peuvent être partielles ou complètes, isovolumiques ou non, et peuvent être ou non accompagnées par des changements de leur **couleur\***, **texture\***, **dureté\***, résistance ou forme. Ces changements s'opèrent par une disparition partielle ou complète d'une partie ou de la totalité des minéraux originels et par leur remplacement éventuel par un matériau secondaire, cristallisé ou amorphe, **autochtone\*** ou partiellement **allochtone\***. L'altération peut être d'origine hydrothermale, atmosphérique ou hydrologique, c'est-à-dire résultant de l'action des eaux superficielles puis souterraines. On parle aussi de météorisation (*weathering*) quand l'altération est d'origine atmosphérique ou hydrologique tandis qu'on parle d'altération hydrothermale (*alteration*) lorsque la composition des roches est modifiée suite à des remontées de fluides chargés en minéraux dissous. L'altération de la roche-mère, des sols, des minéraux... est souvent de nature biogéochimique car, au cours de la pédogenèse, les végétaux et les micro-organismes jouent un rôle déterminant (modifié d'après Ramade, 2008, p. 22 ; Lozet et Mathieu 2002 ; Lexique de la *Lithothèque*). Nous séparerons les **altérations physiques\*** (transport et **érosion\***, **abrasion\***, vent : **éolisation\*** ; changement de température : **thermoclastie\*** et **cryoclastie\***...) des **altérations biologiques et chimiques\*** (infiltration, **dissolution\*** : **hydrolyse\***, **lessivage\***, oxydation et réduction, **recristallisation\***; changement d'humidité : **dessiccation\***...).

‡ Altération physique, *physical weathering* : ensemble des mécanismes de dégradation physique d'une matière ou d'un matériau conduisant à la diminution et à la fragilisation, voire à la **désagrégation\***, du volume. Plusieurs processus sont susceptibles d'intervenir, à savoir l'**érosion\*** (principalement **usure\*** mécanique par des grains détritiques transportés par les fluides) et la **fragmentation\*** (la fracturation tectonique, la **cryoclastie\***, la **thermoclastie\***, l'**haloclastie\***, l'hydroclastie, la décompression). Ces différents processus d'**altération\*** modifient les rapports surface/volume ; la **fragmentation\*** facilite l'altération biologique et chimique car elle augmente la surface réactive (ACK, HS, modifié d'après Boulvain, 2010 et d'après "usure" dans le lexique de la *Lithothèque*).

Usure, *wear* : **altération physique\*** ou **mécanique\***. Détérioration progressive par frottement, friction, **érosion\***, utilisation (modifié d'après *Larousse*). Comme le terme "usure" désigne un mécanisme tant lié à des processus naturels qu'à des actions anthropiques, on privilégiera l'emploi d'**érosion\***, **altérations mécaniques\*** ou **physiques\*** pour décrire les usures d'origine naturelle.

Fragment, *fragment* : élément séparé d'un bloc suite à une cassure (modifié d'après le lexique de la *Lithothèque*).

Fracture, *fracture, crack* : cassure de terrain, de roche ou de minéraux, sous l'effet de

pressions, de chocs ou de variations de température (cf. **thermoclastie\***), avec ou sans rejet. On observe alors une rupture de la matière selon une surface, appelée **cassure\*** (qui présente des particularités géométriques). Cette fracture peut être vide ou comblée (modifiée d'après Foucault et al. 2014). Il existe trois types de fractures : les **joints\*** (*joint*) qui désignent les fractures sans déplacement, les **cisaillements\*** (ou **failles\***, *shear fracture/faults*) qui désignent les fractures dont le déplacement se fait dans le plan, et les veines (*fissure*) qui désignent les fractures en extension. Il existe différents types de failles. Les failles d'effondrement sont divisées en failles inverses (raccourcissement, plan incliné à 60°), failles chevauchantes (raccourcissement, plan incliné à <60°), et failles normales (allongement, plan à 60°). Les failles de décrochement peuvent être sénestre ou dextre. Les failles obliques sont des combinaisons des failles citées précédemment : elles peuvent être inverse et sénestre ou normale et dextre (cf. schéma).

‡Trace de chocs en V : stigmatte en forme de V à bords anguleux le plus souvent caractéristique de chocs éoliens (REF).

‡Cupule de choc (exoscopie, pétroarchéologie) : choc formant une cavité en forme d'éventail à figure de cisaillement sous forme de lignes subparallèles (Le Ribault, 1975).

‡Racine de coup d'angle : marque en forme de croissant quasiment effacée par l'**altération physique\*** ultérieure. La 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 (REF).

‡Coup d'angle (pétroarchéologie, exoscopie) : (le Ribault, 1975), marque en forme de croissant typique de chocs liés au transport hydrographique ou marin (synonyme croissant de choc). Liée au transport dans le réseau hydrographique ou en domaine marin.

‡Cône de pression : qualifie un type de stigmatte présentant une succession de marques en V ou sub-sphériques 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).

Stries d'abrasion, *abrasion striations* : (géologie) stries résultant de l'**érosion\*** de la roche causée par le frottement des matériaux transportés par les eaux, les glaces ou entraînés par gravité (Foucault et al. 2014).

Galet impressionné, *pitted pebble/cobble* : Galet présentant à sa surface des creux arrondis correspondant aux empreintes de galets voisins. Cet aspect résulte d'une **dissolution\*** sous pression et s'observe en particulier dans des **conglomérats\*** soumis à un certain aplatissement tectonique (Foucault et al. 2014).

Impression, *impression or imprint* : Empreintes de grains ou d'amas de grains, quelle que soit leur taille, à la surface d'une matière, sous l'effet de la pression des sédiments (HS, ACK).

Traces anthropiques (modification ou trace) - *anthropogenic (modification / trace / mark)* : modification liée à l'action humaine, intentionnelle ou non, ayant pour effet une modification intrinsèque des propriétés de la roche (thermoaltération ou chauffe...) ou une diminution et une modification du volume de matière (par exemple suite à diverses actions de mise en poudre, d'usure ou de modelage...).

Pigment : c'est surtout sous forme de poudre qu'il est exploitable (mélange et application) donc description des principaux procédés de réduction en poudre. A FINIR. Les deux principales techniques de réduction en poudre comprennent les

percussions entre deux outils avec des outils lancés ou posés (**fragmentation\***, concassage, pilonnage, écrasement, broyage) et les frottements avec un outil mobile ou sur un outil posé (abrasion, raclage, incision) (HS, ACK).

Fouille : pour toutes les actions lors ou après la fouille qui ont laissé des traces ou qui ont effacé des traces anciennes : traces d'outils de fouille, traces de brosses, érosion des surface liée au tamisage et au lavage, encre, blanco et vernis à ongle, frottement dans les sachets, entre les pièces et avec les étiquettes.

### 2.7.7\_ Commentaires libres : s'il y a différentes traces....

**2.7.8\_Type d'altérations physiques\* de la surface naturelle, *physical weathering type*** : aucune ; émoussé ; fragmentation ; fracturation ; délitage ; désagrégation ; rubéfaction ; thermoclastie ; haloclastie ; éolisation ; action anthropique ; abrasion ; autres (à préciser) ; non observé ; indéterminé ; fouille. Ce champs peut être multi valeurs.

✚ Émoussé, *roundness* : Émoussé, *roundness* : qualifie la surface d'un grain ou d'une roche usée (cf. **usure\***) par les frottements de particules diverses au cours de leur transport par l'eau, la glace ou le vent. On remarque, en particulier, le développement de l'émoussé sur les arêtes ou les angles, qui, de saillants ou vifs sont devenus arrondis (modifié d'après Foucault et al. 2014 et le lexique de la *Lithothèque*).

En complément (d'après « érosion », terme qui n'est pas adapté aux blocs). Perte de matière en surface d'un volume par un ensemble de facteurs physiques et chimiques souvent causés par le contact d'un fluide (eau, glace, vent...) ou d'un solide en mouvement contenant des particules solides, ou bien par la gravité (modifié de OCDE, 1969). Ici, le terme érosion sera utilisé dans son sens restreint d'érosion physique. L'érosion est provoqué par le transport de matière d'un lieu d'origine vers un lieu de dépôt (par le vent, les eaux, les glaces ou par gravité : glissement de terrain, saltation, écoulement gravitaire, charriage...). L'intensité de cette action d'**altération physique\*** est influencée par l'énergie cinétique des particules mobilisées, c'est-à-dire leur vitesse de déplacement. Ces **altérations physiques\*** comprennent, à des degrés divers, les chocs (formant des **cupules de choc\*** à la surface des volumes, ou les **fracturant\*** voire les **fragmentant\***), les frottements (cf. **abrasion\***) subies par la matière. Les frottements nivellent les surfaces, **émoussent les arêtes\*** et favorisent la formation de **stries\*** (modifié d'après Boulvain, 2010 et d'après le lexique de la *Lithothèque*).

Fragmentation, *fragmentation* : renvoyant aux mécanismes entraînant la séparation d'un bloc en **fragments\***. Elle peut avoir des causes variées : glissements de terrains, jeux de petites failles et de séismes, **dessications\*** successives de sédiments à fleur d'eau, chocs thermiques (cf. **thermoclastie\***)... (modifiée de l'article "brèche" in : Foucault et al., 2014). Ainsi, la fragmentation décrit-elle l'ultime étape de la **fracturation\***.

Fracturation, *cracking, fracturing* .: renvoyant au mécanisme de **fracture\*** d'une roche ou de minéraux (modifiée d'après Foucault et al. 2014), l'ultime étape de la fracturation est la **fragmentation\***.

Délitage, *cleavage*: fait pour une roche sédimentaire de se fendre selon ses plans de stratification, ou pour un schiste selon ses plans de schistosité (Foucault et al., 2014).

Désagrégation, *crumbling/disaggregation* : dissociation des éléments constitutifs d'une roche sous l'effet de la météorisation (**altération\*** par les agents atmosphériques) libérant des débris de taille variée ; séparation des grains d'une roche p.ex. du fait de ruptures produites par des dilatations différentielles des grains soumis au gel et dégel (cf. **thermoclastie \***), ou encore, et plus souvent, par hydrolyse de certains minéraux qui se transforment en argiles, ce qui détruit la cohésion de la roche. Si les grains obtenus restent sur place, on obtient, p. ex., une arène ou un sable

(modifiée et complétée d'après Foucault et al. 2014).

Rubéfaction, *rubifaction (or rubefaction, rubification, reddening)* : coloration en rouge des sols, ou de la surface de certaines roches, due à la cristallisation d'oxydes de fer (hématite surtout) libérés par l'**altération\*** qu'elle soit d'origine météorique ou thermique (modifié d'après Foucault et al. 2014).

‡Thermoclastie, *thermal weathering* : mécanisme physique induit par de forts écarts thermiques qui conduit à la **fracturation\*** et à la **fragmentation\*** des roches. Les alternances de gel-dégel, les écarts thermiques importants (exposition au feu, ensoleillement, saisons) fragilisent voire fragmentent les roches de manière inégale (REF; modifié d'après le lexique de la *Lithothèque*).

‡Haloclastie, *salt weathering* : processus participant à l'élargissement des fissures et donc à la **fragmentation\*** de la roche lié à la cristallisation de solutions salines dans les fractures préexistantes. Ce processus de **météorisation\*** est particulièrement efficace dans les zones côtières, ainsi que dans les déserts (REF, modifié d'après Foucault et al. 2014).

‡Éolisation, *eoliation* : processus d'**érosion\*** de la roche par l'action du vent chargé de grains de sable donnant un aspect satiné et piqueté. Cette érosion peut émousser les arêtes et dans les cas ultimes elle peut amener à la **désagrégation\*** des roches (modifié d'après le lexique de la *Lithothèque*).

Abrasion, *abrasion* : (géologie) **érosion\*** de la roche causée par le frottement des matériaux transportés par les eaux, les glaces, le vent ou entraînés par gravité (Foucault et al. 2014).

**2.7.9\_ Commentaires libres** : s'il y a plusieurs érosions...

**2.7.10\_Degré d'altérations physiques de la surface naturelle, *degree of physical weathering*** : 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) ; non observé ; indéterminé.

**2.7.11\_ Commentaires libres** : si les érosions sont d'intensité différentes....

**2.7.12\_Degré d'émoussé de la surface naturelle (cf. charte), *degree of roundness*** : absent ; léger (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) ; non observé ; indéterminé.

‡Émoussé, *roundness* : qualifie la surface d'un grain ou d'une roche usée (cf. **usure\***) par les frottements de particules diverses au cours de leur transport par l'eau, la glace ou le vent. On remarque, en particulier, le développement de l'émoussé sur les arêtes ou les angles, qui, de saillants ou vifs sont devenus arrondis (modifié d'après Foucault et al. 2014 et le lexique de la *Lithothèque*).

**2.7.13\_Rugosité de la surface naturelle, *surface roughness*** : absente (la surface est totalement lisse) ; faible (les grains sont à peine mis en relief), moyenne (les grains ou des groupes de grains sont mis en relief) ; forte (les grains sont très bien mis en relief individuellement, au toucher la peau est retenue par la roche) ; non observée ; indéterminée ; non pertinent.

‡Rugosité, *roughness* : caractéristique physique, relatif à l'état microgéométrique d'une surface inégale. Cette surface se décrit par ses creux et ses reliefs positifs, ainsi que par la régularité, la fréquence et l'amplitude des reliefs (maximum et minimum) (modifié d'après le lexique de la *Lithothèque*). Techniques de l'ingénieur -> On désigne par rugosité les aspérités et les creux d'une surface mesurés par rapport à la surface moyenne assimilée localement à un plan. La caractérisation

géométrique de ce paramètre est délicate parce qu'il s'agit d'un paramètre statistique qui ne peut être défini par une seule mesure, et parce qu'il s'agit d'une variable dépendant de deux dimensions, en général analysée suivant une seule dimension. (Techniques de l'ingénieur Métrologie des surfaces, Auteur(s) : Patrick Bouchareine, Date de publication : 10 sept. 1999)

**2.7.14 Angularité des arêtes associées aux surfaces naturelles, *edge angularity* :** absente ; aiguës ; obtuse ; aiguës et obtuse ; non observée ; indéterminée ; non pertinent.

**2.7.15 Émoussé des arêtes associées aux surfaces naturelles, *edge roundness* :** absent ; léger (sur moins de 10% de l'arête) ; 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) ; indéterminé ; non observé ; non pertinent.

**2.7.16 Altération biologique ou chimique de surface naturelle :** *biological or chemical weathering*, ajout ou retrait de matière d'origine biologique ou chimique en surface de l'objet - aucune ; encroûtement ; revêtement ; hydrolyse ; dissolution ; dissolution différentielle ; golfes de dissolution ; dissolution couvrante ; plage de dissolution ; patine ; remplacement minéral ; recristallisation ; épigénie ; authigénie ; pseudomorphose ; reprécipitation ; précipitation ; oxydation ; réduction ; oxydo-réduction ; poronécrose par colmatage ; poronécrose par tapissage ; dessic(c)ation ; indéterminée ; non observée ; non pertinent. Champs qui peut être multi valeurs.

‡ Altération biologique ou chimique, *biological or chemical weathering* : Transformations de roches, de minéraux, de sols ou de sédiments meubles superficiels par des processus chimiques ou biologiques. On distinguera les ajouts (**encroûtement\***, **revêtement\***, **recristallisation\***, **poronécrose\***), les retraits de matière (**dissolution\***, **hydrolyse\***, **oxydo-réduction\***) et les substitutions (**épigénie\***, **pseudomorphose\***). Ces processus peuvent être contrôlés par la présence d'eau (**lessivage\***, **hydrolyse\***, **dissolution\***, **précipitation\***, **reprécipitations\***, dépôts de matières favorisant le développement d'**encroûtements\*** et de **revêtements\***), par des différences de pH (acidité des eaux ou des sols; lessivage, **précipitation\*** de certains minéraux), par des différences de conditions rédox (battements de nappes... entraînant l'oxydation ou la réduction de certains éléments chimiques dans la roche ou la dégradation des matières organiques), par la présence de bactéries ou champignons (**dissolution\*/reprécipitation\***, **encroûtement\***, **revêtement\***, dégradation de matière organique, éventuellement **fracturation\***) (modifié et complété d'après Ramade, 2008, p. 22, d'après Lozet et Mathieu 2002 et Lexique de la *Lithothèque*).

Revêtement, *coating* : enduit ou tapissage ou film mince secondaire - d'épaisseur uniforme -, de nature variée, formé à partir d'une matière **allochtone\*** (venue d'ailleurs) précipitée ou déposée à la surface d'une roche. Le revêtement est couvrant, il est conforme, c'est-à-dire qu'il suit et conserve la topographie de la surface de la roche, qu'il croît en s'étalant le long de la surface et sa composition est **homogène\*** (PF, ACK, HS, CC). Les revêtements peuvent être classés par type selon leur composition : argile = argilane, carbonate = calcane, calcite = calcitane, calcédoine = chaldecane, oxydes ou hydroxydes de fer et les minéraux argileux = ferri-argilane, argilo-ferrane, goethite = goethane, hématite = hématane, oxydes de manganèse = mangane, kaolinite = kaolinane, quartz = quartzane, substance humique = humicane ou organane... ou selon leur processus de formation : revêtement de diffusion, d'illuviation... (modifié de Lozet et Matthieu 2002). Couvrant de manière homogène.

Encroûtement, *encrustation* : **concrétion\*** secondaire d'étendue, épaisseur et nature variables formée à partir de matières **allochtones\*** (venues d'ailleurs) à la surface d'une roche (**concrétion\*** ferrugineuse, carbonatée ou autre). Autrement dit une **concrétion\*** qui croît en épaisseur à la surface ou autour d'un substrat et se

révèle souvent **hétérogène\*** voire multicouches, les minéraux ont tendance à croître dans toutes les directions de l'espace selon leur forme propre - **automorphe\***, l'épaisseur de cette concrétion n'est pas égale en tout point (modifié d'après l'article "concrétion" de Foucault et al. 2014). La différence entre revêtement et encroûtement est la répartition d'un côté homogène et continue et de l'autre hétérogène. Ne couvrant pas de manière homogène, et avec une croissance non continu et non uniforme ; hétérogène

Hydrolyse, *hydrolysis* : Décomposition chimique d'une substance par l'action directe ou indirecte de l'eau, conduisant à la formation de nouvelles molécules (CNRTL). Appliquée à un minéral, l'hydrolyse peut être partielle ou totale et conduit à la formation d'une solution de lessivage chargée en cations et ce qui reste est alors un minéral secondaire qui est appauvri par rapport au minéral d'origine. L'hydrolyse génère une chaîne de filiation entre des minéraux : minéraux primaires -> conduit principalement à la formation de minéraux secondaires plus petits de type hydroxydes (ex gibbsite, cas d'hydrolyse totale) ou composés silicatés, ou argiles (ex kaolinite, smectite, cas d'hydrolyse partielle selon les conditions du milieu). La nature de la roche mère, le climat et la topographie sont les trois principaux facteurs influençant la nature des argiles formées par hydrolyse. (adapté de Eduterre, Institut français de l'Éducation)

Hydrolyse : ce n'est pas une décomposition totale car une partie des éléments chimiques sont partis, donc modification de la nature du minéral.

Dissolution, *dissolution* (géologie, géochimie) : processus chimique entraînant la mise en solution dans l'eau de l'ensemble des éléments chimiques appartenant à un solide et qui aboutit à la création de vides : le minéral dissout a complètement disparu. 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\***). Un processus de dissolution implique toujours le passage par une étape où existe un vide : ce vide peut être ensuite comblé, c'est-à-dire rempli par des sédiments ou une néoformation de phase(s) minérale(s). L'augmentation de la porosité induite par la dissolution est donc masquée (d'après le lexique de la *Lithothèque*, Boulvain 2010, REF). Tous les minéraux ne sont pas affectés de la même manière selon les propriétés des eaux (composition chimique, conditions rédox et pH). Par conséquent, en fonction de la nature de la roche, certains minéraux sont plus susceptibles d'être dissous : tels que les sels et carbonates à l'inverse des silicates (principalement, les tectosilicates).

Dissolution différentielle, *differential dissolution* : On parle de dissolution différentielle, dans une roche polyminérale ou stratifiée, lorsque seul des minéraux solubles subissent la dissolution en fonction de la nature du minéral. Cette dissolution différentielle forme un microrelief significatif suivant la nature des phases et l'orientation cristallines. A l'échelle minéralogique, le vide qui est créé conserve en général la forme du minéral disparu (modifié d'après le lexique de la *Lithothèque*).

‡ Golfe de dissolution, *scallop, solution pan* : zone concave à la surface d'un cristal ou d'une roche, qui est généralement due à une dissolution (REF).

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

‡Plage de dissolution : type de dissolution qui impacte une ou plusieurs partie(s) de la surface de l'objet (REF).

Patine, *patina* : Résultat d'échanges entre la surface de la roche et son environnement à différentes échelles. Les roches acquièrent en surface des propriétés physico-chimiques distinctes du reste du volume (composition, topographie/**rugosité\***, **porosité\***, taille des constituants, abondance de sites) ; la



teinte de la roche est donc souvent modifiée et peut se révéler très différente de celle de la cassure fraîche. La patine est donc une interface ; c'est-à-dire le lieu où la zone d'interaction entre deux phases volumiques (roche/air, roche/eau, roche/sédiment - et son contenu biologique, chimique) (modifié d'après Foucault et al. 2014, *Encyclopedia Universalis* : article Surface - phénomène de, Andrieu et Müller 2005, p. xvii et 3, et le lexique de la *Lithothèque*). ‡ « partie externe du silex ayant subie une altération superficielle due aux agents atmosphériques » (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987). 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.

Remplacement minéral : remplacement d'un minéral par un ou plusieurs autres. Plusieurs cas de figure existent : **recristallisation\***, **épigénie\***, **authigénie\***, **pseudomorphose\***.

Recristallisation, *recrystallization* : Processus conduisant à une modification d'une espèce minérale préexistante, avec le développement d'une nouvelle génération de cristaux. La nature minéralogique des cristaux néoformés est identique à celle des cristaux initiaux, mais la taille de cette nouvelle génération de cristaux est généralement supérieure à celle des grains d'origine à la suite de changements de conditions physiques, physico-chimiques, mécaniques ou de circulations de fluides (ex.). La recristallisation se fait à l'état solide par migration des joints de grains. Plusieurs réactions sont possibles : minéral A → minéral A' par migration des joints de grains. Il se forme alors des grains plus gros (recristallisation statique) ou plus petits (recristallisation dynamique) (ex : silcrète), sans faire intervenir de fluides, ni de transfert de matière. La recristallisation dynamique est associée à une déformation ; lors des déplacements des contraintes, des dislocations ont lieu entraînant la création de plusieurs sous-grains et *in fine* de plusieurs grains. Dans le cas d'une réaction où la composition du minéral est modifiée on ne parle plus de recristallisation mais de pseudomorphose, épigénie ou authigénie : AB → BA on parle de **pseudomorphose\*** (ex : pyrite → goethite), et si A → B, on parle d'**épigénie\*** ou **authigénie\*** (ex : aragonite → calcite).- (modifié d'après le lexique de la *Lithothèque* ; Cojan et Renard 2006). Complémentaire de authigénie, pseudomorphose (changement de composition), etc. Se fait à l'état solide (pas de vides). On part de minéraux d'une certaine composition, et on a une nouvelle cristallisation de même composition : nouveaux cristaux plus grands ou plus petits que les cristaux de départ (ex : micrite → sparite). ATTENTION : quand on cristallise dans un espace vide : précipitation (apport d'un fluide).

‡Pseudomorphose, *pseudomorphism* : La pseudomorphose est un phénomène de néoformation d'un ou de plusieurs cristaux d'une espèce minérale B qui remplacent des cristaux d'une espèce minérale A préexistants en conservant l'habitus des cristaux d'origine (A). Cette néoformation peut être d'origine métamorphique, **diagenétique\*** ou liée à une **altération\*** ; c'est un cas particulier d'**épigénie\*** qui conserve l'**habitus\*** du cristal initial (modifié du lexique de la *Lithothèque* REF).

Épigénie, *epigenesis* : (pétrographie) remplacement lent, au sein d'une roche, d'un minéral par un autre atome par atome. Ce phénomène est lié à un apport de substance au point considéré, d'où le terme également employé de métrasomatose. Il y a en général conservation très précise des formes de l'élément originel. Ex. pyritisation, silicification, ferruginisation, dolomitisations : ammonite pyriteuse, puis de celle-ci à la silice. La mise en évidence de ces transformations ~~phénomène~~ n'est pas toujours aisée. Si l'habitus du cristal initial est conservé, on parle alors de **pseudomorphose\*** (adapté de Foucault et al. 2014). Attention dans la littérature ancienne, les termes d'épigénie et de pseudomorphose peuvent être considérés comme synonymes.

Authigénie : remplacement d'un minéral par un autre sans changement de composition chimique, typiquement le passage aragonite □ calcite.

**Espèce minérale :** l'espèce minérale est définie par son système cristallin et sa composition chimique : c'est-à-dire par les éléments chimiques qui le composent et leur organisation dans l'espace. Les espèces minérales peuvent avoir une très bonne organisation des atomes qui sera toujours la même comme le quartz, l'hématite, le feldspaths, d'autres n'ont pas d'organisation bien fixée et le solide est mal organisé, mal cristallisé comme typiquement l'opale qui n'a pas de cristaux bien définis.

**Minéral :** le terme minéral peut être utilisé indifféremment pour désigner l'espèce minérale ou le cristal. Préféré les termes appropriés. Ou en tout cas bien privilégier le terme cristal pour les cristaux et éventuellement garder le minéral pour désigner les espèces minérales.

**Cristaux :** individus

**Reprécipitation, *reprecipitation* :** mise en solution des éléments de la matière altérée et qui **précipitent\*** sur place, dans un système clos. Le processus de reprécipitation implique la succession d'une étape de dissolution avec une de précipitation. La nature du solide après reprécipitation peut être la même qu'avant dissolution, si la nature du reprécipité est différente, c'est que plusieurs minéraux se sont dissous et que les conditions de précipitation ont évolués pour conduire à une nouvelle association (par exemple, le gypse peut se former par reprécipitation après dissolution de  $\text{CaCO}_3$  en présence de  $\text{SO}_4^{2-}$ , le gypse est plus soluble, mais aussi plus facile à précipiter à basse température que les carbonates).

**Précipitation, *precipitation* :** réaction chimique au cours de laquelle les éléments (sous forme ionique) précédemment en solution dans un fluide minéralisé **allochtone\*** (venant d'ailleurs) ou minéralisé par dissolution sous pression forment un solide insoluble dans les espaces vides de la roche (**fractures\***, **pores\***, etc.) lorsque les éléments en question sont en quantité supérieure à leur solubilité dans ce fluide. On distingue facilement les cristaux secondaires qui se sont développés dans les pores (absence d'inclusions solides), de ceux dont la croissance s'est faite au détriment d'un matériel préexistant (présence d'inclusions solides). Contrairement à la **reprécipitation\***, les **minéraux\*** précipitent dans un système ouvert (ontologie des chimistes).

**Oxydation :** perte d'électrons par le contact avec l'oxygène. ( $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  : les oxydes ferreux vont donner de l'hématite, sulfure de fer  $\rightarrow$  goethite, silicate de fer  $\rightarrow$  goethite (oxydation + hydrolyse)) : conditions riches en oxygène.

**Réduction :** gain d'un électron en milieu anoxique, réductrice, pauvre en oxygène (en ce qui concerne le fer, ça correspond au passage  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ).

**Oxydo-réduction :** Une réaction chimique dans laquelle l'oxydation d'un réactif est couplée à la réduction d'un second réactif processus particulièrement efficace dans les roches riches en oxydes de fer (notamment dans les roches mafiques).

‡Poronécrose (pétrographie) : **colmatage\*** ou **tapissage\*** de la **porosité\*** par **cimentation\*** (REF lexicque de la *Lithothèque*).

‡Poronécrose par tapissage (revêtement) : croissance minérale le long de la paroi des vides ; le cœur (ou lumière) du **pore\*** n'est pas rempli (REF lexicque de la *Lithothèque*).

‡Poronécrose par colmatage : croissance minérale qui vient totalement boucher le **pore\***. La croissance minérale s'effectue classiquement du bord (paroi) vers le cœur (lumière) du pore (REF lexicque de la *Lithothèque*).

Dessic(c)ation (dessiccation ou dessication), *desiccation* : dessèchement d'un sol argileux ou d'un sédiment fin (**argiles\***, **marnes\***), gorgé d'eau. Ce mécanisme est reconnaissable à la formation de fissures ou fentes de dessiccation (*mud-cracks*) qui dessinent souvent un réseau de polygones, lequel peut être moulé ou fossilisé par le dépôt d'un nouveau sédiment (modifié de Foucault et al. 2014).

**2.7.17\_Commentaires libres** : s'il y a plusieurs types d'altération, les ajouter ici ; indiquer quel type de remplissage de pores (sédiment encaissant par exemple), si les altérations sont localisées, spécifiques à un volume de la roche...

**2.7.18\_Degré d'altération biologique et chimique (global)** : 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); indéterminé ; non observé ; non pertinent.

**2.7.19\_Commentaires libres** : s'il y a plusieurs types d'altération d'intensité variable.

**2.7.20\_Polarité prédépositionnelle (polarité gîtologique)** : absente ; visible ; indéterminée ; non observée

**2.7.21\_Commentaires** : indiquer impérativement si la polarité prédépositionnelle a été documentée lors de l'échantillonnage et décrire les caractéristiques de la polarité (érosion, patine différentielle, encroûtement, revêtements, etc.)

Polarité prédépositionnelle (polarité gîtologique) : (pétoarchéologie) Les roches et minéraux remaniés peuvent présenter au moins deux surfaces opposées dont les caractéristiques sont suffisamment tranchées pour être différenciées du fait de leur origine gîtologique. Les surface du volume sont susceptibles d'être modifiées différemment tant pour ce qui est de la nature des modifications que de leur intensité (d'après lexique lithothèque).

**2.7.22\_Polarité post-dépositionnelle (taphonomique)** : absente ; visible ; indéterminée ; non observée

**2.7.23\_Commentaires libres** : indiquer impérativement si la polarité génétique a été documentée lors de l'échantillonnage/enregistrement

Polarité postdépositionnelle : (pétoarchéologie) Les roches et minéraux remaniés peuvent présenter au moins deux surfaces opposées dont les caractéristiques sont suffisamment tranchées pour être différenciées du fait de leur position dans le(s) sédiment(s) contenant les vestiges archéologiques. La surface du volume est susceptible d'être modifiée différemment tant pour ce qui est de la nature des modifications que de leur intensité (ACdK et HS).

## **2.8\_SURFACE ANTHROPIQUE ANCIENNE**

**2.8.1\_Couleurs de la surface** : Détermination de la couleur à "l'œil nu" sur la surface externe. Description simple et limitée aux couleurs dominantes de la surface d'origine de la matière, liste fermée, maximum 3 couleurs parmi : aucune ; rouge ; rose ; violet ; orangé ; brun ; jaune ; noir ; blanc ; gris.

On peut choisir des combinaisons de couleurs telles que « rouge ET brun », « rouge ET jaune ». Si une matière contient du jaune, de l'orangé, du brun, du blanc, violet, rouge et du bordeaux, alors ne noter que « jaune ET rouge ET blanc » = teintes dominantes. Pour une matière rouge violacée, ne pas cocher rouge ET violet, mais seulement violet.

**2.8.2\_Commentaires libres sur la couleur externe** : couleur sur cassure fraîche éventuellement

**2.8.3\_Reffet de la surface naturelle, *luster*** : observé à la surface, excepté sur cassure fraîche, liste fermée : mat ; métallique ; gras ; mat à métallique ; mat à gras ; gras à métallique ; indéterminé ; non observé ; non pertinent.

#### **2.8.4\_Commentaires libres sur le reflet**

**2.8.5\_Traces d'altérations physiques sur la surface, *traces of physical weathering*** - : aucune ; fragment ; fracture ; délitage ; choc en V ; cupule de choc ; racine de coup d'ongle ; coup d'ongle ; cônes de pression ; rayure ; stries d'abrasion ; impression, non observée ; indéterminé.

**2.8.6\_Commentaires libres** : s'il y a différentes traces....

**2.8.7\_Type d'altérations physiques\* de la surface, *physical weathering type*** : aucune ; émoussé ; fragmentation ; fracturation ; délitage ; désagrégation ; rubéfaction ; thermoclastie ; haloclastie ; éolisation ; abrasion ; autres (à préciser) ; non observé ; indéterminé ; fouille. Ce champs peut être multi valeurs.

**2.8.8\_Commentaires libres** : s'il y a plusieurs érosions...

**2.8.9\_Degré d'altérations physiques de la surface, *degree of physical weathering*** : 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) ; non observé ; indéterminé.

**2.8.10\_Commentaires libres** : si les érosions sont d'intensité différentes....

**2.8.11\_Degré d'émoussé de la surface naturelle (cf. charte), *degree of roundness*** : absent ; léger (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) ; non observé ; indéterminé.

**2.8.12\_Rugosité de la surface naturelle, *surface roughness*** : absente (la surface est totalement lisse) ; faible (les grains sont à peine mis en relief), moyenne (les grains ou des groupes de grains sont mis en relief) ; forte (les grains sont très bien mis en relief individuellement, au toucher la peau est retenue par la roche) ; non observée ; indéterminée ; non pertinent.

**2.8.13\_Angularité des arêtes associées aux surfaces utilisées, *edge angularity*** : absente ; aiguës ; obtuse ; aiguës et obtuse ; non observée ; indéterminée ; non pertinent.

**2.8.14\_Émoussé des arêtes associées aux surfaces utilisées, *edge roundness*** : absent ; léger (sur moins de 10% de l'arête) ; 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) ; indéterminé ; non observé ; non pertinent.

**2.8.15\_Altération biologique ou chimique de surface : *biological or chemical weathering***, ajout ou retrait de matière d'origine biologique ou chimique en surface de l'objet - aucune ; encroûtement ; revêtement ; hydrolyse ; dissolution ; dissolution différentielle ; golfes de dissolution ; dissolution couvrante ; plage de dissolution ; patine ; remplacement minéral ; recristallisation ; épigénie ; authigénie ; pseudomorphose ; reprécipitation ; précipitation ; oxydation ; réduction ; oxydo-réduction ; poronécrose par colmatage ; poronécrose par tapissage ; dessic(c)ation ; indéterminée ; non observée ; non pertinent. Champs qui peut être multi valeurs.

**2.8.16\_Commentaires libres** : s'il y a plusieurs types d'altération, les ajouter ici ; indiquer quel type de remplissage de pores (sédiment encaissant par exemple), si les altérations sont localisées, spécifiques à un volume de la roche...

**2.8.17\_Degré d'altération biologique et chimique (global)** : 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); indéterminé ; non observé ; non pertinent.

**2.8.18\_Commentaires libres** : s'il y a plusieurs types d'altération d'intensité variable.

## **2.9 AUTRES SURFACES**

**\_Polarité post-dépositionnelle (taphonomique)** : absente ; visible ; indéterminée ; non observée

**\_Commentaires libres** : indiquer impérativement si la polarité génétique a été documentée lors de l'échantillonnage/enregistrement

Polarité postdépositionnelle : (pétraarchéologie) Les roches et minéraux remaniés peuvent présenter au moins deux surfaces opposées dont les caractéristiques sont suffisamment tranchées pour être différenciées du fait de leur position dans le(s) sédiment(s) contenant les vestiges archéologiques. La surface du volume est susceptible d'être modifiée différemment tant pour ce qui est de la nature des modifications que de leur intensité (ACdK et HS).

## **3\_COULEUR**

**3.1\_Couleur de la trace, *colour of the streak*** : Tracé d'un trait sur de la porcelaine dépolie puis utiliser la liste fermée, ne cocher qu'une seule teinte : aucune ; rouge ; rose ; violet ; orangé ; brun ; jaune ; noir ; blanc ; gris ; indéterminée ; non observée.

**Commentaires libres sur la trace** : indiquer le degré de facilité à faire la trace

Trace, *streak* : couleur de la poudre d'un minéral obtenue par frottement sur de la porcelaine blanche non émaillée ; ce qui permet un meilleur diagnostic d'identification minéralogique que la couleur du minéral.

**3.2\_Minéraux chromogènes** ; liste fermée ; choix multiples : aucun ; hématite ; goethite ; magnétite, jarosite, oxydes et oxyhydroxydes de manganèse ; galène ; calcite ; autres (à préciser) ; indéterminé ; non observé.

Indiquer le minéral chromogène le plus abondant dans la liste déroulante.

**3.3\_Commentaires libres** : S'il y a d'autres minéraux chromogènes.

Minéral chromogène, *chromogenic/colouring mineral* : minéral responsable de/qui engendre la coloration de la roche (modifié d'après Prinnet, 1945, p.76, in : CNRTL)

Goethite, *goethite* : hydroxyde  $\text{FeO.OH}$ , système orthorhombique en cristaux **tabulaires\*** (à clivage parfait), **aciculaires\***, **lamellaires\***, ou en **prismes\*** courts, et en masse **concrétionnée\*** ; elle est le plus souvent d'un noir brillant mais aussi jaunâtre, rougeâtre ou brune et accompagne les autres oxydes de fer. (Termes associés à éviter : limonite, ocre) (modifiée de Foucault et al. 2014).

Hématite, *hematite ou haematite* : oxyde de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , système rhomboédrique, de formes variées selon la température de cristallisation, granulaire, **bipyramidée\***, lenticulaire ou **tabulaire\***, **tabulaire hexagonale\***, et enfin **lamellaire\***, à macles fréquentes, avec certaines faces finement striées. Elle est noire à gris acier (poudre rouge en rayant au couteau), avec des variétés à reflets violacés, grises ou rouges. Elle se forme sous conditions oxydantes en imprégnation, en masse et en

**filon\*** dans les roches magmatiques alcalines (**granite\***, **rhyolite\***, **trachyte\***, **syénite\***), dans des **roches métamorphiques\***, et dans les roches altérées (formation secondaire notamment par oxydation des minéraux contenant du fer). Termes associés à **éviter** : sesquioxyde de fer, **spécularite\***, fer **spéculaire\***, **oligiste\***, oligiste spéculaire **limonite\***, **ocre\***, **sanguine\*** (modifié de Foucault et al. 2014).

Oxydes et oxyhydroxydes de manganèse, *manganese oxides* : nombreuses variétés d'oxy(hydroxy)des de manganèse, parmi lesquelles sont définies la manganite :  $MnOOH$ , système monoclinique, pseudo-orthorhombique ; la pyrolusite :  $MnO_2$ , système quadratique ; l'hausmannite  $Mn_3O_4$ , système quadratique ; la romanéchite :  $Ba_2Mn_5O_{10}, nH_2O$ , système monoclinique, parfois appelée aussi psilomélane ; la todorokite :  $(Ca,Na,K)(Mg,Mn^{2+})Mn_5O_{12}, nH_2O$ , système monoclinique; la hollandite :  $Ba_{1-2}Mn_8O_{16}, nH_2O$ , système monoclinique. A l'œil nu et en microscopie optique, il est rare qu'ils aient un **habitus\*** reconnaissable. Les oxydes de manganèse présentent des états de cristallinité différents qui influencent fortement leur couleur : les formes les mieux cristallisées (souvent très dures) sont fréquemment gris métallique, alors que les oxydes de manganèse faiblement cristallisés (souvent tendres et mal consolidés) sont gris terne à bruns. Les poudres obtenues peuvent être noires intenses, brunes ou gris métallique. Les différentes variétés d'oxydes de manganèse sont stables dans des conditions de pression/température différentes (stabilité thermodynamique propre) ; certaines phases seront donc plus courantes dans les milieux marins (pyrolusite et manganite), d'autres dans les roches métamorphiques (ainsi, la rhodonite métamorphique est souvent altérée en romanéchite dans les gisements des Pyrénées françaises), et d'autres en contexte hydrothermal (veines métallifères de manganite, de pyrolusite...). On les trouve aussi régulièrement en paragenèse avec des oxydes de fer. Les matières colorantes manganées les plus couramment identifiées en contexte préhistorique sont la pyrolusite, la manganite et la cryptomélane (d'après Chalmin 2003).

N.B.1 : La romanéchite est parfois nommée psilomélane (son ancien nom). Cependant le terme psilomélane est actuellement tombé en désuétude car il peut aussi désigner un mélange de minéraux à base d'oxydes de manganèse (souvent associés à des oxydes de fer). Ce type de mélange est synonyme de minerai de manganèse dans le domaine industriel. Le nom du minéral psilomélane a perdu sa signification au profit de la désignation par le nom romanéchite caractéristique d'un minéral précis de composition chimique  $Ba_2Mn_5O_{10}, xH_2O$  selon les dernières normes de minéralogie ; ce que nous appliquerons.

N.B.2 : De même que pour les oxydes de fer, il existe un terme fourre-tout pour les matériaux manganés à **éviter**. Le "wad" possède une nature minéralogique mal définie. Il pourrait s'agir d'un mélange d'oxydes de manganèse hydratés et impurs, sans composition fixe. Il présente une substance terreuse, il est tendre et massif, de faible densité. Il est supposé avoir été exploité durant la Préhistoire car il aurait les caractéristiques d'un bon pigment : réduction en poudre facile voire utilisation directe pour réaliser des tracés (Vouvé et al. 1992).

Galène, *galena* : Sulfure de plomb  $PbS$ , contenant des traces d'Ag (jusqu'à 1 %), ou de Fe, Zn, Bi etc., système cubique ; en cubes ou octaèdres ; faces parfois courbes et striées ; **macles\*** fréquentes ; **clivages\*** très faciles suivant les trois directions du cube conférant à la cassure l'aspect de marches d'escalier. Elle présente un vif **éclat métallique\*** et une couleur gris de plomb. On la trouve en **imprégnation\*** dans des roches sédimentaires calcaires ou gréseuses, dans des roches volcano-sédimentaires, et surtout dans des **filons\***, avec **quartz\*** et carbonates, et d'autres minéraux en particulier sphalérite (anciennement blende), **pyrite\***, et chalcopryrite (cette association étant communément appelée B.P.G.C.). La barytine (anciennement baryte), fluorite et calcite en particuliers sont aussi fréquemment



associées à la galène. Minerais de plomb commun. LPA/LPNA : isotrope (Foucault et al. 2014 ; Deer et al. 2013).

**3.4\_Transparence des minéraux :** transparent, translucide ; opaque ; indéterminé ; non observé.

**3.5\_Reffet:** métallique ; submétallique ; mat ; gras ; adamantin ; vitreux ; nacré ; irisé ; résineux ; terne ; indéterminé ; non observé.

Reffet, *luster* : décrit l'apparence que peut prendre une surface cristalline lorsqu'elle est correctement éclairée ; l'aspect qu'offre la surface des minéraux lorsqu'elle réfléchit la lumière.

Submétallique\*, *submetallic* : la totalité de la lumière n'est pas réfléchi par la surface des minéraux (exemple de l'hématite, la chromite, lillménite)

Adamantin, *adamantine* : qui a un éclat rappelant le diamant (Foucault et al, 2014), qui réfléchit la lumière comme le diamant (soufre, diamant)

Vitreux, *vitreous* : éclat rappelant celui du verre (calcite).

Nacré, *pearly* : éclat rappelant celui de la nacre (exemple des micas blancs)

Iridescent : qui a des reflets brillants, aux couleurs variées (couleurs de l'arc-en-ciel) (d'après CNRTL et Larousse).

Résineux : éclat rappelant celui de la résine (exemple de l'ambre, soufre natif)

Soyeux : éclat rappelant celui de la soie

**3.6\_Morphologie :** automorphe ; subautomorphe ; xénomorphe ; automorphe à subautomorphe ; subautomorphe à xénomorphe ; automorphe à xénomorphe ; indéterminée ; non observée.

Automorphe, *euhedral* : Lorsqu'un cristal peut se développer sans entrave, il prend naturellement une forme polyédrique limitée par des faces planes, des arêtes et des sommets (Foucault et al. 2014).

Subautomorphe, *subhedral* : cristal partiellement limité par des faces planes (ACK).

Xénomorphe, *anhedral* : cas contraire de l'automorphe. Sa forme extérieure est quelconque, et dépend de la place qu'a eu le cristal pour croître, ce qui ne modifie en rien ses autres propriétés liées à l'état cristallin (complétée de Foucault et al. 2014).

**3.7\_Habitus des minéraux :** tabulaire ; lamellaire ; en tonnelet (columnaire) ; aciculaire (ou en aiguille) ; filamenteux ou fibreux ; botryoïdal ; cubique ; prismatique ; octaédrique ; rhomboédrique ; granulaire ; massif ; indéterminé ; non observé.

Tabulaire, *tabular* : minéraux en forme de tablettes, qui sont plus large que haut, ce sont des minéraux aplatis (e.g. feldspaths, barytine).

Lamellaire, *platty, flaky* : cet habitus est proche de celui en tablette mais l'épaisseur du cristal y est beaucoup plus faible (e.g., micas, kaolinite) s'applique aux minéraux tabulaires qui sont clivés et vont se cassés **le long des clivages ; ça sépare alors des lamelles** pour donner des formes tabulaires lamellaires ; la hauteur est d'autant plus réduite (forme de « paillette »).

En tonnelet (ou columnaire), *columnar* : minéraux en forme de colonne.

Aciculaire, *acicular* : minéraux en forme d'aiguille : la hauteur est nettement supérieure à la section ; minéraux allongés.

Filamenteux ou fibreux, *fibrous* : minéraux formant de grandes fibres tels l'asbeste (amiante) : la hauteur est très très supérieure à la section. L'allongement est encore plus important que pour les minéraux aciculaires ; minéraux allongés.

Cubique, *equant* : en forme de cube, leur hauteur, largeur longueur sont égales.

Prismatique, *prismatic* : en forme de prisme, la hauteur est un peu supérieure à la largeur et la longueur donnant des minéraux allongés.

Octaédrique : en forme d'octaèdre

Granulaire, *granular* : quand un minéral consiste en un agrégat de grains plus ou moins gros.

Massif, *massive* : un minéral composé de matière compacte avec une forme irrégulière sans apparence particulière comme celles décrites au-dessus.

**3.8 Commentaires** : préciser si c'est une pseudomorphose d'un autre minérale ou une épigénie d'une autre forme reconnaissable (ex : pseudomorphose de cubes de pyrite en goethite, et épigénie d'entrouques par des oxydes de fer).

**3.9 Sphéricité** (*cf.* charte) : sphérique (si pseudo-sphérique arrondi) ; pseudo-sphérique ; sub-sphérique ; aplati ; plat ; indéterminé ; non observé.

**3.10 Arrondi** (*cf.* charte) : arrondi ; subarrondi ; subanguleux ; anguleux ; indéterminé ; nonobservé.

**3.11 Taille (µm)** : taille moyenne

**3.11.1 taille min** (µm) : champs libre

**3.11.2 taille max** (µm) : champs libre

**3.11.3 Cassure** : conchoïdale ; en plans ; irrégulière ; non observée ; indéterminée.

**3.12 Clivage** : aucun ; 1 plan ; 2 plans orthogonaux ; 2 plans à 120° ; 3 plans parallèles aux faces ; indéterminé ; non observé.

**3.13 Commentaire libre** : préciser dans quelle dimension a été vu ou déterminé le clivage, s'il y a deux familles de taille différentes, et si le clivage est parfait, bon ou mauvais.

Clivage, *cleavage* : familles de plans de faiblesse (anisotropies mécaniques) dans la structure cristalline. Le minéral va donc se briser facilement le long des plans de clivage. Alors qu'il ne se brisera très difficilement selon ses faces cristallines (modifiée de Foucault et al, 2014).

**3.14 Abondance** (*cf.* charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; aucun ; abondant (plus de 50 %) ; fréquent (de 25 à 50 %) ; rare (de 10 à 25 %) ; très rare (moins de 10 %) ; indéterminée ; non observée.

**3.15 Tri** (*cf.* charte) : aucun ; très faible ; faible ; modéré ; bon ; très bon ; indéterminé ; non observé.

**3.16 Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; en surface ; encroûtement (sur la surface) ; revêtement ; orientations préférentielles ; foliation ; litage ; alternance de lits ; laminaire

; bimodale ; gradient de couleurs ; granoclassement ; taches non organisées ; concentration isolée ; taches organisées ; répartition concentrique ; remplissages de pores ; remplissage de fracture ; indéterminée ; non observée.

**3.17\_ Commentaires libres** : pour situer, préciser, indiquer le nombre de lits, ... etc.

Répartition : localisation par rapport au reste de la roche (HS, ACK).

Homogène, *homogeneous* : Dont tous les éléments sont de même nature et/ou présentent des similitudes de structure, de fonction, de répartition. Dont les caractéristiques, propriétés sont équivalentes en tout point (TLFi, Académie 9ème édition).

Uniforme, *uniform* : qui ne change pas ; qui est toujours le même ; dont les parties sont semblables ; qui ne présente aucune variété dans sa composition (TLFi, DMF 2015).

Non uniforme

Hétérogène, *heterogeneous* : Dont les éléments sont de nature différente et/ou présentent des différences de structure, de fonction, de répartition. Ces propriétés sont différentes à l'échelle de la zone (TLFi).

Orientations préférentielles, *preferred orientation* : alignement de grains selon un même axe (souvent celui de l'allongement des grains) (HS et ACK, et modifié d'après Boulvain 2010) \*

Foliation, *foliation* : structure des roches dont les minéraux sont arrangés ou aplatis selon des plans parallèles en général lors d'un métamorphisme assez fort. Les minéraux ferromagnésiens présentent cette organisation lorsqu'ils enregistrent le paléomagnétisme. En section, l'aspect est rubané (modifiée de Foucault et al. 2014).

Lit, *bedding* : Ensemble sédimentaire de petite taille (centimétrique à quelques décimètres) de minéraux et **clastes\*** compris entre des surfaces approximativement parallèles, qui correspondent à des discontinuités ou à de brusques variations pétrographiques permettant de délimiter nettement cet ensemble de ce qui l'entoure (modifiée à partir de la définition de "couche" et de "lit" de Foucault et al. 2014).

Alternance de lits, *alternating beddings or alternation* : (exemple les BIF : *Banded Iron Formation*) superposition de deux ou plusieurs **lits\*** de concentrations variables en minéraux, ou contenant des grains de taille différentes, ou à **porosité\*** ou **granoclassement\*** différent, se répétant de manière plus ou moins répétitive (modifié d'après Foucault et al. 2014).

Laminaire, *laminar or platy* : disposition de constituants d'un sédiment en fines **lames\*** ( $\leq 1$  mm), souvent ondulées, parallèles ou obliques. Ces structures sont d'origines diverses (Foucault et al. 2014) (attention *laminary* : désigne un écoulement non turbulent). On parle de lames pour désigner les unités individualisées. Les lames peuvent aussi entourer un grain (cf. **grains revêtus\***, **pisolithes\***).

Gradient, *gradient* : variation progressive des propriétés de la roche d'une surface à une autre. Il peut s'agir de **couleurs\***, de composition des **clastes\***, de **poronécrose\***, de **granulométrie\*** (**granoclassement\***), d'**altération\***, etc... (HS, ACK, EC)

‡Granoclassement (ou granuloclassement), *graded bedding / grading* : Classement des

grains par taille croissante ou décroissante en fonction de la gravité et de la vitesse des courants dans les sédiments détritiques. Il peut être latéral (variation amont-aval de courant de transport) ou vertical. Généralement, la taille des grains croît de la base vers le haut de la séquence notamment dans les dépôts de crues et les turbidites (modifié d'après Foucault et al. 2014).

Répartition concentrique, *concentric distribution* : **Structure\*** concentrique formée de couches d'aspect différent, du fait de la variation de concentrations en éléments lors de la croissance des minéraux, de la formation de la roche ou de son altération (HS ACK).

Remplissage de pores, *pore infillings* : **précipitation\*** d'un ou de plusieurs minéraux dans les **pores\*** (HS ACK), qui peut se faire par **colmatage\*** ou **tapissage\*** suite à un processus de **poronécrose\***.

Remplissage de fracture, *crack infillings* : **précipitation\*** d'un ou de plusieurs minéraux dans les fractures (HS ACK).

**3.18\_Altération\*** des minéraux chromogènes : aucune ; dissolution ; fracturation ; golfes de corrosion ; déformation ; pseudomorphosé par (à préciser) ; pseudomorphose de (à préciser) ; épigénisé par (à préciser) ; épigénie de (à préciser) ; autre ; indéterminée ; non observée.

Corrosion, *corrosion* : à l'échelle du minéral ou de l'amas de cristaux, il s'agit d'une altération chimique superficielle d'un cristal par un liquide ou un gaz. La corrosion provoque une perte de matière depuis la surface avec une morphologie caractéristique de type golfe. L'oxydation est une des réactions possibles entraînant la corrosion. Ex. la rouille du fer est la plus connue, on trouve aussi des oxy(hydroxy)des de fer comme résultats de la corrosion des minéraux ferromagnésiens (oxydation), et lorsque des grains de quartz révèlent des golfes de corrosion suite à la perte de silicium en surface (en particulier dans les roches magmatiques) (Cabane 2012 ; Béranger et Talbot).

Golfes de corrosion, *corrosion embayements* : lacune de matière en surface d'un cristal dessinant une forme entrante régulière et arrondie. Cette lacune est due à la destruction locale du cristal par réaction chimique avec le fluide environnant. Les golfes de corrosion ont des contours géométriques réguliers tandis que la **dissolution\*** souligne voire révèle la forme cristalline (modifiée d'après Foucault et al. 2014).

Déformation, *deformation* : changement de forme des minéraux à la suite de contraintes mécaniques (modifiée d'après Foucault et al. 2014).

Pseudomorphose\*

**3.19\_Commentaires** : s'il y en a de plusieurs types, si elles ont des caractéristiques remarquables (intensité, emplacement, par exemple).

**3.20\_Degré d'altération** : non pertinent ; faible (sur moins de 10 % de la surface) ; moyenne (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) ; indéterminé ; non observé.

---

#### 4\_STRUCTURE\_DES\_ROCHES

Structure, *structure* : tout arrangement relatif de composants. Cette notion s'applique à différentes échelles (régionale à atomique). En géologie, on les distingue généralement selon les composants dont on considère les relations, à savoir les structures cristallines (agencement des atomes dans le réseau, système cristallin), minérales (macles, zonation cristalline, etc.), les **structures des roches\***

(structure pétrographique : à l'échelle macroscopique, le terme texture étant réservé à l'échelle microscopique), tectonique (ensemble de roches, strates, massifs éruptifs). Ici, il s'agira donc de structure observable à l'œil nu (modifié d'après Foucault et al. , 2014).

**4.1 Habitus des échantillons :** sans habitus ; débris ; terrier fossile ; galet ; concrétions indifférenciées ; nodule ; pisolithe ; oncolithe ; grains revêtus ; rhizolithe ; microbialite ; botryoïde ; fibroradié ; mamelonné ; *hardground* ; plaquette (< 10 cm) ; banc (entre 10 cm et 1 m) ; dalle (> 1 m) ; laminaire ; planaire ; indéterminé ; non observé.

Il s'agit de décrire le volume de l'échantillon.

‡Habitus, *habit* : correspond à la morphologie d'un cristal ou d'une roche (Ramade 2008). Ici, l'habitus décrit la forme et l'arrangement externe de la roche.

Sans habitus : aucune morphologie visible (fréquent chez les argiles, les ocres, les matières non consolidées...)

Débris, *rock debris / waste* : (d'éboulis ou d'extraction) **fragment\*** de roche sans forme particulière aux arêtes plus ou moins émoussées (HS).

Terrier fossile, *fossil burrow* : **concrétion\*** de formes diverses qui moulent avec des parois plus ou moins épaisses les creusements ou habitats d'animaux pouvant recouper les **structures\*** sédimentaires. (HS ACK)

‡Galet, *pebble/cobble* : fragment de roche roulé (4-256 mm), formé par **altération mécanique\***, dans les lits des cours d'eau (rivières et fleuves) ou sur les plages, ballotté par les courants et les vagues. En anglais, on fera la différence entre un galet de taille comprise entre 4 et 64 mm (*pebble*) et un de taille comprise entre 64 et 256 mm (*cobble*) (modifié de la *Lithothèque* et de l'office québécois de la langue française, 1989).

‡Galet néocortex lisse : roche roulée caractérisée par une **altération physique\*** (mécanique) et une **altération chimique et biologique\*** forte, qui ont entraîné une disparition de la **rugosité\*** d'origine (REF).

Concrétions (indifférenciées), *concretion* : épaissement par accumulation de matière autour d'un noyau (concrétion ovoïde, subsphérique à sphérique - cf. pisolithe\*, nodule\* - globuleuse) ou sur une surface (concrétion planaire, plaquage), d'origine biochimique (ex : concrétion algale, cf. microbialite\*) ou chimique (ex : concrétion ferrugineuse). Préciser si elle est globuleuse, planaire, etc. (modifié d'après Foucault et al. 2014).

‡Nodule, *nodule* : concrétion centimétrique à décimétrique (> 2 mm), arrondie, lenticulaire, irrégulière, dépourvue de structure interne. Les nodules ont une composition différente de celle de la roche sédimentaire encaissante. Les nodules sont répartis généralement dans le sédiment ou la roche parallèlement à la stratification et peuvent parfois présenter des zonations dues à des variations dans les conditions rédox au cours de leur formation (Boulvain 2010 ; lexique de la *Lithothèque* ; Cayeux 1958 ; Perraud 1963 ; Slansky 1992).

Pisolithe ou pisolite, *pisolith or pisoid* : grains laminés bien arrondis de diamètre supérieure à 2 mm. Ils sont moins communs que les **oolithes\*** et se forment dans des environnements spécialisés, tels que les lagons, les lacs, les rivières et les grottes (ces derniers sont aussi appelés "perles des grottes", "*cave pearl*"). Contrairement aux micro-**oncolithes\*** ils n'y a pas de preuves évidentes pour une origine biologique (modifiée de Dreesen et al. 2016).

Oncolithe (ou oncoïdes), *oncoïds* : grains de taille milli- à centimétriques, arrondis ou de forme irrégulière fait d'un cortex\* laminé (les lamines peuvent s'entrecroiser et sont souvent peu concentriques) et d'un nucleus lithoclastique, bioclastique ou mal défini. Les **lamines\*** sont formées par des organismes sessiles encroûtants (principalement des calcimicrobes et des algues, mais aussi d'autres organismes encroûtants comme des foraminifères). Les oncoïdes sont communs dans les environnements lacustres et marins. Les organismes mentionnés précédemment favorisent et initient la précipitation de calcite (dans le cas de calcaire), agissent comme des encroûtants et des ciments, piègent des sédiments fins ou favorisent la lithification syn-sédimentaire. Les oncolithes sont plus grandes que les **oolithes\*** (> 2 mm). Les micro-oncolithes sont définis comme étant des grains de taille inférieur à 2 mm qui peuvent être facilement pris pour des oolithes. Ces derniers cependant ne présentent pas de microstructures biogéniques (modifié de Dreesen *et al.* 2016).

Grain revêtu, *coated grain* : les grains revêtus ont un nucleus plus ou moins bien défini, couvert par un ou plusieurs revêtements de **carbonates\*** (ou **ferrugineux\***), en général de la **calcite\*** finement cristallisée (appelé **cortex\***). Dans de nombreux grains revêtus ce **cortex\*** est au moins partiellement laminé. Puisque des grains revêtus d'apparence similaire peuvent se former dans des environnements différents, ici, on utilisera simplement une classification descriptive, en suivant Tucker & Wright (1990). Les **oolithes\***, les **pisolithes\***, et les **oncolithes\*** font partie des grains revêtus. Dans les **OIS\*** (*oolithic iron stones* - fer oolithique), les revêtements de grains revêtus ferrugineux sont composés de minéraux ferreux ou ferriques (reprécipitations ou précipitations primaires) incluant la **berthierine\***, la **chamosite\***, la **goethite\*** ou l'**hématite\*** (d'après Dreesen *et al.* 2016).

Rhizolithes (ou rhyzolite), *rhizolith or rhizolit* : concrétions formées à la périphérie des racines. Soit elles sont générées par des échanges ioniques liés à l'activité biologique de ces racines dans un sol, soit la racine sert de support à la formation d'une **concrétion\*** (ACK).

Microbialite, *microbialite* : tapis algaires (ACK)

Botryoïde, *botryoidal* : Littéralement, en forme de grappe de raisin. Amas cristallisé en grappes composées de sphères **fibroradiées\*** qui peuvent être submicroniques à centimétriques (Dana, p. 199).

Fibroradié, *masses with radiating fibres* : s'applique à des **structures\*** montrant des fibres rayonnantes à partir du centre, chaque fibre correspondant soit à un cristal allongé en forme de lame courbe, soit à un empilement linéaire de petits cristaux ayant même orientation cristalline. Cette **structure\*** est présente dans certaines **concrétions** minérales (par exemple certaines **marcassite\***, **pyrite\***, **manganite\***, **pyrolusite\***, **romanéchite\***, **hématite\***, **goethite\***) (modifié d'après Foucault *et al.* 2014).

Mamelonné : (*cf.* approx. rognon cérébroïde dans la notice Silex). Se dit d'une masse minérale dont le relief de la surface est irrégulier, marqué par des bosses arrondies plus ou moins allongées (AcDK et HS).

*Hardground, hardground* : Surface durcie qu'on retrouve sur des roches d'origine marine, notamment sur des **calcaires\***, et souvent imprégnée d'oxydes de fer et de manganèse parfois accompagnés de **glauconite\*** et/ou de **phosphates\***. Les *hardgrounds* sont des horizons de **cimentation\*** syn-sédimentaire qui ont eu lieu à la surface du sédiment ou juste en dessous. On pense que ce sont des dépôts condensés qui traduisent un arrêt de la sédimentation avec ou sans **érosion\*** (synonyme : fond durci) (adapté de Foucault *et al.* 2014).

‡Plaquette, *platelet / small plate* : unité ou strate d'une formation sédimentaire limitée



au toit et au mur par deux joints de stratification de faible épaisseur - (pétraarchéologie) épaisseur (pluri)-centimétrique (REF).

‡Banc, *strata / layer* : unité ou strate d'une formation sédimentaire limitée au toit et au mur par deux joints de stratification - (pétraarchéologie) épaisseur (pluri)-décimétrique (REF).

‡Dalle, *flagstone* : plaque rocheuse monolithe d'une formation sédimentaire limitée au toit et au mur par deux joints de stratification - (pétraarchéologie) épaisseur (pluri)-métrique (REF).

**4.2\_Polarité génétique** : critères observés du sommet vers la base de la strate - absente ; fentes de dessiccation ; rides de courant ; organismes fixés ; ichnofossile(s) ; granoclassement ; stratification oblique ; figure de charge ; orientation des cristaux ; autres (à préciser) ; indéterminée ; non observée.

Polarité génétique, *genetic polarity* : Orientation originelle d'une strate géologique par rapport à la gravité, déterminée par différents critères de polarité : 1/ la datation des strates d'une même série stratigraphique (les plus anciennes en bas, les plus jeunes au sommet), 2/ les organismes fixés restés en position de vie (**polypier\***, **rudiste\***, végétaux, etc.), 3/ les traces d'organismes (**ichnofossile\*** : empreintes de pas ou de reptation, **terriers\***, excréments **fossiles\***), 4/ les figures sédimentaires très nombreuses ou géotropes (fentes de **dessiccation\***, **rides\***, marques de relief, **figures de charge\***) ainsi que 5/ les **structures orientées\*** par rapport à la gravité comme un **granoclassement\*** ou des **stratifications obliques\*** (modifié d'après Foucault et al. 2014).

Fentes de dessic(c)ation, *mud-cracks* : fissures s'ouvrant dans un sol argileux ou un sédiment fin (argiles, marnes), gorgé d'eau, qui se dessèche. Ces fentes dessinent souvent un réseau de polygones qui peut être moulé ou fossilisé par le dépôt d'un nouveau sédiment (modifié de Foucault et al. 2014).

Rides de courant, *Ripple-marks*: **structures\*** ondulées et répétées, d'échelle centimétrique, observables à la surface d'un banc, construites par les mouvements de l'eau. Les rides de courant (*current ripples*) sont de forme asymétrique (pente forte en aval, pente faible en amont) et résultent de l'action d'un courant unidirectionnel (fleuve ou marée). Les rides de vague (*wave ripples*) sont de forme symétrique et résultent du mouvement oscillatoire de l'eau dû à l'action du vent (houle) (Boulvain 2010).

Organismes fixés, *fixed growth* : **Fossiles\*** d'organismes fixés à la surface du sédiment. On les trouve en sommet de banc (REF).

Stratification oblique, *cross bedding ou cross stratification* : Dans une strate ou une formation sédimentaire détritique, on peut observer une superposition de **lits\*** élémentaires disposés obliquement par rapport aux limites de la strate ou de la formation. Très souvent, cette obliquité est minimale ou même nulle à la base de la strate et augmente en s'élevant dans celle-ci, jusqu'à atteindre parfois une trentaine de degrés. La strate ou la formation plus récente reposant par-dessus vient recouper ces **structures\***. Les causes de ses dispositions toujours liées à l'agitation du milieu de sédimentation sont, dans le détail, très variées (courants fluviaux ou marins, houle, vent, ...) (modifié de Foucault et al. 2014).

Ichnofossile, *ichnofossil* : trace **fossile** de la marche ou de la progression d'un animal (pistes), de son habitat (terriers de vers en forme de U, perforation dans des coquilles ou dans des roches), et plus généralement tout vestige de son activité (déjections...) (modifié de Foucault et al. 2014).

Figure de charge, *lode cast* : Figures généralement préservées à la surface inférieure

des strates sableuses, lorsqu'elles sont superposées à des matériaux argileux hydroplastiques. Les formes sont variées, depuis de simples déformations locales jusqu'à des protubérances encore solidaires de la strate sableuse voire complètement détachées. A l'origine de ces déformations, on note surtout une charge de recouvrement inégalement répartie : le comblement de figures d'**érosion\***, des **rides\*** ou la création d'une interface ondulée suite à la propagation d'une onde sismique. L'occurrence des figures de charges n'est pas restreinte à un environnement particulier. La condition primordiale de leur genèse est un rééquilibrage des pressions dans le sédiment avec développement de déformations à l'interface sable/boue (Boulvain et Dumont, 2019).

**4.3\_Dureté** : La dureté peut être variable à la surface d'un bloc. L'expression de la dureté est adaptée à partir de l'échelle de Mohs - tendre ; moyen ; dur ; tendre à moyen ; moyen à dur ; tendre à dur ; indéterminée ; non observée.

#### **4.4\_Commentaires libres sur la dureté :**

Tendre, *soft* : rayable à l'ongle

Moyen, *medium* : raye une pièce de 5 centimes ET est rayée par une lame de couteau en acier

Dur, *hard* : raye une lame de couteau en acier

**4.5\_Cassure, fracture** : conchoïdale, irrégulière ; en plans ; écailleuse ; conchoïdale et irrégulière ; irrégulière et en plans ; conchoïdale et en plans ; conchoïdale et irrégulière et en plans ; indéterminée ; non observée.

Cassure, *fracture* : (géologie, pétrologie) La cassure désigne l'aspect de la surface d'une roche ou d'un cristal qui, après avoir subi une contrainte, se brise en présentant des surfaces de fracture à géométrie particulière selon la nature de la roche ou du minéral. La cassure révèle souvent la cohésion et la **structure de la roche\*** (HS et ACK).

Conchoïdale, *conchoidal fracture* : en forme de coquille (typiquement : obsidienne).

Cassure irrégulière, *uneven fracture* : sans géométrie particulière.

Écailleuse, *splintery fracture* : (ou cassure esquilleuse) cassure intermédiaire entre conchoïdale et irrégulière.

En plans, *planar fracture* : orientée selon des **structures\*** particulières et parallèles de la roche.

#### **4.6\_Commentaires libres sur la cassure :**

**4.7\_Cohésion** : meuble ; friable ; plastique ; cohésive ; non observée ; indéterminée

#### **4.8\_Commentaires libres sur la cohésion :**

Cohésion (ou cohésivité), *cohesion* : propriété d'une roche permettant à ses composants de rester solidaires. La résistance aux frottements et à la pression traduit la cohésion de la roche (modifié d'après CNRTL et Boulvain 2010).

Consolidé, *consolidated* : roche dont les éléments sont reliés par une matière interstitielle que l'on appelle **liant\*** (**matrice\*/ciment\*/verre**). Par exemple, les **grès\*** sont les équivalents consolidés des sables, les **argilites\*** des argiles (modifié d'après CNRTL, Boulvain 2010).

Meuble (ou non consolidé), *unconsolidated / loose* : matière dont les éléments ne sont pas liés entre eux, ne sont pas consolidés ; matière qui est composée de particules libres (ou non cohésive, ex : sable ocreux, poudre, sable, matière pulvérulente...) (modifié d'après CNRTL, Boulvain 2010).

Friable, *crumbly / friable* : matière peu voire moyennement **cohésive\*** qui a tendance à s'effriter (perte de particules, grains...) notamment lors des manipulations, ou par grattage à l'ongle (peu cohésif, ex : marne) (modifié d'après CNRTL, Boulvain 2010).

Plastique : matière cohésive mais non consolidée qui peut se déformer sans perte de volume (ex : argiles) (modifié d'après CNRTL, Boulvain 2010).

Cohésive, *cohesive* : propriété de la matière consolidée, qui ne peut pas être déformée (par simple pression, mais nécessite l'utilisation d'outil pour la réduction en poudre) ni perdre des particules par des manipulations habituelles (ex : basalte, granite, marbre, etc.) (modifié d'après CNRTL, Boulvain 2010).

#### 4.9 Structure de la roche

Structure de la roche (ou **structure\*** pétrographique, texture, fabrique, pétrofabrique), *structure / texture*. Ce qui décrit l'arrangement relatif des composants de la matière et leurs formes. Ici, il s'agit de l'organisation interne de la roche ; les composants sont des **minéraux\*** et/ou des **clastes\*** (modifié d'après Foucault et al. 2014).

**4.10 Structure de la roche (forme et agencement)** : orientée ; fibroradiée ; massive homogène uniforme ; massive hétérogène uniforme ; massive hétérogène non uniforme ; massive indéterminée ; autre (à préciser) ; indéterminée ; non observée

Massive : sans organisation particulière.

Orientation\* : à préciser dans le champs suivant

**4.10 Type d'orientation de la roche** : aucune ; litage ; alternance de lits ; laminaire ; schistosité ; foliation ; orientation des clastes ; gradient de couleur ; granoclassement ; taches organisées ; répartition concentrique ; indéterminé ; non observé.

**4.11 Commentaires libres sur la structure** : autres observations

AJOUTER LES foliation\* etc.

schistosité

litage (cf. **lit\***) : organisation en lit.

#### 4.12 Fractures

**4.13 Type de fractures** : joint ; faille ; veine ; aucune ; indéterminé ; non observé  
Fracture\*

joint, *joint* : Fracture sans déplacement

faille, *fault* : cisaillement, désigne les fractures dont le déplacement se fait dans le plan.

veine, *veins* : fractures en extension, remplie ou non par une autre matière

**4.14 Remplissage de fracture** : aucun ; fracture sans remplissage ; fracture avec remplissage ; indéterminé ; non observé

**4.15 Nature du ou des remplissages de fracture** : non pertinent ; liste de minéraux reconnaissables s'il y a lieu (cf. liste de minéraux 8.2) ; autre ; indéterminé ; non

observé.

**4.16\_Orientation de la ou des fractures** : non pertinent ; aucune ; suit les structures ; coupe les structures ; suit et coupe les structures ; indéterminée ; non observée.

**4.17\_Taille de la ou des fractures (µm) :**

**4.17.1\_largeur de la fracture (µm) :** largeur moyenne de la fracture

**4.17.2\_longueur de la fracture (µm) :** largeur moyenne de la fracture

**4.18 Commentaire sur les fractures** : champs libre. Par exemple, indiquer si ce sont des fractures thermiques, etc.

**4.19\_Porosité, porosity** (cf. charte) : absente ; primaire ; secondaire ; interclastique ; intraclastique ; boxworks ; fenestrée ; moldique ; de chenaux ; intercrystalline ; de fracture ; géodique ; vacuolaire ; indéterminée ; non observée.

‡Porosité, *porosity* : Ensemble des espaces entre les grains non comblés, ou comblés dans un deuxième temps (*Chouquette et Pray (1970), Moore (2001)*).

‡Porosité primaire, *primary porosity* : **porosité\*** créée au moment du dépôt et conservée lors de la **diagenèse\***, (syn. porosité de pores\*) - (Pétroarchéologie) **porosité\*** créée lors de la **diagenèse\*** siliceuse (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Porosité secondaire, *secondary porosity* : **porosité\*** formée dans les sédiments après leur dépôt. - (Pétroarchéologie) **porosité\*** créée lors de l'évolution de la roche (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Porosité interclastique ou intergranulaire, *interparticle porosity* (pétrographie) : qui correspond à l'espace laissé libre entre les éléments figurés (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Porosité intraclastique ou intragranulaire, *intraparticle porosity* (pétrographie) : vides formés à l'intérieur des éléments figurés (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Boxworks, *boxwork* : type de **porosité\*** intraparticulaire qui concerne particulièrement la **dissolution\*** différentielle de certains minéraux en conservant leur forme originale (p. ex. boxworks rhomboédriques de dolomie ; boxworks cubiques de pyrite) (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Porosité fenestrée, *fenestral porosity* : **porosité\*** caractérisée par la présence de pores isolés (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Porosité moldique, *moldic porosity* : **porosité\*** de moulage, **porosité\*** secondaire provoquée par la **dissolution\*** d'un constituant particulier de la roche (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Porosité de chenaux, *channel porosity* : 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 (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Porosité inter cristalline, *inter-crystalline porosity* (ou de joint de grains) (sédimentologie) : elle est constituée par les pores situées entre les cristaux d'une roche. Il s'agit essentiellement d'une microporosité, qu'il est même souvent difficile de discerner au microscope (*Chouquette et Pray 1970, Moore 2001*).

‡Porosité de fissure ou de fracture, *fracture porosity* : **porosité\*** due à l'existence de **fractures\*** et diaclases ouvertes dues à la rupture ou l'éclatement d'une roche (Chouquette et Pray 1970, Moore 2001).

‡Porosité géodique, *vuggy porosity* ou *geod porosity* : vides résultants du développement de géodes dans les roches (Chouquette et Pray 1970, Moore 2001).

‡Porosité vacuolaires (pétrographie), *vesicular porosity* : une **porosité\*** constituée par les vides laissés par la **dissolution partielle\*** ou **totale\*** de certains éléments figurés ou à la présence de bulles de gaz dans leur solidification. La forme de ces espaces est souvent irrégulière (modifié du lexique de la *Lithothèque* et de l'article "vacuolaire" de Foucault et al. 2014).

**4.20\_Abondance** (cf. charte) : non pertinent ; champ alphanumérique en pourcentage ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50%) ; rare (de 10 à 25%) ; très rare (moins de 10%) ; indéterminée ; non observée.

**4.21\_Taille**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des pores allongés : non pertinent ; macropores ; mésopores ; micropores ; macro et micropores ; méso et micropores ; macro et mésopores ; indéterminée ; non observée.  
- Macropores > 500 µm (0,5mm) - mésopores compris entre 50 et 500 µm - micropores < 50 µm

**4.22\_Répartition de la porosité** : liste à choix multiples : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; classement de taille ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

**4.23\_Commentaires libres** : pour situer, préciser, indiquer le nombre de lits... etc.

**4.24\_Nature des remplissages** de la porosité : liste fermée : non pertinent ; aucun ; siliceux ; carbonaté ; argileux ; ferrugineux ; manganeux ; autre (à préciser) ; indéterminé ; non observé.

**4.25\_Commentaires libres** : préciser les minéraux reconnaissables

**4.26\_Type de liant** : aucun ; matrice ; ciment ; matrice et ciment ; plusieurs ciments ; autre ; indéterminé ; non observé.

Liant : phase entre les **grains\*** et les éléments figurés. Pour les roches magmatiques on utilisera plutôt le terme de verre.

Matrice, *matrix* : boue microcristalline (le plus souvent <4 µm) souvent argileuse ou carbonatée qui s'est infiltrée entre les grains au moment du dépôt d'un sédiment (syngénétique). Elle se distingue du **ciment\*** par sa genèse car le ciment précipite entre les grains ultérieurement durant la **diagenèse\*** (post-génétique). Attention, le terme micrite est réservé aux boues carbonatées microcristallines (modifié de l'article "micrite" de Boulvain, 2010).

Ciment, *cement* : phase minérale précipitée dans la porosité du sédiment lors de la **diagenèse\***, c'est-à-dire après le dépôt. Liant entre eux des éléments figurés, le ciment remplit les espaces intergranulaires ce qui consolide les sédiments. Il résulte en général d'une précipitation chimique, finement à largement cristallisée : il s'agit le plus souvent de calcite, de silice, d'oxyde de fer, ou de divers carbonates, silicates, oxydes, phosphates ou encore sulfates. La matière le composant vient souvent en partie des débris eux-mêmes qui se dissolvent préférentiellement à leurs points de contact (lors de la **diagenèse\***). Attention, le terme sparite est réservé aux ciments carbonatés (modifié de Boulvain, 2010 et

Foucault et al. 2014) (et voir **cimentation\***).

**4.27\_Commentaire libre** : indiquer le nombre de ciments

**4.28\_Minéralogie du liant**: non pertinent ; siliceux ; carbonaté ; argileux ; ferrugineux ; manganeux ; autres (à préciser) ; indéterminée ; non observée.

Nature minéralogique du **liant\***

Siliceux, *siliceous* : contenant de forte quantité de silice amorphe ou cristalline.

Carbonaté, *carbonated* : dont la composition est à majorité de carbonates.

Argileux, *argillaceous / clayish* : contenant de forte quantité d'argile ou qui possède les propriétés de l'argile.

Ferrugineux, *ferruginous* : qui contient du fer ou l'un de ses composés ferreux ( $Fe^{2+}$ ) ou ferriques ( $Fe^{3+}$ ) (d'après Foucault et Raoult, 2005).

Manganeux, *manganous* : contenant de forte quantité de manganèse ou de l'un de ses composés (REF).

**4.29\_Abondance** (*cf.* charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50 %) ; fréquent (de 25 à 50 %) ; rare (de 10 à 25 %) ; très rare (moins de 10 %) ; indéterminé ; non observée.

**4.30\_Répartition du liant**

**4.31\_Commentaire sur le liant** : champ libre (granulométrie...), en cas de liants multiples, préciser leur nature minéralogique respective, leur répartition, leur abondance respective.

**4.32\_Matrice**

**4.33\_Minéralogie de la matrice**

**4.34\_Abondance de la matrice**

**4.35\_Répartition de la matrice**

**4.36\_Commentaire libre sur la matrice**

**4.37\_Ciment**

**4.38\_Minéralogie du ciment**

**4.39\_Abondance du ciment**

**4.40\_Répartition du ciment**

**4.41\_Commentaire libre sur le ciment**

---

## 5-8\_ LES ÉLÉMENTS FIGURÉS

Éléments figurés : tous ce qui est inclus dans un **ciment\*** ou une **matrice\*** et qui est reconnaissable soit par sa morphologie soit par sa composition d'une taille assez importante pour se distinguer de la matrice ou du ciment : fossiles, bioclastes, lithoclastes, grains revêtus.



Claste, clast : **fragment\*** de **crystal\***, de **fossile\***, ou de roche inclus dans une roche. Ce terme est souvent utilisé comme suffixe pour désigner une catégorie de **clastes\*** selon leur nature : ex. **lithoclastes\***, **bioclastes\***, porphyroclastes (**fragment\*** de **crystal\*** dans une roche métamorphique) ; ou selon leur origine : ex. **intraclastes\***, **extraclastes\***, endoclastes, exoclastes (modifié d'après Foucault et al. 2014).

## 5\_LES LITHOCLASTES

lithoclastes, *lithoclast* : débris de roche remaniés dans une roche ou un sédiment dont la nature peut être variée (modifiée de Foucault et al. 2014).

**5.2\_Nombre de lithoclastes différents** : champ numérique contraint

**5.3\_Habitus des fragments** : non pertinent ; débris ; rognon ; galet ; concrétions indifférenciées ; botryoïde ; fibroradié ; mamelonné ; laminaire ; planaire ; indéterminé ; non observé.

**5.4\_lithologie des lithoclastes** : non pertinent ; calcaire ; dolomie ; grès ; siltite ; argilite ; quartzite ; silex ; chert ; roche volcanique ; roche plutonique ; roche métamorphique ; indéterminée ; non observée.

Calcaire, *limestone* : roche sédimentaire carbonatée contenant au moins 50% de **calcite\*** CaCO<sub>3</sub> pouvant être accompagnée d'un peu de **dolomite\***, d'aragonite et de **sidérite\***. Ils sont de faible dureté (rayé au couteau), et font effervescence à l'HCl 10% (les dolomies font peu effervescence). Dans la plupart des cas ils tirent leur origine de l'accumulation de squelettes, de coquilles, de tests calcaires... Une petite part résulte de précipitations chimiques ou biochimiques. Ils sont souvent formés en milieu marin ou lacustre (extrait de Foucault et Raoult, 2005).

Dolomie, *dolomite* : roche sédimentaire carbonatée contenant 50% ou plus, de carbonate, dont la moitié au moins sous forme de **dolomite\*** (Ca, Mg) (CO<sub>3</sub>). Le terme englobe en pratique les dolomies pures (90 à 100% de dolomite) et les dolomies calcarifères ou calcareuses (50 à 90% de dolomite). Les dolomies ne font pas/peu effervescence à froid avec un acide dilué (HCl à 10%) ce qui les différencie des **calcaires\*** (extrait de Foucault et Raoult, 2005).

‡Grès, *sandstone* : (pétrographie) roche sédimentaire détritique, arénite consolidée comportant au moins 75% à 85 % de grains de **quartz\*** plus ou moins arrondis de 62 µm 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,—**silcrète\*** : à cassure de moins en moins **irrégulière\***) ; les grès à ciment calcaire ; les grès calcarifères dont le ciment n'est qu'en partie calcaire ; les grès à ciment dolomitique, argileux, phosphatés, ferrugineux, gypseux, bitumeux (REF).

Siltite, *siltstone ou siltite* : roche sédimentaire détritique consolidée dérivant d'un silt donc à grains de taille compris entre 1/256 mm (3.9 µm) et 1/16 mm (62.5 µm). Selon les auteurs, le mot pélite peut être employé dans le sens de silts fins déposés dans un milieu plus calme, par décantation ; il s'agit en fait de limons (silts fins + moyens) ; dans ce cas le mot siltite est employé pour désigner les roches composés de silt grossiers. D'autres auteurs utilisent le terme indifféremment pour désigner des **siltite\*** et **argilite\*** (modifié d'après Foucault et al. 2014, classification

granulométrique USDA).

‡Argilite, *argilite* : (ou lutite, pélite , ou *rock clay, claystone*) roche finement détritique argileuse et faisant pâte avec l'eau, grains non visibles sur le terrain puisque leur taille est <3.9 µm. Elles contiennent majoritairement des minéraux argileux. Elles peuvent être finement laminées et contenir des débris de tests. Elles peuvent être en alternance avec des bancs plus grossiers (REF).

‡Quartzite, *quartzite* : Roche siliceuse d'origine métamorphique, compacte, à cassure conchoïdale dont le plan de cassure recoupe les grains. Un quartzite est constitué de cristaux de **quartz\*** souvent dentelés. Dans les quartzites, la porosité, le ciment et la matrice ont disparu (REF).

‡Silcrète, *silcrete* (pétrographie) : roche siliceuse d'origine sédimentaire, compacte, à cassure conchoïdale dont le plan de cassure recoupe les grains. Une silcrète est constituée de cristaux de **quartz\*** présentant une couronne de **recristallisation\***. Roche siliceuse issue de formations continentales superficielles ou sub-superficielles (1902-1907 chez G.W. Lamplugh). Leur origine fait suite à un apport hydrique vadose de silice et à sa précipitation dans un sol (silcrète pédogénétique) ou dans une formation située dans la zone phréatique (silcrète phréatique). En pédologie, sorte de (micro)conglomérat (sables, graviers) cimenté par de la silice et par extension croûte siliceuse (cf. dico géol).

Roche volcanique, *volcanic rock* : **roche magmatique\*** partiellement cristallisée composée de phénocristaux visibles à l'œil nu noyés dans une "pâte" microcristalline, la mésostase cristallisée (les minéraux, microlites, ne sont pas visibles à l'œil nu) et/ou vitreuse (absence de microlites, phase amorphe).

Roche plutonique, *plutonic rock* : **roche magmatique\*** entièrement cristallisée et constituée de phénocristaux visibles à l'œil nu.

Roche métamorphique, *metamorphic rock* : les roches métamorphiques correspondent à d'anciennes roches (sédimentaires, magmatiques voire métamorphiques) dont les assemblages minéralogiques se sont rééquilibrés dans de nouvelles conditions de pression, température, déformation, fluides....

**5.5\_Origine** : non pertinent ; intraclastes ; extraclastes ; indéterminée ; non observée.

‡Intraclaste, *intraclast* : **lithoclastes\*** du même âge et de même nature que le sédiment qui les contient ; i.e., formation synchrone de la roche (modifié de Foucault et Raoult, 2005 et de la Lithothèque).

‡Extraclastes, *extraclast* : **lithoclastes\*** d'âge différent - i.e., formation diachrone (antérieure) - et de nature distincte du sédiment -ou de la roche- qui les contient (REF).

**5.6\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de lithoclastes considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**5.6.1\_Taille minimum (mm) :**

**5.6.2\_Taille maximum (mm) :**

**5.6.3\_Taille moyenne (mm) :**

**5.7\_Tri** (cf. charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; indéterminé ; non observé.

**5.8\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

‡Orientée, *preferred orientation* : les éléments figurés allongés présentent tous une orientation similaire ; généralement dans l'axe de la  $S_0$  (stratification).

Gradient, *gradient* : variation progressive des **lithoclastes\*** d'une surface à une autre.

**5.9\_Abondance** (cf. charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50 %) ; rare (de 10 à 25 %) ; très rare (moins de 10 %) ; indéterminée ; non observée.

**5.10\_Sphéricité** (cf. charte) : non pertinent ; pseudo-sphérique ; sub-sphérique ; aplati ; plat ; indéterminé ; non observé.

**5.11\_Arrondi** (cf. charte) : non pertinent ; arrondi ; subarrondi ; subanguleux ; anguleux ; indéterminé ; non observé.

**5.12\_Contacts entre les grains** : cf. charte : non pertinent ; absents ; ponctuels (points de contacts) ; longs (surfaces de contacts) ; mixtes (longs et ponctuels) ; sutured ; indéterminés ; non observés.

**5.13\_Commentaires** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), l'orientation des grains, leur répartition, leur couleur...

A répéter autant de fois qu'il y a de lithoclastes différents

---

## **6\_GRAINS\_BIOCLASTES : (il manque les références)**

‡**bioclastes** : éléments figurés exclusivement constitués par des restes de fossiles

**6.1\_Les gastéropodes** : aucun ; Helicidés ; Limnées ; Planorbis ; Potamides ; indéterminés ; non observé — champs multivaleurs

‡Gastéropode, *gastropod* : 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 (Moureau et Brace, 2000). La partie interne des tours (spires) est appelée columelle.

‡Hélicidés, *Helicidae* : mollusques gastéropodes pulmonés terrestre à coquille en hélice ;

‡Limnées, *Lymnaea* : genre de mollusques gastropodes pulmonés d'eau douce à coquille fusoidale ou en pointe conoïdale enroulée en spirale à tours réguliers, croissant rapidement à terminal ample, lisse et finement striés par les accroissements.

‡Planorbis, *planorbids* : genre de mollusques gastropodes pulmonés d'eau douce, à coquille presque discoïdale à enroulement en spirale hélicoïdale et aplatie ;

‡Potamides, *potamides* : 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 ornés.

**6.2\_État des gastéropodes** : non pertinent ; fragments anguleux centimétriques ; fragments anguleux millimétriques ; fragments anguleux inframillimétriques ; débris de toutes tailles ; entiers ; roulés ; encroûtement ; ferruginisés ; épigénisés par (à préciser) ; dissous ; indéterminé ; non observé.

**6.3\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de bioclastes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**6.3.1\_Taille minimum (mm) :**

**6.3.2\_Taille maximum (mm) :**

**6.3.3\_aille moyenne (mm) :**

**6.4\_Tri** (cf. charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; indéterminé ; non observé.

**6.5\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

**6.6\_Abondance** (cf. charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50 %) ; fréquent (de 25 à 50 %) ; rare (de 10 à 25 %) ; très rare (moins de 10 %) ; indéterminé ; non observée.

**6.7\_Contact entre les grains** : cf. charte : non pertinent ; absents ; ponctuels (points de contacts) ; longs (surfaces de contacts) ; mixtes (longs et ponctuels) ; sutured ; indéterminés ; non observés.

**6.8\_Commentaires libres** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), leur orientation, leur répartition, leur couleur, une précision sur leur nature...

**6.9\_Autres macrofaunes** : aucun ; bivalve ; brachiopodes ; ostracodes ; rudistes ; bryozoaires ; stellérides ; polypiers ; autres (à préciser) ; indéterminé ; non observé — champs multivaleurs

‡Bivalve, *bivalve* : organisme à symétrie bilatérale, protégé par une coquille carbonatée (calcite et aragonite) à deux valves et présentant chacune un crochet. Chez les bivalves le plan de symétrie passe généralement entre les deux valves. Syn. Lamellibranche, Pélécyopode, ostracode, mollusque et brachiopodes.

‡Brachiopode, *brachiopod* : organisme à coquilles carbonatée, bivalve fixée, à symétrie bilatérale et présentant du côté dorsal un crochet perforé (foramen). A l'opposé des lamellibranches le plan de symétrie est perpendiculaire au plan d'accrolement des deux valves. Le foramen permet le passage du pédoncule de fixation.

‡Ostracode, *ostracod* : groupe de crustacés à corps non segmentés enfermés dans une coquille bivalve chitineuse et souvent calcaire. 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 paléoenvironnementaux.

‡Rudiste, *rudist* : (Mésozoïque, disparition à la fin du Maastrichtien) mollusque fossile lamellibranche à coquille longue et épaisse, dissymétrique, l'une des valves est hypertrophiée, et l'autre réduite forme un couvercle.

‡Bryozoaires, *bryozoa* (Cambrien à l'actuel) : qualifie des organismes coloniaux constructeurs sessiles surtout marins. 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 chéilostomes\*) 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 basée 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 peuvent vivre jusqu'à 500 mètres de profondeur.

‡Stellérides, *Stelleroidea* : classe d'**échinodermes\*** comprenant les astéries (étoiles de mer) et les ophiures

‡Polypiers : l'animal lui-même s'appelle le *polype*. Ils adoptent généralement une forme de cône ou de coupe plus ou moins évasées, de section circulaire, ovale, ou irrégulière. Ils 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*.

**6.10\_État des autres macrofaunes** : non pertinent ; fragments anguleux centimétriques ; fragments anguleux millimétriques ; fragments anguleux inframillimétriques ; débris de toutes tailles ; entiers ; roulés ; encroûtement ; ferruginisés ; épigénisés par (à préciser) ; dissous ; indéterminé ; non observé.

**6.11\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de bioclastes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**6.11.1\_Taille minimum (mm) :**

**6.11.2\_Taille maximum (mm) :**

**6.11.3\_Taille moyenne (mm) :**

**6.12\_Tri** (*cf.* charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; indéterminé ; non observé.

**6.13\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

**6.14\_Abondance** (*cf.* charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50 %) ; fréquent (de 25 à 50 %) ; rare (de 10 à 25 %) ; très rare

(moins de 10 %) ; indéterminée ; non observée.

**6.15\_ Commentaires libres** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), leur orientation, leur répartition, leur couleur, une précision sur leur nature...

**6.16\_ Les algues et bactéries** : aucune ; algues ; diatomées ; cyanobactéries ; stromatolithes; indéterminée ; non observée— champs multivaleurs

‡Diatomées, *diatoms* (Toarcien ? ou Barrémien à l'actuel) : groupe d'algues unicellulaires chlorophylliennes planctoniques ou benthiques (Bacillariophycées). Dulçaquicoles ou marines, 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), les pennales (à valves elliptiques disposition bilatérale des pores).

‡Cyanobactéries, *cyanobacteria* (ou cyanophytes, *cyanophyta*) : Ce sont des algues bleues et d'après la nomenclature communément admise (Rippka et al. 1979), elles se répartissent en 5 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 µm et ont tendance à former des filaments engagés dans la constitution des stromatolithes\*.

‡Stromatolithes, *stromatolites* (Précambrien à l'actuel): structures laminées de taille variable (millimétrique à métrique) dues à l'activité des algues (**Rhodophycées\*** et **Cyanophycées\***) constituées principalement de particules détritiques piégées ou de minéraux précipités 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. (1964) est très pratique à utiliser en termes descriptifs.

**6.17\_État des bactéries et algues** : non pertinent ; fragments anguleux centimétriques ; fragments anguleux millimétriques ; fragments anguleux inframillimétriques ; débris de toutes tailles ; entiers ; roulés ; encroûtement ; ferruginisés ; épigénisés par (à préciser) ; dissous ; indéterminé ; non observé.

**6.18\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de bioclastes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**6.18.1\_Taille minimum (mm) :**

**6.18.2\_Taille maximum (mm) :**

**6.18.3\_Taille moyenne (mm) :**

**6.19\_Tri** (cf. charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; indéterminé ; non observé.

**6.20\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.



**6.21\_Abondance** (cf. charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50%) ; rare (de 10 à 25%) ; très rare (moins de 10%) ; indéterminée ; non observée.

**6.22\_Commentaires libres** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), leur orientation, leur répartition, leur couleur, une précision sur leur nature...

**6.23\_Les foraminifères** : aucun ; foraminifères benthiques ; foraminifère planctonique ; indéterminés ; non observé — champs multivaleurs

‡Foraminifères, *foraminifers* : ils forment le groupe le plus important de **microfossiles\***, tant par leur nombre que par leur abondance dans les roches carbonatées et siliceuses. L'ordre est connu depuis le Cambrien. Ils regroupent des êtres unicellulaires caractérisés par le test\* (formation endosquelettique secrétée ou construite par **cimentation\***) 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 membrane chitineuse (mucopolysaccharide) généralement bien conservée dans les silex. 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 polythames. 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\* (carbonaté, chitineux, rarement siliceux). 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 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. 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-triassique frappe de plein fouet les populations de foraminifères. Au Jurassique, à la faveur du *bottle neck* induit par la disparition de certains ordres et de la conquête de nouvelles niches écologiques se développe la classe des miliolidés et les 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 lituolidés, des alvéolinidés, des nummulitidés), au Miocène (disparition des Orbitoïdes) et encore aujourd'hui où ces foraminifères sont en voie d'extinction. Les petits benthiques et les planctoniques sont par contre largement représentés parmi la microfaune marine.

‡Foraminifères benthiques, *benthic foraminifer* : , *benthic foraminifer* : foraminifères qui vivent à l'interface eau-sédiment, dans la zone photique. Ils sont particulièrement abondants et diversifiés en domaine de plateforme. Ils peuvent également vivre dans l'eau saumâtre des estuaires ou dans des lagunes sursalées. Parmi les foraminifères benthiques, certains vivent sur le fond à la surface du sédiment ou sont enfouis dans celui-ci (endofaune), alors que d'autres vivent sur

des supports végétaux, rocheux ou des particules (épifaune) (ref., Boura et al. 2014) .

‡Foraminifères planctoniques, *planktonic foraminifer* : à l'inverse des foraminifères benthiques qui vivent sur le fond, les foraminifères planctoniques sont passivement entraînés par les courants, mais susceptibles d'effectuer des migrations verticales de plusieurs centaines de mètres dans la colonne d'eau lors de leur cycle de vie.

**6.24\_État des foraminifères** : non pertinent ; fragments anguleux centimétriques ; fragments anguleux millimétriques ; fragments anguleux inframillimétriques ; débris de toutes tailles ; entiers ; roulés ; encroûtement ; ferruginisés ; épigénisés par (à préciser) ; dissous ; indéterminé ; non observé.

**6.25\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quel que soit le nombre de bioclastes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**6.25.1\_Taille minimum (mm) :**

**6.25.2\_Taille maximum (mm) :**

**6.25.3\_Taille moyenne (mm) :**

**6.26\_Tri** (cf. charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; indéterminé ; non observé.

**6.27\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

**6.28\_Abondance** (cf. charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50%) ; rare (de 10 à 25%) ; très rare (moins de 10%) ; indéterminée ; non observée.

**6.29\_Commentaires libres** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), leur orientation, leur répartition, leur couleur, une précision sur leur nature...

**6.30\_Nature des coraux** : aucun ; hexacoralliaires ; tabulés ; alcyonaires ; indéterminés ; non observé - champs multivaleurs

‡Corail, *coral* (Cambrien à l'actuel) : Les coraux sont des animaux (polypes) de l'embranchement des Cnidaires, caractérisés par un squelette **calcaire\***, qui vivent souvent en colonie dans des mers chaudes et peu profondes. 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, *Hexacorallia* (Trias - actuel) : Les Hexacoralliaires se développent à partir du Trias et se perpétuent jusqu'à aujourd'hui. Les polypes, de forme cylindrique et cloisonnés par des lames (septes) présentent en plus d'une symétrie radiaire, une symétrie d'ordre six ou d'un multiple de six. Ce sont les Madréporaires, Coralliaires ou coraux au sens strict.

‡Tabulés, *tabulate corals* (Ordovicien - Permien) : les tabulés sont des formes récifales coloniales uniquement Paléozoïques de formes massives ou ramifiées. Les

polypes élémentaires sont des tubes cylindriques isolés où associés entre eux appelés les tubes stoloniaux. Ces tubes sont coupés par des planchers horizontaux ou obliques. Les polypes communiquent entre eux par des pores muraux.

‡Alcyonaires, *Alcyonaria* (or *octocorallia*) (Trias – actuel) : 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).

**6.31\_État des coraux** : non pertinent ; fragments anguleux centimétriques ; fragments anguleux millimétriques ; fragments anguleux inframillimétriques ; débris de toutes tailles ; entiers ; roulés ; encroûtement ; ferruginisés ; épigénisés par (à préciser) ; dissous ; indéterminé ; non observé.

**6.32\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de bioclastes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**6.32.1\_Taille minimum (mm) :**

**6.32.2\_Taille maximum (mm) :**

**6.32.3\_Taille moyenne (mm) :**

**6.33\_Tri** (cf. charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; indéterminé ; non observé.

**6.34\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

**6.35\_Abondance** (cf. charte) : champ alphanumérique en pourcentage : non pertinent ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50%) ; rare (de 10 à 25%) ; très rare (moins de 10%) ; indéterminée ; non observée.

**6.36\_Commentaires libres** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), leur orientation, leur répartition, leur couleur, une précision sur leur nature...

**6.37\_Les échinodermes** : aucun ; crinoïdes ; entroques ; ossicules ; pinnules ; sclérites ; indéterminé ; non observé — champs multivaleurs

‡Échinodermes, *echinoderm* : embranchement d'animaux marins caractérisés par un exosquelette constitué de plaques calcitiques et un système ambulacraire. Ces organismes présentent en général une symétrie d'ordre cinq. Ils sont benthiques et vivent donc à l'interface eau-sédiment, à toutes profondeurs, libres ou fixés selon les espèces. Ils se répartissent en onze ordres : les astéries (Asteridae), 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,...).

‡Crinoïdes, *crinoid* (Ordovicien à l'actuel) : 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 superposées perforées 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, *crinoid fragment (or Indian beads)* : 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.

‡Ossicules, *ossicle* : petites structures ou plaques qui forment le squelette endodermique des **échinodermes\***.

‡Pinnules, *pinnule* : ramifications latérales sur les bras de certaines **crinoïdes\***.

‡Sclérites, *sclerite* : osselets composants le squelette des **holothuries\***. Ce sont des plaques calcitiques fenestrées ou grillagées, circulaires ou ovales en formes de roues ou de disques. Certaines sont en forme d'ancre de marine.

**6.38\_État des échinodermes** : non pertinent ; fragments anguleux centimétriques ; fragments anguleux millimétriques ; fragments anguleux inframillimétriques ; débris de toutes tailles ; entiers ; roulés ; encroûtement ; ferruginisés ; épigénisés par (à préciser) ; dissous ; indéterminé ; non observé.

**6.39\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de bioclastes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**6.39.1\_Taille minimum (mm) :**

**6.39.2\_Taille maximum (mm) :**

**6.39.3\_Taille moyenne (mm) :**

**6.40\_Tri** (*cf.* charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; non observé.

**6.41\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

**6.42\_Abondance** (*cf.* charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50 %) ; fréquent (de 25 à 50 %) ; rare (de 10 à 25 %) ; très rare (moins de 10 %) ; indéterminée ; non observée.

**6.43\_Commentaires libres** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), l'orientation des grains, leur répartition, leur couleur, une précision sur leur nature...

**6.44\_Les échinides** : aucun ; radioles ; ossicules ; tubercules ; aire interambulacraire ; aire ambulacraire ; indéterminés ; non observé— champs multivaleurs

‡Échinides, *echinid* (Ordovicien à l'actuel) : Ces organismes benthiques appartiennent au groupe des **Échinodermes\***. 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. Des oursins entiers sont assez fréquemment conservés par silicification (notamment dans les terrains sénoniens, Cayeux 1958) ou par ferruginisation, dans les roches. Ils sont en général 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.

‡Radioles, *radioles* : piquants d'oursin.

‡Plaques, *plaques* : le squelette de l'oursin est formé par un assemblage d'éléments calcaires nommées plaques ou ossicules. Ces dernières se présentent sous deux types différents assemblés pour former les **aires ambulacraires\*** et **interambulacraires\***.

‡Tubercules, *tubercles* : supports des radioles ou piquants.

‡Aire ambulacraire, *ambulacral grooves* : elle correspond aux rangées de paires de pores (cf. **porosité\***).

‡Aire interambulacraire, *ambulacral ridge* : chez les oursins elle correspond aux rangées qui portent les **tubercules\***.

**6.45\_État des échinidés** : non pertinent ; fragments anguleux centimétriques ; fragments anguleux millimétriques ; fragments anguleux inframillimétriques ; débris de toutes tailles ; entiers ; roulés ; encroûtement ; ferruginisés ; épigénisés par (à préciser) ; dissous ; indéterminé ; non observé.

**6.46\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de bioclastes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**6.46.1\_Taille minimum (mm) :**

**6.46.2\_Taille maximum (mm) :**

**6.46.3\_Taille moyenne (mm) :**

**6.47.\_Tri** (cf. charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; indéterminé ; non observé.

**6.48\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

**6.49\_Abondance** (cf. charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50%) ; rare (de 10 à 25%) ; très rare (moins de 10%) ; non observée.

**6.50\_Commentaires libres** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), leur orientation, leur répartition, leur couleur, une précision sur leur nature...

**6.51\_Les spongiaires** : aucun ; moxanes; triaxones; toxes; hexactinellidés; démosponges; mégasclères; microsclères; indéterminés ; non observé — champs multivaleurs

‡Spongiaires, *sponges or porifera* (Précambrien à l'actuel) : métazoaire fixé à paroi criblée de pores permettant la circulation de l'eau dans une cavité centrale. 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) constituées de **spicules\***. Les éponges siliceuses sont des **fossiles\*** mieux connus. Elles sont divisées en deux groupes : les **Hexactinellides\*** comprenant (les Lyssacines et les Dictyonines) et les **Démospouges\*** (*Tétracladina*) auxquelles on rattache *Lithistida*.

‡Non observés : son observation n'est pas suffisante pour le caractériser.

‡Moxanes : **spicules\*** à un axe avec une ou deux pointes (monoactine, diactine).

‡Triaxone : **spicules\*** à trois axes perpendiculaires.

‡Toxes : **spicule\*** siliceux de petite taille (microscière) en forme d'arc ou d'accent circonflexe, et présent chez les **Démospouges\*** (Spongiaires).

‡Hexactinellidés, *hexactinellids* : Les Hexactinellidés, dont certaines espèces peuvent vivre jusqu'à 6000 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 a 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).

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

- Les monactinellides dont les spicules sont **monaxones\*** (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 tetraxones (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).

‡Mégasclères de Démospouges, Demospouges' megascleres : **spicules\*** de grande taille (de 10 µm à 1 mm), qui participent au squelette. Ils sont divisés selon le nombre d'axes de symétrie : un seul axe (mégasclère **moxane\***) ou quatre axes (mégasclère tétraxone) et de rayons ou pointes (monoactine, diactine, tétractine).

‡Mégasclères d'Hexactinellides, Hexactinellids' megasclere : **spicules\*** de grande taille



(de 10 µm à 1 mm) à trois axes perpendiculaires (megasclère triaxone), dont les axes déterminent six branches formant un ensemble hexactine.

‡Microsclères, *microscleres* : **spicules\*** de petite taille (de 1 à 100 µm) qui ne participent pas au squelette, à symétrie compliquée et souvent décorés.

**6.52\_État des spongiaires** : non pertinent ; fragments anguleux centimétriques ; fragments anguleux millimétriques ; fragments anguleux inframillimétriques ; débris de toutes tailles ; entiers ; roulés ; encroûtement ; ferruginisés ; épigénisés par (à préciser) ; dissous ; indéterminé ; non observé.

**6.53\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de bioclastes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**6.53.1\_Taille minimum (mm) :**

**6.53.2\_Taille maximum (mm) :**

**6.53.3\_Taille moyenne (mm) :**

**6.54\_Tri** (*cf.* charte) : non pertinent ; très bon ; bon ; modéré ; faible ; très faible ; aucun ; indéterminé ; non observé.

**6.55\_Répartition** : non pertinent ; homogène uniforme ; hétérogène uniforme ; hétérogène non uniforme ; au cœur ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; litage ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée.

**6.56\_Abondance** (*cf.* charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50%) ; rare (de 10 à 25%) ; très rare (moins de 10%) ; non observée.

**6.57\_Commentaires libres** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), leur orientation, leur répartition, leur couleur, une précision sur leur nature...

## 7\_OOÏDES, GRAINS REVÊTUS, ETC.

Grains revêtus, *coated grains* : les grains revêtus ont un nucleus plus ou moins bien défini, couvert par un ou plusieurs revêtements de **carbonates\*** (ou **ferrugineux\***), en général de la **calcite\*** finement cristallisée (appelé **cortex\***). Dans de nombreux grains revêtus ce **cortex\*** est au moins partiellement laminé. Puisque des grains revêtus d'apparence similaire peuvent se former dans des environnements différents, ici, on utilisera simplement une classification descriptive, en suivant Tucker & Wright (1990). Les **oolithes\***, les **pisolithes\***, et les **oncolithes\*** font partie des grains revêtus. Dans les **OIS\*** (*oolithic iron stones* - fer oolithique), les revêtements de grains revêtus ferrugineux sont composés de minéraux ferreux ou ferriques (reprécipitations ou précipitations primaires) incluant la **berthierine\***, la **chamosite\***, la **goethite\*** ou l'**hématite\*** (Dreesen et al. 2016).

Cortex (d'un grain revêtu), *cortex (of a coated grains)* : désigne l'empilement des laminations concentriques (*cf.* **laminaire\***) finement cristallisées formées par précipitation biologique ou chimique constituant l'enveloppe du grain revêtu. Attention à ne pas confondre avec le cortex du silex (inspiré de Boulvain, 2010 et

Dreesen et al. 2016. Cas particulier des **sphérulites\***.

**7.1\_Type des grains revêtus** : aucun ; oncoïdes ; pisolithes; oncolites ; bioclastes roulés ; oolites ; cortoïdes ; spastholites ; intraclastes oolités ; lithoclastes oolités ; oolites superficielles ; oolites multicouches ; oolites composites ; sphérulites; péloïdes ; *vadoids* ; indéterminé ; non observé.

Oncolithes (ou oncoïdes), *oncoïds* : grains de taille milli- à centimétriques, arrondis ou de forme irrégulière fait d'un cortex\* laminé (les lamines peuvent s'entrecroiser et sont souvent peu concentriques) et d'un nucleus lithoclastique, bioclastique ou mal défini. Les **lamines\*** sont formées par des organismes sessiles encroûtants (principalement des calcimicrobes et des algues, mais aussi d'autres organismes encroûtants comme des foraminifères). Les oncoïdes sont communs dans les environnements lacustres et marins. Les organismes mentionnés précédemment favorisent et initient la précipitation de calcite (dans le cas de calcaire), agissent comme des encroûtants et des ciments, piègent des sédiments fins ou favorisent la lithification syn-sédimentaire. Les oncolithes sont plus grandes que les oolites (>2 mm). Les micro-oncolithes sont définis comme étant des grains de taille inférieure à 2 mm qui peuvent être facilement pris pour des oolites. Ces derniers cependant ne présentent pas de microstructures biogéniques (modifié de Dreesen et al. 2016).

Pisolithes ou pisolites, *pisoliths or pisoids* : grains laminés bien arrondis de diamètre supérieure à 2 mm. Ils sont moins communs que les oolites et se forment dans des environnements spécialisés, tels que les lagons, les lacs, les rivières et les grottes (ces derniers sont aussi appelés "perles des grottes", "cave pearl"). Contrairement aux micro-oncolithes ils n'y a pas de preuves évidentes pour une origine biologique (modifiée de Dreesen et al. 2016).

Oolites (ou oïdes), *ooids* : grains revêtus sphériques à ellipsoïdaux à nucleus entouré d'un **cortex\***, de diamètre < 2mm, dont au moins la partie extérieure est finement laminée de manière concentrique. Ils proviennent de milieux dont les eaux sont peu agitées et fortement concentrées en calcite (exemple actuel de la grande plateforme des Bahamas). Leur minéralogies et structures corticales sont variées et dépendent de leur âge géologique, leur mode de formation et leur histoire diagénétique. Le nucleus est généralement un grain détritique (ex. un grain de sable de quartz), un claste de calcaire ou un bioclaste (Dreesen et al. 2016).

‡Oolites superficielles, *superficial ooids* : oolite à une ou deux lamines corticales (Pomerol et al. 2005 ; Dreesen et al. 2016).

Oolites multicouches, *multi-layered ooids* : nucleus entouré de nombreuses lamines concentriques (Dreesen et al. 2016).

Oolites composites (ou multiples), *composite or multiple ooids* : une oolite dont le nucleus est composé de plusieurs oolites (Dreesen et al. 2016).

Bioclastes roulés, *rounded bioclasts* : un bioclaste entouré d'une lamine de **concrétion\*** sub-sphérique à sphérique (Dreesen et al. 2016).

Cortoïdes (ou bahamite), *cortoids* : grain recouvert d'une enveloppe micritique (cf. **micrite\***) ; ce sont des **bioclastes\***, **oolithes\*** ou **lithoclastes\***, dont la périphérie montre une enveloppe micritique non laminée (apparaît comme une enveloppe sombre en lame mince). Cette enveloppe provient de la micritisation (due aux effets des organismes encroûtants et des bactéries), un processus par lequel les marges du grain carbonaté, ou le grain complet, sont remplacées par des carbonates crypto- à micro-cristallins (micrite) (Dreesen et al. 2016).

‡Spastholites, *spastoliths* : oolites déformées lors de la **compaction\***, souvent aplaties avec régulièrement une séparation des couches corticales de leur cortex (Pomerol et al. 2005 ; Dreesen et al. 2016).

‡Sphérulites, *radial ooids or spherulite/sphaerolite* : oolithe dont le **cortex\*** montre une structure radiaire (vraisemblablement suite à la **recristallisation\*** du **cortex\*** à lamination concentrique d'une oolithe) (Purser 1980, Dreesen et al. 2016, Boulvain 2010). (cf. **laminaire\***)

‡Vadoïdes, *vadoïds* : grains plus ou moins arrondis issus d'un remplacement épigénétique (par micritisation (cf. **micrite\***) ou silicification) d'un corps organique développé dans un environnement vadose (zone de percolation) (Peryt, 1983). Forme fréquente dans les silcrètes pédogénétiques. (cf. **épigénie\***)

‡Péloïdes, *peloids* : grains micritiques non squelettiques sans nucléus ni structure interne (entre 100 et 500 µm) à la morphologie plus ou moins régulière plutôt ovoïde, parfois en bâtonnets (Purser, 1980). Ces péloïdes peuvent avoir pour origine des pelotes fécales, la micritisation d'autres grains, des fragments de tapis algaires... Ils se forment en milieux peu profonds, souvent protégés. Remarque: on utilise le terme *pellets* uniquement pour les pelotes fécales; tous les autres sont des péloïdes (Boulvain 2010).

**7.2\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre d'oolithes du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**7.2.1\_Taille minimum (mm) :**

**7.2.2\_Taille maximum (mm) :**

**7.2.3\_Taille moyenne (mm) :**

**7.3\_Tri** (cf. charte) : aucun ; très faible ; faible ; modéré ; bon ; très bon ; indéterminé ; non observé.

**7.4\_Répartition** : homogène ; hétérogène ; orientations préférentielles ; alternance de lits ; plusieurs lits ; 1 lit ; gradient ; granoclassement ; groupements non organisés ; concentration isolée ; groupements organisés ; zonation ; indéterminée ; non observée.

**7.5\_Abondance** (cf. charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50%) ; rare (de 10 à 25%) ; très rare (moins de 10%) ; non observée.

**7.6\_Sphéricité** (cf. charte) : pseudo-sphérique ; sub-sphérique ; aplati ; plat ; indéterminée ; non observée.

**7.7\_Arrondi** (cf. charte) : arrondi ; subarrondi ; subanguleux ; anguleux ; indéterminé ; non observé.

**7.8\_Nature minéralogique** : calcite ; hématite ; sidérite ; goethite ; dolomite ; autre (à préciser) ; indéterminée ; non observée.  
Définition cf. 5.4.1

**7.9\_Nature du noyau** : champs libre

**7.10\_Contact entre les grains** : choix multiple : absents ; ponctuels (points de contacts) ; longs (surfaces de contacts) ; irréguliers ; orientation préférentielle ; autres (à préciser) ; indéterminé ; non observé (cf. charte)

**7.11\_Commentaires** : concernant leur état de conservation (fissurés, dissous...), l'orientation des grains, leur répartition, leur couleur...

Les 12 colonnes sont à répéter autant de fois qu'il y a de grains revêtus ou associés différents

## 8\_MINÉRAUX : LES ESPÈCES MINÉRALES

### minéraux :

**8.1\_Identification des espèces minérales :** aucun ; quartz ; calcédoine ; feldspaths alcalins ; plagioclase ; micas ; muscovite ; biotite ; kaolinite ; carbonate ; calcite ; dolomite ; sidérite ; olivine ; amphibole ; pyroxène ; orthopyroxène ; clinopyroxène ; apatite ; gypse ; glauconie ; berthiérine ; chamosite ; chlorite ; barytine ; sulfure de fer ; pyrite ; marcassite ; magnétite ; tourmaline ; zircon ; rutile ; anatase ; galène ; cérusite ; autres (à préciser) ; indéterminé ; non observé.

Amphibole, *amphibole* : famille d'inosilicate en chaîne double, monoclinique, hydroxylé et ferromagnésien, de formule générale simplifiée  $(Ca,Na)_2(Mg,Fe,Al)_5Si_8O_{22}(OH,F,Cl)_2$ . Les amphiboles constituent une famille de minéraux en prismes plus ou moins allongés, en aiguilles ou en fibres, à section transversale losangique, à angles tronqués, montrant deux clivages à 124°. La couleur est noirâtre, vert sombre à vert clair, brune, parfois bleu lavande ou gris bleuâtre (glaucophane). Leur classification est complexe et est liée aux variations progressives des teneurs en Mg et Fe en Ca, et en Na. **Altération\*** en talc, chlorite, épidote, calcite suivant la composition. En LPnA, ces minéraux colorés présentent de fort pléochroïsme entre des teintes incolores à jaunes et des teintes brunes à vertes, elles ont un relief moyen à fort, et deux clivages faciles à 124° (ou 55°). En LPA, elles ont des teintes masquées par leur couleur et des extinctions obliques d'angle maximal compris entre 18-34°. Les macles sont fréquentes (surtout dans les hornblendes) (Foucault et Raoult, 2005, Deer et al. 2013).

Anatase, *anatase* : Oxyde  $TiO_2$ , du système quadratique, stable à basse température (V. **rutile\*** de même formule  $TiO_2$  (polymorphe), mais stable à haute température), dureté 5.5-6, cassure sub-conchoïdale, éclat adamantin plus ou moins métallique, transparent, translucide, brun, jaune pâle ou brun rouge, indigo, noir, vert pâle, lilas pâle, gris rarement presque incolore; brun, jaune-brun, vert pâle, bleu en lumière transmise. Il peut être trouvé comme minéral accessoire mineur des roches ou filons métamorphiques et magmatiques, ou comme produit d'**altération\*** d'autres minéraux porteurs de Ti comme la titanite ou l'ilménite. Ce sont des minéraux détritiques particulièrement fréquents dans les roches sédimentaires. LPA: haute biréfringence (0.073), zonation possible. Extinction droite LPnA : de même couleur mais de teinte plus claire qu'en macro, pléochroïsme faible, habitus tétraogonal, très fort relief, clivage parfait (110), (100) (modifié de Foucault et Raoult, 2005 ; Deer et al. 2013).

Apatite, *apatite* : phosphate de calcium de formule  $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$  ; système hexagonal ; substitution possible de Mn, Fe, Sr, C, REE ; incolore à blanc quand pure, vert ( $Fe^{3+}$  et  $Fe^{2+}$ ), blanc, jaune, rose pâle ( $Mn^{2+}$ ), bleu ( $Mn^{3+}$ ), violet ( $Mn^{7+}$ ) ou brun ; éclat vitreux, sub-vitreux, résineux ou gras ; dureté de 5 ; cassure irrégulière ou conchoïdale. Les apatites sont généralement des minéraux accessoires dans de nombreux types de roche et sont les minéraux phosphorés les plus abondants. En LPA : biréfringence très faible (bas 1<sup>er</sup> ordre, 0.001-0.007) augmentant de la chlorapatite (0.001) vers la fluorapatite (0.004) et l'hydroxylapatite (0.007), extinction droite. En LPnA : incolore, pléochroïsme faible à moyen pour les variétés colorées, relief moyen, clivage indistinct.

Barytine, *barytine (or baryte)* :  $BaSO_4$ , orthorhombique, densité élevée, éclat vitreux à résineux, nacré sur les surfaces de clivage, cristaux aplatis, tabulaires, parfois lamellaires, en crêtes de coq, fibreux, radiés..., cassure irrégulière, conchoïdale, dureté 2,5 à 3,5, couleur : incolore, parfois blanc, jaune ou teintes pâles. Souvent

trouvé en tant que minéral de gangue dans les gîtes métallifères d'origine épithermale ou mésothermale ; mais elle peut aussi se trouver en lentilles ou dans des gîtes de substitution dans les roches sédimentaires supergènes ou hypogènes. En LPA : biréfringence faible, extinction oblique (36-42°) ; en LPnA : relief moyen, incolore, pléochroïsme faible, clivages parfait parallèle à l'allongement (001), presque parfait sur (210) et bon sur (010) (Deer et al. 2013, *Handbook of Mineralogy*, Mindat).

Berthiérine, *Berthierine* :  $(\text{Fe}^{2+}; \text{Fe}^{3+}; \text{Al}; \text{Mg})_3(\text{Si}; \text{Al})_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  ; phyllosilicate de la famille des serpentines ; monoclinique ; vert olive sombre, vert jaunâtre ; transparent ; éclat **nacré\*** ; dureté 2.5 ; souvent en agrégats oolithiques microcristallins. Commun dans les sédiments marins non métamorphisés ainsi que dans les sols latéritiques et polaires ; associés à la **glauconite\***, la **chlorite\***-vermiculite interstratifiées avec des mica-smectite, la **sidérite\***, la **calcite\***. LPA : biréfringence faible (0.030). LPnA : relief moyen ; clivage net (001). Optiquement proche des chlorites et de la chamosite ; pour les distinguer il vaut mieux utiliser la DRX (Mindat, *Handbook of Mineralogy*, article "chlorite Group" in Deer et al. 2013).

‡ Calcédonite (ou calcédoine), *chalcidony* : 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 (REF).

Calcite, *calcite* : carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , blanc, incolore, crème, jaune, rose, transparent ou translucide, éclat vitreux, dureté 3, système rhomboédrique, effervescence à l'HCl dissout. L'entrée de manganèse dans la **structure\*** entraîne l'apparition d'une couleur rose pâle à rose-rouge. Minéral abondant dans les calcaires et accessoire dans les roches métamorphiques et magmatique sauf dans les carbonatites. En LPA, teintes pastels de la fin du 3<sup>e</sup> ordre et du début du 4<sup>e</sup> ordre, macles polysynthétiques lamellaires fréquentes (bandes **irisées\*** au sein de plages souvent de couleur beige), les macles sont parallèles à la grande diagonale du rhomboèdre et parallèles aux arêtes du rhomboèdre, en LPnA : relief moyen variable selon la section, incolore en général, clivage parfait (Foucault et Raoult, Deer et al. 2013)

Cérusite, *cerussite* : carbonate de plomb,  $\text{PbCO}_3$  ; du système orthorhombique ; tabulaire, équant, pseudohexagonal bipyramidal, granulaire, pulvérulent, stalactitique, agrégats de prismes, rarement fibreux, massif ; incolore, blanc, gris, bleu ou vert ; éclat adamantin, vitreux, résineux, terne ou nacré ; dureté 3-3.5 ; cassure conchoïdale. Commune dans les zones oxydées des gîtes de plomb. LPA : très haute biréfringence (0.273), extinction oblique : 8-14°, macle simples ou cycliques communes. LPnA : incolore, relief très fort, clivage bon sur (110) et (021), faible sur (010) et (012) (Mindat, *Handbook of Mineralogy*).

Chamosite, *chamosite* : phyllosilicates, monoclinique, faisant partie de la famille des **chlorites\***, pôle Fe de la solution solide qu'elle forme avec le clinochlore ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) $_5\text{Al}(\text{Si}_3, \text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$  ; vert, gris vert, noir ; éclat nacré ; dureté : 2-3 ; faiblement magnétique. On peut trouver la chamosite dans les roches riches en fer sédimentaire, elle se forme de manière authigène dans des conditions réductrices en présence de matière organique décomposée, en association avec de la **sidérite\***, **kaolinite\***, **quartz\***, **magnétite\***, **pyroxènes\***, **plagioclase\***, **olivine\***, **calcite\***. LPA : biréfringence faible (0.00-0.02), extinction oblique : 0-30° (Handbook) ou 20-30° (Deer et al. 2013). LPnA : relief modéré, pléochroïsme plus fort que dans les chlorites comportant moins de fer et souvent noir ou vert olive, jaune pâle-vert, couleur d'interférence violette ou bleue (brune pour les chlorites riches en Mg), clivage parfait (001) (mindat, Deer et al. 2013, *Handbook of*

*Mineralogy).*

Chlorite, *chlorite* :  $(Y)_6[(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2]_2 Y'_6(OH)_{12}$  phyllosilicate à **structure\*** voisine de celle des micas, compositions intermédiaires de la solution solide entre la **chamosite\*** et le **clinocllore\***, monoclinique, lamelles aplaties, vert bouteille, éclat vitreux, dureté 2-3. En LPA, teintes du premier ordre anormales bleu à marron sombre, extinction droite, en LPA pléochroïsme moyen vert pâle à incolore, clivage net parallèle aux sections basales, relief faible (d'après Foucault et al. 2014 ; *Handbook of Mineralogy*).

Dolomite, *dolomite* : carbonate de calcium et magnésium  $(Ca, Mg)(CO_3)_2$ , peu réactif à l'acide dilué, trigonal, le Mg est souvent partiellement remplacé par du Fe et/ou du Mn pour produire une dolomite ferrique ou de l'ankérite  $Ca(Fe, Mg, Mn)(CO_3)_2$ . Quand elle est pure, elle est transparente ou blanc nacré, si substitution de fer pour Mg alors couleur jaune ou brune, si substitution de Mn pour Mg alors couleur rouge-rose. Soit sous forme d'agrégat soit sous forme de simple rhomboèdre. LPnA : transparent, clivage parfait  $\{101^{-1}\}$ , LPA : macles fréquentes parallèles à la petite diagonale du rhomboèdre substitution du  $Fe^{2+}$  pour le Mg augmente la biréfringence et les indices de réfraction (de même pour Mn en moins prononcé) (extrait de Deer et al. 2013).

Feldspaths, *feldspar* : silico-aluminate potassique, sodique ou calcique, tectosilicate, monoclinique ou triclinique. Ils se présentent en plaquettes ou en prismes, parfois de plusieurs centimètres, transparents ou blanchâtres (porcelanés, vitreux, laiteux), souvent grisâtres, parfois colorés en rose ou en vert (présence d'inclusions, défauts du réseau cristallin, ...), ou en noir. Ils montrent deux clivages faciles, et fréquemment des macles, soit simples soit multiples, ainsi qu'une zonation. Celle-ci et les macles peuvent fréquemment se voir à l'œil nu, ou à la loupe, du fait de différences de réflexion (bandes, ou zones, brillantes ou mates). Les feldspaths communs sont des solutions solides ternaires entre 3 composants : l'albite (Ab :  $NaAlSi_3O_8$ ), l'orthose (Or :  $KAlSi_3O_8$ ) et l'anorthite (An :  $CaAl_2Si_2O_8$ ). Ceux principalement composés de Ab + Or sont appelés **feldspaths alcalins\*** et ceux à prédominance An + Ab des **plagioclases\***. Les feldspaths sont les minéraux les plus abondants dans les roches magmatiques (ou ignées), les pegmatites. Ils sont communs dans les veines hydrothermales et magmatiques et les roches métamorphiques. C'est uniquement dans les roches argileuses et carbonatée que les feldspaths ont une importance relativement faible (modifié d'après Foucault et al. 2014 et Deer et al. 2013).

Feldspaths alcalins, *alkali feldspar* : tectosilicate de formule  $(K, Na)AlSi_3O_8$ , aluminosilicate de sodium ou de potassium. En LPA, teinte gris blanc, macles fréquentes de Carlsbad (macle simple caractéristiques surtout des feldspaths alcalins) et la péricline et la microcline pouvant former un quadrillage fin; les feldspaths alcalins monoclinique ne peuvent pas présenter de macles polysynthétiques. LPnA relief négatif, incolore, souvent turbide ou à aspect sale (ce qui le distingue souvent du quartz), clivage souvent net parallèle à l'allongement et 2 clivages perpendiculaires en section basale (extrait de Deer et al. 2013).

## Galène\*

Glaucosite, *glauconite* :  $(K, Ca, Na)_{1.2-1.7}(Fe^{3+}, Al, Mg, Fe^{2+})_4[Si_{7.8-7.6}Al_{1-0.6}O_{20}](OH)_4.nH_2O$ ; phyllosilicate de fer et de potassium. Monoclinique, en grains, en pellets composés d'agrégats de petits cristaux micacés ou en fin revêtement, dureté 2, translucide à presque opaque, vert, vert jaune, vert-bleu. LPNA : vert, jaune, vert-olive, pléochroïsme jaune au vert ou jaune plus sombre à bleu vert, la couleur est plus soutenue lorsque la teneur en  $Fe^{3+}$  augmente, relief moyen. LPA : biréfringence plus élevée que la chlorite (3ème ordre), angle d'extinction  $20^\circ-24^\circ$  (mindat, *Handbook of Mineralogy*, Deer et al. 2013).



Gypse, *gypsum* : sulfate de calcium hydraté, monoclinique de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , dureté 2, minéral sulfaté le plus abondant, en association avec le calcaire et les marnes, ainsi que dans les dépôts évaporitiques. En LPA : teinte blanche à jaune pâle du 1er ordre, macles communes en queue d'aronde ou en papillon ou fer de lance, extinction oblique ( $32^\circ$ ); en LPnA : incolore, relief faible, clivage parfait à (010), net à (100) et (011), section losangique fréquente (angle  $114^\circ$ ) (Deer et al. 2013, *Handbook of Mineralogy*).

Kaolinite, *kaolinite* :  $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$  à feuillets de 7 Å (feuillets T-O), à deux couches, fréquente dans les roches sédimentaires argileuses résiduelles ou détritiques, provenant de l'**altération\*** de roches acides riches en feldspath (granites p. ex.). Non reconnaissable au microscope polarisant mais facilement reconnaissable au MEB de par sa structure et sa composition chimique (modifié d'après Foucault et al. 2014 ; Deer et al. 2013).

Magnétite, *magnetite* : oxyde de fer,  $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ , système cubique du groupe des spinelles ; octaèdres, moins souvent en dodécaèdre, très rarement cubique, granulaire, massive ; striée ; noir grisâtre ou noir métallique, éclat métallique à submétallique ; opaque ; dureté 5.5-6.5 ; cassure irrégulière ; clivage sur (111) ; fortement magnétique. Minéral accessoire commun des roches métamorphiques et magmatiques, dans lesquelles la ségrégation magmatique ou le métamorphisme de contact peuvent produire des dépôts d'intérêt économique. Dépôts extensifs dans les formations sédimentaires de type **BIF\*** (*Banded-Iron formation* : fer rubané) ; produit biogénique ; importants dépôts détritiques. LPA/LPnA: Opaque. En lumière réfléchie : gris à nuance brune, non pléochroïque (Mindat, *Handbook of Mineralogy*).

Mica, *mica* : Phyllosilicate composé de feuillets élémentaires, épais de 10 Å (feuillets T-O-T), comportant deux couches de tétraèdres  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  (couches T), avec substitution partielle de Si par Al, encadrant une couche de sites octaédriques (couche O) ; les feuillets sont unis entre eux par des cations K, Na, Fe, Mg,... dont la nature conduit à distinguer les micas noirs ferromagnésiens (ex. biotite) des micas blanc alumineux (ex. muscovite); les micas sont du système monoclinique pseudo-hexagonal. Ils forment une famille de minéraux en prismes aplatis, à clivage (001) parfait, à débit en minces lamelles flexibles et élastiques. Ils ont un aspect nacré, un éclat brillant, souvent métallique (modifié de Foucault et Raoult, 2005 et de Beaux et al. 2011). En microscopie leurs caractères communs sont : un relief moyen, un clivage parfait (parallèle aux sections basales), une biréfringence élevée (0,03-0,05 : 2 ou 3ème ordre) et une extinction pratiquement droite (modifiée de Foucault et Raoult, 2005 et de Deer et al. 2013).

Muscovite, *muscovite* : silicate hydraté d'aluminium, monoclinique allongé et lamellaire. De formule  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH}, \text{F})_2$  ; incolore ou teintes légèrement vertes, rouges ou brunes. Un des micas les plus communs. En LPA, elle présente des teintes très vives et pures : **bleu**, vert, jaune... du 2ème ordre (début du 3ème ordre), un aspect moiré et une extinction droite. En LPnA, ce minéral incolore présente un relief moyen ; un clivage parallèle à l'élongation est souvent visible. La présence de Cr est traduite par un pléochroïsme incolore à vert plus ou moins sombre (Deer et al. 2013).

Biotite, *biotite* : silicate hydraté d'aluminium et de fer ou de magnésium :  $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH}, \text{F})_2$  ; monoclinique allongé et lamellaire à l'éclat métallique noir en macroscopie. En LPA, elle présente des teintes vives du 2ème ordre (début du 3ème ordre) souvent masquées par la teinte propre du minéral (biréfringence moyenne), parfois légèrement chatoyantes plus ou moins irisées et extinction droite. En LPnA, ce minéral pléochroïque a un relief moyen, des teintes brun clair, et présente un clivage parfait parallèle à l'allongement.

Olivine, *olivine* : nésosilicate, orthorhombique ; cristaux de couleur claire, vert jaune à vert olive, éclat gras ; habitus cubique, tabulaire, aciculaire ou dendritique ;

cassure conchoïdale ; dureté 6.5-7 ; solution solide entre la fayalite (pôle Fe) et la forstérite (pôle Mg) de formule  $(\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4$ . Constituant majeur des roches magmatiques et métamorphiques. En LPA, teintes vives, extinction droite souvent ondulante, pas de macles, zonation possibles. En LPnA ; relief fort, pas de pléochroïsme, incolore (pôle Mg) à jaune pâle (pôle Fe), clivages peu visibles, cassures courbes. Les olivines magnésiennes contiennent souvent des inclusions de spinelles chromifères  $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})\text{O}_4$  de couleur brun rouge foncé (Foucault et Raoult, 2005, Deer et al. 2013).

Plagioclases, *plagioclase* : tectosilicate entre l'albite  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  et l'anorthite  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , moins résistant à l'**altération**\* que les feldspaths alcalins. De l'albite cristallise communément à basse température durant la **diagenèse**\* et lors de remplacement. En LPA, teinte blanc à orangé du 1<sup>er</sup> ordre, macles polysynthétiques ou macles de l'albite, en LPnA, incolore, relief faible, clivage fréquent parallèle à l'axe d'allongement (extrait de Deer et al. 2013).

Pyroxène, *pyroxene* : Inosilicate en chaîne simple, ferromagnésien avec, en proportions variables, Ca et Na, du système orthorhombique (orthopyroxène) ou monoclinique (clinopyroxène). C'est une famille complexe de minéraux, en prismes plus ou moins allongés, à sections rectangulaires à angles tronqués montrant en général deux clivages presque orthogonaux, rarement fibreux, à couleur noire à éclat métallique, parfois verte, violacée, grise ; ils peuvent être maclés et zonés. La classification, complexe, est liée aux systèmes cristallins, et aux variations progressives des compositions chimiques : orthopyroxènes et clinopyroxènes (calciques et sodiques). Ils peuvent s'altérer en serpentine, chlorite, calcite et souvent subissent une ouralitisation (formation de hornblende vert pâle, et d'actinote (amphiboles)) (extrait de Foucault et Raoult, 2005).

Orthopyroxène, *orthopyroxene* : famille d'inosilicate, orthorhombique, solution solide entre l'enstatite (pôle Mg) et l'orthoferrosilite (pôle Fe) de formule générale  $(\text{Fe,Mg})\text{SiO}_3$ . L'hypersthène et la bronzite sont des variétés intermédiaires. En LPA, généralement il est dans les teintes du 1<sup>er</sup> ordre (gris/jaunâtre), mais les teintes sont de plus en plus vives lorsque la teneur en fer augmente, il a une extinction droite, pas de macles. En LPnA, incolore à peu coloré, faible pléochroïsme, un clivage très net à 90° en section basale et parallèle en section longitudinale (Foucault et Raoult, 2005; Deer et al. 2013).

Clinopyroxène, *clinopyroxene* : famille d'inosilicate, monoclinique, trapus, de formule générale  $(\text{Mg, Fe, Ca})_2\text{Si}_2\text{O}_6$  ou  $\text{Na}(\text{Fe, Al})\text{Si}_2\text{O}_6$ . Exemple de variétés : diopside (verdâtre et translucide, peut montrer des reflets métalliques), pigeonite, augite (cristaux noir ébène, souvent maclés, zonés), hédénbergite, spodumène, jadéite, aegyrine (en prismes verts ou en fibres). En LPA, ils présentent des teintes très vives (toujours plus fortes que les orthopyroxènes sauf pour la jadéite), avec une extinction oblique (jusqu'à 45°), ils sont souvent maclés. En LPnA, ce minéral présente un relief moyen, un fort pléochroïsme entre l'incolore et le vert jaune ou beige grisé (en réalité plus ou moins marqué), il a un clivage très net à 90° en section basale et parallèle en section longitudinale. Attention les clinopyroxènes sodiques ont un relief plus fort, une biréfringence très forte (0,060) avec des teintes de biréfringence du 4<sup>ème</sup> ordre, un angle d'extinction faible à nul et les augite-aegyriniques sont fortement pléochroïques (Foucault et Raoult, 2005 ; Deer et al. 2013).

‡ Quartz, *quartz* : tectosilicate de la famille des "minéraux de la silice", de formule  $\text{SiO}_2$ , rhomboédrique (trigonal). Comme pour tous les tectosilicates, sa structure est une charpente de tétraèdres  $\text{SiO}_4$ . Il appartient au groupe des oxydes : c'est un dioxyde de silicium. En LPnA, il est incolore, a un relief faible, et est souvent limpide. En LPA, teinte grise à noir, extinction neigeuse et souvent roulante lorsque la roche est déformée.

Sulfure de fer, *ferrous sulphide* :  $\text{FeS}_2$  marcassite ou pyrite, dureté de 6-6.5, jaune avec tendance au gris ou verdâtre, éclat métallique jaune vif, noirs quand finement cristallisés. Opaque en lame mince.

Marcassite, *marcasite* (ou marcassite) sulfure de fer, système orthorhombique en prisme allongé à macles répétées à cassures inégales, jaune avec tendance au gris ou au verdâtre. On la trouve dans des veines métallifères (souvent associée à de la pyrite) ou dans des sédiments (ex. craie) et souvent en boule rayonnée à surface brune (limonite et goethite par **altération\***).

Pyrite, *pyrite* : sulfure de fer, système cubique en dodécaèdre pentagonaux, à macles fréquentes ; éclat métallique jaune vif, brune par **altération\*** (goethite). Elle est largement répandue en masses, veines, imprégnations, en boule rayonnée et cristaux isolés dans les filons hydrothermaux, et diverses roches magmatiques, métamorphiques, sédimentaires (riche en matière organique pour ces dernières). Souvent associés à la chalcopyrite et la galène (+ autres sulfures).

Sidérite (ou sidérose), *siderite* : Carbonate  $\text{FeCO}_3$ , du système rhomboédrique, en prismes à clivages parfaits, dureté 3.5-4.5, cassure irrégulière ou conchoïdale, à éclat vitreux ou soyeux, blond à brun clair, fonçant ou rougissant par **altération\*** à l'air, faiblement effervescent à HCl dilué, lors de la chauffe, libération de  $\text{CO}_2$  et formation d'un oxyde de fer qui peut être magnétique. La sidérite se trouve dans les minerais de fer sédimentaires laminaires, souvent sous sa forme massive, mais peut aussi avoir une structure botryoïdale ou globulaire. On peut également le trouver dans des veines hydrothermales de sulfures et dans quelques dépôts métamorphiques, comme les **BIF\***. Le terme "sphaérosidérite" est utilisé pour les sphérulites de sidérite qui peuvent se trouver dans les roches argileuses ferrifères. On le trouve en cristaux isolés ou en masses spathiques blanchâtres (« fer spathique ») dans les filons métallifères. LPA : biréfringence très élevée (0.242), macle lamellaire possible, extinction droite. En LPnA : incolore à brun jaune, clivage parfait, relief fort. Avec la substitution de Mn pour le  $\text{Fe}^{2+}$  les indices de réfraction, de biréfringence, et la densité sont réduites, et la substitution de Mg pour  $\text{Fe}^{2+}$  réduit d'autant plus ces valeurs (modifié de Foucault et Raoult, 2005 ; Deer et al. 2013).

Rutile, *rutile*: Oxyde  $\text{TiO}_2$ , du système quadratique, stable à haute-température et haute pression (V. anatase et brookite, de même formule  $\text{TiO}_2$ , mais stables à basse température), dureté 6-6.5, cassure irrégulière à conchoïdale, éclat adamantin plus ou moins métallique, brun-rouge, rouge, brun-jaune, jaune, gris-noir, noir, bleuté ou violet. Il montre une macle dite en genou, et se présente en cristaux aciculaires dans les biotites (variété sagénite dessinant un réseau triangulaire), dans les feldspaths, dans les quartz (filonnets blonds dorés : cheveux de Vénus). Le rutile est largement répandu comme minéral accessoire dans les roches fortement métamorphiques (granulites, éclogites) ainsi que dans les roches magmatiques notamment dans les pegmatites. C'est un minéral détritique commun dans les sédiments. LPA: très haute biréfringence (0.294), macle commune souvent en genou ou cyclique, extinction droite. LPnA : brun-jaune à brun-rouge profond, pléochroïsme faible à distinct, très fort relief, clivage bon (110), moyen (100) (modifié de Foucault et Raoult, 2005 ; Deer et al. 2013).

† Tourmaline, *tourmaline* : minéral borosilicate de la famille des cyclosilicates rhomboédriques en prismes allongés  $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al})_3[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{OH}, \text{F})$ . Dureté de 7, noir, brun, bleu, vert, jaune, rouge ou incolore, cassure irrégulière ou conchoïdale. Dans les roches argileuses du métamorphisme de contact, c'est un produit du métasomatisme du bore et surtout c'est un minéral courant dans les pegmatites. Appartient dans les silex aux phases minérales

héritées au même titre que le zircon. En LPA biréfringence moyenne, macle rare, zonation par secteur possible, extinction droite et LPnA jaune à incolore, bleu à jaune ou incolore, pléochroïsme inverse fort (notamment pour les Fe), relief fort, clivage peu marqué  $\{112^{\circ}0\}$  and  $\{101^{\circ}1\}$ .

Zircon, *zircon* : silicate de zirconium, cubique, de couleur très variable à incolore, éclat adamantin, vitreux ou gras, dureté de 7,5. De formule  $ZrSiO_4$  avec de fréquentes traces de thorium et d'uranium radioactifs présents en substitution dans le cristal. Minéral communément accessoire dans les roches magmatiques. Sa dureté élevée et son faible clivage en font un minéral détritique important dans les roches sédimentaires, puisqu'il survit généralement à plus d'un cycle d'érosion et de sédimentation. Il peut incorporer de nombreux éléments (Nb, Hf, Ti, U, Pb et REE) en traces. En LPA biréfringence très élevée 3<sup>ème</sup>-4<sup>ème</sup> ordre, macle rare, zonation possible, extinction droite ; en LPnA : incolore à brun pâle, sans pléochroïsme (ou très faible), relief fort, clivage imparfait en (110) et faible en (111) (Deer et al. 2013).

**8.2\_Couleur des minéraux** : champs libre (penser qu'il puisse y avoir des minéraux incolores)

**8.3\_Transparence des minéraux** : transparent, translucide ; opaque ; indéterminé ; non observé.

**8.4\_Éclat** : métallique ; submétallique ; mat ; gras ; adamantin ; vitreux ; nacré ; irisé ; résineux ; terne ; indéterminé ; non observé. réfléchit la lumière.

**8.5\_Pléochroïsme, *pleochroism*** : oui ; non ; normal ; inverse ; indéterminé ; non observé.

Pléochroïsme : Variations de couleur de certains minéraux, dits pléochroïques, qui apparaissent au microscope en lumière polarisée non analysée (« lumière naturelle ») lorsque l'on tourne la platine du microscope. Les minéraux pléochroïques absorbent différentes longueurs d'onde selon l'orientation de leurs axes optiques par rapport au plan de polarisation de la lumière et la section de leur ellipsoïde des indices (modifiée de Foucault et al. 2005 et Langlois 2007).

Pléochroïsme normal : si la coloration maximum apparaît lorsque l'allongement du cristal et voisin de la direction du polariseur (N-S), on parle de pléochroïsme normal (Langlois 2007).

Pléochroïsme inverse : si la coloration maximum apparaît lorsque l'allongement du cristal et proche de la perpendiculaire à la direction du polariseur (E-W), on parle de pléochroïsme inverse (Langlois 2007).

**8.6\_Commentaires libres du pléochroïsme** : indiquer la gamme de couleurs du pléochroïsme et sa force (très faible : presque pas détectable, fort : changement de couleur évident).

**8.7\_Ordre de biréfringence, *birefringence order*** : (indiquer l'ordre des couleurs de biréfringence), liste fermée : isotrope ; 1<sup>er</sup> ordre ; 2<sup>e</sup> ordre ; 3<sup>e</sup> ordre ; 4<sup>e</sup> ordre, 5<sup>e</sup> ordre, 6<sup>e</sup> ordre.

Biréfringence : Un minéral réfracte un rayon lumineux incident en deux rayons polarisés perpendiculairement, dont l'un dans le plan d'incidence (rayon ordinaire vs rayon extraordinaire). Les deux rayons se propagent à des vitesses différentes. La biréfringence est alors l'écart d'indice maximum des deux rayons (modifiée de Foucault et al. 2005 et Langlois 2007). C'est la couleur observée en LPA (lumière polarisée analysée). Se référer à la charte de biréfringence de Michel Levy (1988ref.).

Isotrope : substance constamment éteinte lors de la rotation de la platine en LPA ; ces substances inclus l'air, le verre, la plupart des liquides et les minéraux cristallisant dans le système cubique (tels que le grenat, la halite, l'hématite, la pyrite).

**8.8\_Indice de Biréfringence, *interference colours and birefringence index*:** champ libre, numérique

**8.9\_Commentaires libres de la biréfringence : gamme de couleurs de la biréfringence.**

**8.10\_Angle d'extinction, *extinction angle* :** champ libre numérique entre 0 et 180°

Angle d'extinction, *extinction angle* : tous les cristaux de minéraux anisotropes montrant des couleurs d'interférence deviennent noirs tous les 90° lors de la rotation de la platine en LPA. L'extinction des cristaux prismatiques allongés automorphes ou subautomorphes peut être décrite comme extinction droite (si l'extinction a lieu lorsque l'allongement ou le clivage du cristal est parallèle à la direction N-S ou E-W) ou extinction oblique. L'angle d'extinction d'un minéral est l'angle entre une direction cristallographique du minéral (direction d'allongement ou clivage...) et sa position d'extinction. Il peut donc être déterminée en fonction d'un set de traces de clivages ou de macles polysynthétique même si la direction de l'allongement d'un cristal reste le meilleur critère. Pour mesurer les angles d'extinction, il faut :

- Trouver un cristal adéquat (préférentiellement un dont la direction d'allongement est reconnaissable)
- Aligner l'axe de l'allongement parallèlement à l'axe N-S et noter le degré correspondant sur la platine au degré près.
- Tourner la platine dans un sens ou l'autre jusqu'à la position d'extinction la plus proche, et noter le degré indiqué sur la platine. Soustraire les deux lectures pour avoir l'angle d'extinction (modifié de Langlois 2007, Charter Mathisen).

**8.11\_Macle, *twins* :** simple ; multiples ; polysynthétiques ; de Carlsbad ; du péricline ; du microcline ; en sablier ; en croix ou macle de croisette ; en chevron ; vicinale ; de Baveno ; aucune ; indéterminées ; non observées

Macle, *twins* : certains minéraux forment lors de leur croissance des macles. La macle est une association de cristaux de même nature orientés selon des lois géométriques précises, liées aux éléments de symétrie du système cristallin considéré. Une macle peut se réaliser par accolement selon une face définie, ou par interpénétration de cristaux. Elle peut être simple (deux cristaux associés) ou multiple (plus de deux cristaux).

Macle polysynthétique, *polysynthetic twins* : association de nombreux cristaux minces parallèles les uns aux autres (feldspaths plagioclases) (modifiée de Foucault et al. 2005).

Macle de Carlsbad, *carlsbad twins*: deux individus accolés dans le plans de l'allongement du cristal (dans les feldspaths alcalins ; Langlois 2007 ; Foucault et al. 2005).

Macle péricline, *periclinic twins* : deux individus accolés et s'interpénétrant perpendiculairement au plan de l'allongement du cristal (Langlois 2007).

Macle microcline, *microclitic twins* : c'est un assemblage des macles de Carlsbad et périclines formant un « quadrillage » (typique du feldspath microcline ; modifiée de Langlois 2007).

Macle en sablier, *cross-hour twin* : quatre cristaux associés deux à deux en triangles

opposés par les sommets (fréquente dans les pyroxènes ; Langlois 2007).

Macle en croix ou macle de croisette, *cross-shaped twin* : macle en croix de la staurotide (Foucault et al. 2005).

Macle en chevron, *herring-bone twin* : macle en forme de chevron ou de fer de lance comme celle du gypse (Foucault et al. 2005).

Macle vicinale : macle polysynthétique sans trace nette du plan de macle (ex de l'olivine ; Langlois 2007).

Macle de Baveno, *Baveno twin* : macle rare de l'orthoclase surtout. Le plan de macle est parallèle aux faces cristallines (021) et la section est presque carrée (Office québécois de la langue française, 1997).

#### **8.12\_Zonation** : oui ; absent ; indéterminé ; non observé

Zonation, zoning : caractère acquis par le cristal lors de sa croissance suite à la présence d'inclusions radioactives entraîne des modifications plus sensibles, en particulier des changements de teinte et de transparence en zones concentriques (modifiée de Foucault et al. 20005).

**8.13\_Habitus des minéraux** : tabulaire ; tablettes hexagonales ; lamellaire ; en tonnelet (columnaire) ; aciculaire (ou en aiguille) ; filamenteux ou fibreux ; botryoïdal ; cubique ; prismatique ; octaédrique ; rhomboédrique ; granulaire ; massif ; indéterminé ; non observé.

Tabulaire, *tabular* : minéraux en forme de tablettes (e.g. feldspaths, barytine).

Tabulaire hexagonal, *hexagonal tabular* : minéraux en forme de tablettes hexagonales (e.g., hématite, kaolinite).

Lamellaire, *platty, flaky* : cet habitus est proche de celui en tablette mais l'épaisseur du cristal y est beaucoup plus faible (e.g., micas)

En tonnelet (ou columnaire), *columnar* : minéraux en forme de colonne.

Aciculaire, *acicular* : minéraux en forme d'aiguille

Filamenteux ou fibreux, *fibrous* : minéraux formant de grandes fibres tels l'asbeste (amiante)

Cubique, *equant* : en forme de cube

Prismatique, *prismatic* : en forme de prisme

Octaédrique : en forme d'octaèdre

Rhomboédrique :

granulaire, *granular* : quand un minéral consiste en un agrégat de grains plus ou moins gros.

massif, *massive* : un minéral composé de matière compacte avec une forme irrégulière sans apparence particulière comme celles décrites au-dessus.

**8.14\_Morphologie** : automorphe ; automorphe à subautomorphe ; subautomorphe ; subautomorphe à xénomorphe ; xénomorphe ; automorphe à xénomorphe ; indéterminée ; non observée.



**8.15\_Sphéricité** (cf. charte) : pseudo-sphérique ; sub-sphérique ; aplati ; plat ; indéterminé ; non observé.

**8.16\_Arrondi** (cf. charte) : arrondi ; subarrondi ; subanguleux ; anguleux ; indéterminé ; non observé.

**8.17\_Taille (mm)**, on définit la taille à partir du diamètre apparent ou du plus grand axe pour des grains allongés. La taille moyenne, sera une estimation quelque soit le nombre de minéraux du même type considérés. S'il n'y en a qu'un, alors Taille min = taille max = taille moyenne.

**8.17.1\_Taille minimum (mm) :**

**8.17.2\_Taille maximum (mm) :**

**8.17.3\_Taille moyenne (mm) :**

**8.18\_Cassure** : Conchoïdale ; en plans ; non observé.

**8.19\_Clivage** : aucun ; longitudinal ; latitudinal ; à 90° ; à 120° ; autre (à préciser) ; indéterminé ; non observé.

**8.20\_Abondance** (cf. charte) : champ alphanumérique en pourcentage ; non pertinent ; abondant (plus de 50%) ; fréquent (de 25 à 50%) ; rare (de 10 à 25%) ; très rare (moins de 10%) ; non observée.

**8.21\_Tri** (cf. charte) : aucun ; très faible ; faible ; modéré ; bon ; très bon ; indéterminé ; non observé.

**8.22\_Répartition** : rhomogène ; hétérogène ; au cœur ; orientations préférentielles ; foliation ; alternance de lits ; plusieurs lits ; 1 lit ; bimodale ; gradient ; granoclassement ; taches non organisées ; concentration isolée ; taches organisées ; zonation ; répartition concentrique ; indéterminée ; non observée

‡Orientée : les minéraux allongés présentent tous une orientation similaire ; généralement dans l'axe de la  $S_0$  ou de la  $S_1$

**8.23\_Altération** : non visible ; dissolution ; fracturation ; corrosion ; golfes de corrosion ; déformation ; serpentinitisation ; pseudomorphose de (à préciser) ; autre ; indéterminée ; non observée.

Serpentinisation, serpentinitization : Transformation en serpentine de minéraux ferromagnésiens, en particulier de l'olivine, dans les roches magmatiques basiques ou ultrabasiques ; les péridotites, certaines pyroxénites, sont ainsi transformées en serpentinite. La réaction type est : olivine + eau  $\rightarrow$  serpentine  $\pm$  brucite. Cette hydratation est accompagnée d'une augmentation de volume (modifiée de Foucault et al. 2014).

**8.23\_Commentaires** : s'il y en a de plusieurs types, si elles ont des caractéristiques remarquables (intensité, emplacement, par exemple).

14 colonnes à répéter autant de fois qu'il y a de minéraux différents

---

## 9\_RÉSUMÉ\_ROCHE

**9.1\_Type de roche** : sédimentaire ; volcanique ; plutonique ; métamorphique ; matière transformée ; indéterminé ; non observé.

**9.2\_Type lithologique** : p. ex. grès

### 9.3\_Type de faciès : p. ex. grès argilo-ferrugineux

cuirasse, *crust* : horizon pédologique de nature chimique et minéralogique différente du reste du profil de sol, souvent enrichi en oxydes de fer et/ou de manganèse qui peut être plus ou moins **fragmenté\*** (modifié de Lozet et Mathieu 2002).

### 9.4\_Type géologique : p. ex. profil d'altération de grès glauconieux (ocre)

### 9.5\_Description sommaire de la matière :

Exemples : concrétion ferrugineuse scoriacée à précipitation centripète, bauxite à dominante argileuse, conglomérats gréseux à silex et pisolithes ferrugineux, grès grossier ferrugineux + ou - riche en hématite, siltite ferrugineux principalement hématitique à lits alternés riches en hématite et goethite et à passées manganées, **OIS type Clinton\***, calcaire à entroques ferruginisées avec précipitation de barytine hydrothermale...

### 9.6\_Catégorie de géomatériau : choisi ton nom (type 4 ou classe 23)

**9.7\_Environnement de dépôt/Milieu de formation** : domaine marin profond ; talus ; plateforme externe ; barrière ; plateforme interne ; lagune ; domaine littoral ; domaine continental ; domaine lacustre ; domaine palustre ; domaine fluviatile ; indéterminé ; non observé.

Si la roche est sédimentaire préciser le milieu de formation.

**9.8\_Éon stratigraphique** : Phanérozoïque ; Précambrien ; indéterminé ; non observé.

**9.9\_Ère stratigraphique** : Cénozoïque ; Mésozoïque ; Paléozoïque ; Protérozoïque ; Archéen ; indéterminée ; non observée.

**9.10\_Système stratigraphique/période** : Quaternaire, Néogène, Paléogène ; Crétacé ; Jurassique ; Trias ; Permien ; Carbonifère ; Dévonien ; Silurien ; Ordovicien ; Cambrien ; Ediacarien ; Cryogénien ; Tonien ; Sténien ; Ectasien ; Calymmien ; Statherien ; Orosirien ; Rhyacien ; Sidérien ; Néoarchéen ; Mésoarchéen ; Paléoarchéen ; Eoarchéen ; Imbrien inférieur ; Nectarien ; Basin Groups ; Cryptique ; indéterminé ; non observé.

**9.11\_Série stratigraphique** : Holocène ; Pléistocène ; Pliocène ; Miocène ; Plio-Miocène ; Oligocène ; Eocène ; Paléocène ; Crétacé supérieur ; Crétacé inférieur ; Jurassique supérieur ; Jurassique moyen ; Jurassique inférieur ; Trias supérieur, Trias moyen ; Trias inférieur ; Lopingien, Guadeloupéen ; Cisuralien ; Pennsylvanien ; Mississippien ; Dévonien supérieur, Dévonien moyen ; Dévonien inférieur ; Pridoli, Ludlow, Wenstock ; Llandovery ; Ordovicien supérieur, Ordovicien moyen ; Ordovicien inférieur ; Furongien, Miaolingien Séries 2 ; Terrenewien ; indéterminé ; non observé.

**9.12\_Etage stratigraphique** : Holocène ; Pleistocène supérieur ; Pleistocène moyen ; Pléistocène inférieur ; Gélasien ; Plaisancien ; Zancléen ; Messinien ; Tortonien ; Serravallien ; Langhien ; Burdigalien ; Aquitanien ; Chattien ; Rupélien ; Priabonien ; Bartonien ; Lutétien ; Yprésien ; Thanétien ; Sélandien ; 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 ; Famennien ; Frasnien ; Givetien ; Eifelien ; Emsien ; Pragien ; Lochkovien ; Pridolien ; Ludfordien ; Gorstien ; Homerien ; Sheinwoodien ; Télychien ; Aéronien ; Rhuddanien ; Himantien ; Ordovicien VI (Katien) ; Ordovicien V (Sandbien) ; Darriwilien ; Ordovicien III (Dapingien) ; Arénig (Floien) ; Trémadocien ; Cambrien (étage 10) ; Cambrien (étage 9, Jiangshaniens) ; Cambrien (étage 8, Paibien) ; Cambrien (étage 7, Guzhangien) ; Cambrien

(étage 6, Drumien); Cambrien (étage 5, Wuliuan); Cambrien (étage 4) Cambrien (étage 3); Cambrien (étage 2); Cambrien (étage 1, Fortunien) ; indéterminé ; non observé.

**9.13\_Age de la roche** : champs libre

**9.14\_Commentaire âge de la roche** : préciser comment l'âge a été obtenu

**9.15\_Commentaires de la roche** : à confronter avec la notice géologique

---

### **Documents complémentaires**

- *Atlas de pétrologie*, (Beaux, Platevoet et Fogelgesang, 2ème édition pour licence, Master, CAPES et Agrégation 2016, Dunod)
- *Atlas de géologie-pétrologie* BCPST 1re et 2e années (Beaux, Fogelgesang, Agard et Boutin, 2011, Dunod)
- Clef d'identification des roches (fichier fait à EDYTEM en cours de construction)
- guide d'identification des fossiles (fichier complémentaire)
- *Dictionnaire de géologie* (Foucault et al. 8ème édition 2014, DUNOD)
- Jean Lozet et Clément Mathieu. 2002. Dictionnaire des sciences du Sol, 4ème édition, Editions TEC et DOC, Paris, 575p.
- Boulvain, lexique et cours de sédimentologie
- Office québécois de la langue française (2012) - *Grand dictionnaire terminologique*. Consulté sur [http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=3298326](http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=3298326)
- Le portail lexical du Centre national de ressources textuelles et lexicales [<http://www.cnrtl.fr/definition/portail>].
- *TLFi : Trésor de la langue Française informatisé*, <http://www.atilf.fr/tlfi>, ATILF - CNRS & Université de Lorraine.
- *Encyclopédia Universalis*



## **ANNEXE 7 – Liste des échantillons analysés en reflectance diffuse**





(bloc #3 - f2)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
(Plot #1 poli)	PIG_0020_A_401	"	"	"	avec plot	plot poli	"	"	SHADOWS -10/20	13.484
Pig-0025-2015-025_?	PIG_0025	PIG_0025_X_601	Pig-0025-2015	Croix de Fauvie (Préhistorama), Rousson		poudre	?	brun-jaune	SHADOWS -10/19	0.226
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE 10/19	1.676
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
Plot-0027-2015-027_Capette	PIG_0027	PIG_0027_B_401	Pig-0027-2015	La Capelle et Masmolène	Facies B	plot poli	carré: 33x6	marron foncé + ta	SHINE -12/19	10.63
" (plot)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	"
" (plot)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	"
" (plot: micro spot)	"	"	"	"	"	"	"	zone orange	SHINE -02/20	"
" (plot: micro spot)	"	"	"	"	"	"	"	zone rouge	SHINE -02/20	"
" (plot: micro spot)	"	"	"	"	"	"	"	zone brun-rouge	SHINE -02/20	"
" (Plot poli)	PIG_0027_A_401	"	"	"	Facies A	plot poli	"	"	SHADOWS -06/21	"
Pig-0029-2015-035_Capette2	PIG_0029	PIG_0029_X_601	Pig-0029-2015	La Capelle et Masmolène, Gravières	Facies 'X' (030)	poudre	?	rouge-brun	SHADOWS -10/19	0.122
"	"	PIG_0029_X_602	"	"	Facies 'X' (031)	poudre	?	brun	SHADOWS -10/19	0.452
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE 10/19	0.236
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
"	"	PIG_0029_X_603	"	"	Facies 'X' (033)	poudre	?	brun	SHADOWS -10/19	0.454
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE 10/19	0.457
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
"	"	PIG_0029_X_604	"	"	Facies 'X' (035)	poudre	?	brun foncé	SHADOWS -10/19	0.870
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE 10/19	1.544
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	0.700
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	1.429
"	"	PIG_0029_X_605	"	"	Facies 'X' (037)	poudre	?	rouge	SHADOWS -10/19	0.177
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE 10/19	0.408
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	0.368
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	0.805
" (plot)	PIG_0029_A_401	"	"	"	Facies A	plot poli	carré: 32x8	noir avec zone gri	SHADOWS -12/19	14.16
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	"	PIG_0029_X_606	"	"	Facies 'X' (037a)	poudre	?	marron foncé	SHADOWS -12/19	1.260
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	"
Pig-0038-2015-038_Capette3	PIG_0038	PIG_0038_X_601	Pig-0038-2015	La Capelle et Masmolène	La Capette pt 3	poudre	?	brun-rouge foncé	SHADOWS -10/19	1.180
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE 10/19	2.727
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
Pig-0048-2015-048_Rieussec-1	PIG_0048	PIG_0048_X_601	Pig-0048-2015	Rieussec 1, Salavas		poudre	?	rouge-brun	SHADOWS -05/20	0.227
Pig-0049-2015-049_Rieussec-2	PIG_0049	PIG_0049_X_601	Pig-0049-2015	Rieussec 2, Salavas		poudre	?	Jaune-brun clair /	SHADOWS -10/19	0.054
"	"	A RETROUVER	"	"	"	"	"	"	SHINE 10/19	0.158
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
" - Facies A	"	PIG_0049_A_601	"	"	Facies A	poudre	?	rose	SHINE -05/20	0.213
" (Plot poli)	"	PIG_0049_A_401	"	"	"	plot poli	"	"	SHADOWS -06/21	"
" - Facies B	"	PIG_0049_B_601	"	"	Facies B	poudre	?	olive	SHADOWS -05/20	0.296
" - Facies C	"	PIG_0049_C_601	"	"	Facies C	poudre	?	brun-rouge	SHINE -05/20	0.431

"	- Faciès D	A RETROUVER	PIG_0049_D_601	"	"	Faciès D	poudre	?	rouge	SHINE -05/20	0.551
"	- Faciès E		PIG_0049_E_601	"	"	Faciès E	poudre	?	brun-rouge	SHINE -05/20	0.217
"	- Faciès F		PIG_0049_F_601	"	"	Faciès F	poudre	?	rouge foncé	SHINE -05/20	1.001
Pig-0051-2015-051_Rieussec-3bis		PIG_0051	PIG_0051_A_401	"	Rieussec 3 bis (Salavas Vagnas)	Faciès A	plot poli			SHADOWS -06/21	
Pig-0053-2015-053_La-Vernade		PIG_0053	PIG_0053_X_601	Pig-0053-2015	La Vernade, Chassiers		poudre	?	Brun-gris foncé	SHADOWS -10/19	0.219
"				"	"		"	"	"	SHINE 10/19	0.448
"			PIG_0053_A_601	"	"		poudre	?	brun clair	SHADOWS -12/19	0.143
Pig-0054-2015-057_?		PIG_0054	PIG_0054_X_601	Pig-0054-2015	Les Brugières, Salavas	Faciès 'X' (057)	poudre	?	rose-jaune clair	SHADOWS -10/19	0.161
"				"	"		"	"	"	SHINE 10/19	0.446
"				"	"		"	"	"	SHINE+SHA -10/19	
"				"	"		"	"	"	SHADOWS -02/20	0.324
"			PIG_0054_X_602	"	"	Faciès 'X' (126)	poudre	?	rouge clair	SHINE -12/19	1.391
"				"	"		"	"	"	SHADOWS -10/19	0.699
"				"	"		"	"	"	SHINE 10/19	1.304
"				"	"		"	"	"	SHINE+SHA -10/19	
Pig-0096-2015-098_?		PIG_0096	PIG_0096_X_601	Pig-0096-2015	Cornillon site 2	Faciès 'X' (098)	poudre	?	jaune clair	SHADOWS -10/19	0.562
"				"	"		"	"	"	SHINE 10/19	0.321
"				"	"		"	"	"	SHINE+SHA -10/19	
"				"	"		"	"	"	SHADOWS -02/20	0.288
"				"	"		"	"	"	SHINE -12/19	0.901?
Pig-0129-2015-134_?		PIG_0129	PIG_0129_X_601	Pig-0129-2015	Campeiraud, St Laurent-la-Vernède	Faciès 'X' (134)	poudre	?	jaune	SHADOWS -10/19	0.103
"				"	"		"	"	"	SHINE 10/19	1.435
"				"	"		"	"	"	SHINE+SHA -10/19	
"				"	"		"	"	"	SHADOWS -02/20	0.411
"				"	"		"	"	"	SHINE -12/19	0.603
"				"	"		"	"	"	SHADOWS -02/20	
Pig-0152-2015-152_?		PIG_0152	PIG_0152_X_601	Pig-0152-2015	Carrière CECA, Saint-Bauzile	Faciès 'X' (152)	poudre	?	orange-Rouge cla	SHADOWS -10/19	0.204
"				"	"		"	"	"	SHINE 10/19	1.114
"				"	"		"	"	"	SHINE+SHA -10/19	
"				"	"		"	"	"	SHADOWS -02/20	0.454
"				"	"		"	"	"	SHINE -12/19	0.462
Pig-0153-2015_LaVoulte	- Faciès V3 - Faciès V5	PIG_0153	PIG_0153_C_601 PIG_0153_E_601	Pig-0153-2015	La Voulte (Chemin de Roumanie)	Faciès V3 Faciès V5	poudre poudre	non-tamisé non-tamisé	brun-rouge brun-rouge foncé	SHINE -05/20 SHINE -05/20	0.530 1.375
<b>2016</b>											
Pig-0154-2016-001_Rieussec		PIG_0154	PIG_0154_X_601	Pig-0154-2016	lit du Rieussec		poudre	?	rouge	SHADOWS -02/20	1.833
"				"	"		"	"	"	SHINE -02/20	"
Pig-0156-2016-003_Rieussec		PIG_0156	PIG_0156_X_601	Pig-0156-2016	Vignes Rieussec		poudre	?	rouge foncé	SHADOWS -02/20	2.371
"				"	"		"	"	"	SHINE -02/20	"
"	(KBr)		PIG_0156_X_801	"	"	mélangé à KBr	poudre	?	?	SHADOWS -02/20	0.528
"	(KBr)			"	"		"	"	"	SHINE -02/20	"
Pig-0156-2016_Vagnas	- Faciès D (4) - Faciès E		PIG_0156_D_601 PIG_0156_E_601	"	"	Faciès D- 4 (4 petit blocs) Faciès E	poudre poudre	? ?	rouge brun-rouge	SHADOWS -05/20 SHINE -05/20	0.399 0.733
"	"			"	"		"	"	"	SHADOWS -10/20	0.738
"	- Faciès F (6)		PIG_0156_F_601	"	(entre Rieussec	Faciès F -6 (5 petit blocs)	poudre	?	rouge foncé	SHADOWS -05/20	0.251

"	- Faciès G (7)	PIG_0156_G_601	"	2016-1 et 3)	Faciès G - 7 (2 moyen blocs)	poudre	?	rouge foncé+rouge	SHADOWS -05/20	1.419
"	- Faciès J (10)	PIG_0156_J_601	"	"	Faciès J - 10 (3 moyen blocs)	poudre	?	rouge-violet	SHINE -05/20	0.708
"	- Faciès K	PIG_0156_K_601	"	"	Faciès K	poudre	?	rouge-violet	SHADOWS -05/20	"
"	"	"	"	"	"	poudre	"	brun foncé	SHINE -05/20	0.603
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	0.436
<b>Pig-0157-2016-004_Camping Sauveyre</b>	<b>PIG_0157</b>	<b>PIG_0157_X_601</b>	<b>Pig-0157-2016</b>	Camping St Sauveyre	Vagnas	poudre	?	brun-rouge foncé	SHADOWS -02/20	0.240
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	0.258
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	0.258
<b>Pig-0160-2016-007_Bordezac</b>	<b>PIG_0160_std</b>	<b>PIG_0160_D_601</b>	<b>Pig-0160-2016</b>	Bordezac	Bordezac (faciès 1)	poudre	< 160 µm	rouge brique foncé	SHADOWS -10/19	0.359
"	-inf160 (10-20nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	6.609
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	0.508
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	1.648
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	1.070
"	-inf160 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHI-12/19+SHA-02/20	"
"	(bloc 1 - f1)	PIG_0160_D_401	"	"	"	bloc 1 poli	moyen	"	SHINE -10/19	25.49
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	(bloc 1 - f2)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	"
"	bloc 1 - f2 (10-20nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	"
"	(bloc 2 - f1)	PIG_0160_D_201	"	"	"	bloc 2	petit	rougeatre	SHINE -02/20	16.887
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -06/20	"
"	(bloc 2 - f3)	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	bloc 2 - f3 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -02/20	"
"	(bloc 3 - f1)	PIG_0160_D_301	"	"	"	bloc 3 scié non poli	"	"	SHADOWS -10/20	???
"	(bloc 3 - f2)	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
"	(plot poli #1)	PIG_0160_A_401	"	"	"	plot poli	carré: 30x7"	"	SHINE -03/21	26x11x7
"	(Plot poli #2)	PIG_0160_D_402	"	"	"	plot poli	carré: 27x8"	"	SHADOWS -10/20	13.889
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/20	"
"	(plot poli #2)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/20	"
"	(plot poli #3 - p1)	PIG_0160_D_403	"	"	"	plot poli	carré	"	SHINE -03/21	15.050
"	(plot poli #3 - p2)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -03/21	"
<b>Pig-0161-2016-008_LesVans</b>	<b>PIG_0161</b>	<b>PIG_0161_X_601</b>	<b>Pig-0161-2016</b>	Les Vans, église évangéliste réformée (route des Gras)	Les Vans ACHI	poudre	?	brun-rouge	SHADOWS -02/20	0.285
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
<b>Pig-0162-2016-009_Monteil</b>	<b>PIG_0162</b>	<b>PIG_0162_X_601</b>	<b>Pig-0162-2016</b>	Monteil (1)	Monteil1	poudre	?	brun-rouge clair	SHADOWS -02/20	0.673
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
<b>Pig-0163-2016-012_Loumet-Salavas</b>	<b>PIG_0163</b>	<b>PIG_0163_X_601</b>	<b>Pig-0163-2016</b>	Loumet-Salavas	"	poudre	?	?	SHADOWS -02/20	0.886
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
<b>Pig-0164-2016_St-Laurent-la-Vernède</b>	<b>PIG_0164</b>	<b>PIG_0164_A_401</b>	<b>Pig-0164-2016</b>	St Laurent-la-Vernède (Mine d'Ocre)	Faciès A	plot poli	"	"	SHINE -06/21	"
"	"	<b>PIG_0164_C_401</b>	"	"	Faciès C	plot poli	"	"	SHADOWS -06/21	"
"	"	<b>PIG_0164_D_401</b>	"	"	Faciès D	plot poli	"	"	SHINE -06/21	"
<b>Pig-0165-2016-014_Gardon</b>	<b>PIG_0165</b>	<b>PIG_0165_X_601</b>	<b>Pig-0165-2016</b>	Le Gardon, Russan	"	poudre	?	brun	SHADOWS -02/20	0.345
<b>Pig-0168-2016-017_Mas-Uzer</b>	<b>PIG_0168</b>	<b>PIG_0168_X_601</b>	<b>Pig-0168-2016</b>	Le Mas, Uzer	"	poudre	?	jaune-vert olive	SHADOWS -02/20	0.464
<b>Pig-0169-2016-018_Coste-Uzer</b>	<b>PIG_0169</b>	<b>PIG_0169_X_601</b>	<b>Pig-0169-2016</b>	La Coste, Uzer	"	poudre	?	?	SHADOWS -02/20	0.262

Pig-0171-2016-020_Mercuer	PIG_0171	PIG_0171_X_601	Pig-0171-2016	Mercuer Aubenas		poudre	?	brun	SHADOWS -02/20	0.877
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	0.905
Pig-0172-2016-021_HuyGare_Ois	PIG_0172_std	PIG_0172_A_601	Pig-0172-2016	Huy Gare ois (Be)	HS -Huy Gare	poudre	< 160 µm	brique	SHADOWS -10/19	0.095
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	1.600
"	-inf160 (10-20nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	1.658
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	1.186
"	-inf160 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHI-12/19+SHA-02/20	
"	-inf160 : densité 1	PIG_0172_A_601	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	1.112
"	-inf160 : densité 2	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	1.819
"	-inf160 : densité 3	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	2.255
"	> 400 µm	PIG_0172_A_605	"	"	"	"	> 400 µm	"	SHADOWS -10/20	2.530
"	200-400 µm	PIG_0172_A_606	"	"	"	"	200-400 µm	"	SHADOWS -10/20	1.191
"	100-200µm	PIG_0172_A_607	"	"	"	"	100-200 µm	"	SHADOWS -10/20	0.505
"	<50 µm	PIG_0172_A_608	"	"	"	"	< 50 µm	"	SHADOWS -10/20	???
"	(bloc 1 - f1)	PIG_0172_A_101	"	"	"	bloc 1	"	?	SHADOWS -02/20	68.45
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	-bloc 1 - f1 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHI+SHA-02/20	
"	(bloc 1 - f3)	"	"	"	"	"	"	"		
"	(bloc 2 - f1: scié)	PIG_0172_A_301	"	"	"	bloc 2 scié	"	"	SHADOWS -10/20	19.350
"	(bloc 2 - f2: brut)	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
"	(Plot 1 poli: p1)	PIG_0172_A_401	"	"	avec plot	plot poli	"	"	SHADOWS -10/20	13.484
"	(Plot 1 poli: p2)	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	"
Pig-0173-2016_022_Roussillon	PIG_0173_std	PIG_0173_A_601	Pig-0173-2016	Roussillon	standard	poudre	< 160 µm	rouge foncé	SHADOWS -10/19	0.144
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	0.305
"	-inf160 (10-20nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	
"	-inf160	PIG_0173_A_601	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	0.693
"	-inf160	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	0.888
"	-inf160 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHI-12/19+SHA-02/20	
"	-sup160	PIG_0173_A_602	"	"	"	poudre	> 160 µm	rouge foncé	SHADOWS -10/19	0.512
"	-sup160	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	14.928
"	-sup160 (10-20nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	
"	-sup160	PIG_0173_A_602	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	2.315
"	-sup160	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	-sup160 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHI-12/19+SHA-02/20	
"	-inf160 : densité #1	PIG_0173_A_605	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	0.597
"	-inf160 : densité #2	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	1.117
"	-inf160 : densité #3	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	1.420
"	> 400 µm	PIG_0173_A_603	"	"	"	"	> 400 µm	"	SHADOWS -10/20	2.271
"	200-400 µm	PIG_0173_A_604	"	"	"	"	200-400 µm	"	SHADOWS -10/20	1.184
"	100-200µm	PIG_0173_A_606	"	"	"	"	100-200 µm	"	SHADOWS -10/20	1.509
"	<50 µm	PIG_0173_A_607	"	"	"	"	< 50 µm	"	SHADOWS -10/20	0.216
"	(bloc #1 - f1)	PIG_0173_A_303	"	"	cuirasse	bloc 1	petit scié	rouge brique	SHINE -10/19	5.415
"	(bloc #2 - f1)	PIG_0173_A_101	"	"	roussillon	bloc 2	gros brut	jaune avec petite	SHINE -10/19	?
"	(bloc #3 - f1)	PIG_0173_A_102	"	"	"	bloc 3	moyen	jaune-brun	SHADOWS -02/20	36.300
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	-bloc 3 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	SHI+SHA-02/20	
"	(bloc #4 - f1)	PIG_0173_A_201	"	"	"	bloc 4	cassure frai	"	SHADOWS -10/20	71.04
"	(bloc #5 - f1)	PIG_0173_A_202	"	"	"	bloc 5	1 face frai	"	SHADOWS -03/21	100.85

"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	"
(bloc #5 - f2)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
(plot poli #1)	PIG_0173_A_401	"	"	"	avec plot	plot poli	"	"	SHADOWS -10/20	12.052
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	"
<b>Pig-0174-2016-023_Beauregard</b>	<b>PIG_0174_std</b>	<b>PIG_0174_A_601</b>	<b>Pig-0174-2016</b>	Beauregard	HS - Beauregard (035)	poudre	< 160 µm	brun-rouge foncé	SHADOWS -10/19	0.180
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	1.937
" -inf160 (10-20nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	1.586
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	1.120
" -inf160 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHI-12/19+SHA-02/20	"
(bloc #1)	PIG_0174_A_101	"	"	"	"	bloc 1	petit	?	SHADOWS -02/20	4.04
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
-bloc #1 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHI+SHA-02/20	"
(bloc #2 - f1)	PIG_0174_A_201	"	"	"	avec cassure	bloc 2	moyen	"	SHADOWS -10/20	20.32
(bloc #2 - f2)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	"
(bloc #2 - f3)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS	"
(Plot #1 - p1)	PIG_0174_A_401	"	"	"	avec plot	plot poli	carré	"	SHADOWS -10/20	12.052
(Plot #1 - p2)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -03/21	"
<b>Pig-0175-2016_Fontenaille</b>	<b>PIG_0175</b>	<b>PIG_0175_A_601</b>	<b>Pig-0175-2016</b>	Fontenaille	standard, 2 types grains	poudre	< 160 µm	brun-jaune	SHADOWS -10/19	0.118
" -inf160	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	1.922
" -inf160 (10-20nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
" -inf160	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	2.474
" -inf160	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	0.792
" -inf160 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHI-12/19+SHA-02/20	"
" -sup160	PIG_0175_A_602	"	"	"	"	poudre	> 160 µm	brun-jaune	SHADOWS -10/19	1.087
" -sup160	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	2.598
" -sup160 (10-20nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
" -sup160	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	1.734
" -sup160	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
" -sup160 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -02/20	"
(bloc cassure fraiche)	PIG_0175_A_201	"	"	"	gros bloc de grès arrondi avec cassure assez fraiche	bloc	"	"	SHINE -10/20	331.1
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
(Plot poli)	PIG_0175_A_401	"	"	"	"	plot poli	"	"	SHADOWS -06/21	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -06/21	"
<b>Pig-0176-2016-025_Pierrerue</b>	<b>PIG_0176_std</b>	<b>PIG_0176_A_601</b>	<b>Pig-0176-2016</b>	Pierrerue	HS - Pierrerue (Herauld)	poudre	< 160 µm	brun foncé	SHADOWS -10/19	0.704
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -10/19	6.76
" -inf160 (10nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -10/19	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	1.144
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	0.318
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	8.462
" -inf160 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHI-12/19+SHA-02/20	"
(bloc #1 - f1)	PIG_0176_A_101	"	"	"	"	bloc 1	petit	?	SHADOWS -02/20	9.777
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
-bloc #1 - f1 (4-8nm)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHI+SHA-02/20	"

(bloc #2 - f1)	PIG_0176_A_301	"	"	"	"	bloc 2 scié non poli	"	"	SHADOWS -10/20	2.477
(bloc #2 - f2)	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
(plot poli #1)	PIG_0176_A_401	"	"	"	"	plot poli	"	"	SHADOWS -10/20	11.800
<b>2017</b>										
Pig-0180-2017-004_?	PIG_0180	PIG_0180_X_601	Pig-0180-2017	Le puech de st Apollonie, les Assions		poudre	< 160 µm	?	SHADOWS -02/20	0.280
Pig-0181-2017-005_?	PIG_0181	PIG_0181_X_601	Pig-0181-2017	Cimetière les Vans		poudre	< 160 µm	?	SHADOWS -02/20	0.769
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
Pig-0183-2017-007_LaRousse	PIG_0183	PIG_0183_X_601	Pig-0183-2017	La Rousse	La Rousse - Magnard	poudre	< 160 µm	?	SHADOWS -02/20	0.408
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	0.518
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -02/20	"
"	(bloc 1)	PIG_0183_X_101	"	"	"	bloc 1	"	?	SHADOWS -02/20	76.685
"	(bloc 1)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	(bloc)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -02/20	"
"	(plot)	PIG_0183_H_401	"	"	"	plot poli	face 1	rouge	SHADOWS -02/20	?
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -12/19	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -12/19+02/20	"
"	(plot)	PIG_0183_H_401	"	"	"	"	"	jaune-orange	SHADOWS -02/20	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -12/19	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -12/19+02/20	"
"	(plot)	PIG_0183_H_401	"	"	"	plot poli	face 2	rouge	SHADOWS -02/20	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	rouge	SHADOWS -02/20	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	brun-gris	SHADOWS -02/20	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	jaune-orange	SHADOWS -02/20	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE+SHA -02/20	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	rouge	SHINE -12/19	"
"	(plot)	"	"	"	"	"	"	jaune-orange	SHINE -12/19	"
Pig-0187-2017-011_LesVans	PIG_0187	PIG_0187_X_601	Pig-0187-2017	Les Vans	Faciès ??	poudre	< 160 µm	rouge-brun	SHADOWS -02/20	0.110
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	0.184
"	(bloc)	PIG_0187_A_301	"	"	Faciès A	bloc	"	"	SHADOWS -06/21	225.05
"	(bloc)	PIG_0187_B_301	"	"	Faciès B	bloc	"	"	SHINE -06/21	3.450
"	(bloc)	PIG_0187_C_301	"	"	Faciès C	bloc	"	"	SHINE -06/21	23.76
Pig-0188-2017-013_?	PIG_0189	PIG_0189_X_601	Pig-0188-2017	Carrière de Fontanisse, Serviers-et-Labaume		poudre	< 160 µm	brun clair	SHADOWS -02/20	0.517
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
Pig-0195-2017-019_Baron	PIG_0195	PIG_0195_X_601	Pig-0195-2017	Foncouverte, Baron	zone brun-clair broyée	poudre	< 200 µm	brun clair	SHADOWS -02/20	0.323
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	- Faciès E	PIG_0195_E_601	Pig-0195-E-600-2017	Baron - Fontcouverte	Faciès E	poudre	?	brun-rouge	SHINE -06/20	0.674
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	0.285
"	(bloc)	PIG_0195_X_101	"	"	"	bloc	petit	jaune-brun	SHADOWS -02/20	19.526
"	(bloc)	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	(Plot poli #A1)	PIG_0195_A_401	Pig-0195-A-401-2017	"	"	plot poli	carré: 27x6"	"	SHINE -03/21	12.04
"	(Plot poli #B1)	PIG_0195_B_401	Pig-0195-B-401-2017	"	"	plot poli	carré	"	SHINE -03/21	12.649
Pig-0196-2017_Fougeras	PIG_0196	PIG_0196_A_401	Pig-0196-A-401-2017	Fougeras		plot poli			SHINE -06/21	



Pig-0198-2017_MasCavalle - Faciès A	PIG_0198	PIG_0198_A_601	Pig-0198-A-600-2017	Mas Cavalle - Capelle et 'Masmoline' (?)	Faciès A	poudre	?	brun foncé	SHADOWS - 05/20	0.290
" - Faciès E		PIG_0198_E_601	Pig-0198-E-600-2017	Mas Cavalle	Faciès E	poudre	?	brun-rouge	SHINE - 06/20	1.593
"		"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	1.143
(Plot poli #B1)		PIG_0198_B_401	"	"	"	plot poli	carré	"	SHINE - 03/21	10.098
Pig-0201-2017_Connaux - Faciès A	PIG_0201	PIG_0201_A_601	Pig-0201-A-600-2017	Connaux	Faciès A	poudre	?	brun foncé	SHINE - 06/20	0.972
"		"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	0.732
(Plot poli #B1)		PIG_0201_A_401	Pig-0201-A-400-2017	"	"	plot poli	rect:33x26	"	SHINE - 03/21	14.60
"		"	"	"	"	"	"	"	"	"
"		"	"	"	"	"	"	"	"	"
"		"	"	"	"	"	"	"	"	"
<b>2018</b>										
Pig-0204-2018-001_Valaurie	PIG_0204	PIG_0204_A_601	Pig-0204-2018	Valaurie		poudre	< 160 µm	ocre rouge	SHINE -10/19	10.58
"		"	"	"		"	"	"	SHADOWS -02/20	1.779
"		"	"	"		"	"	"	SHINE -02/20	1.745
"		"	"	"		"	"	"	SHINE+SHA -02/20	
Pig-0205-2018-002_Valaurie	PIG_0205	PIG_0205_A_601	Pig-0205-2018	Valaurie		poudre	< 160 µm	jaune-orange clair	SHINE -10/19	6.057
"		"	"	"		"	"	"	SHADOWS -12/19	0.693
"		"	"	"		"	"	"	SHINE -12/19	3.704
<b>2019</b>										
Pig-0214-2019_Claret	PIG_0214	PIG_0214_X_601	Pig-0214-600-2019	Claret	Faciès ??	poudre		brun-orange clair	SHINE - 06/20	0.468
" (bloc)		PIG_0214_A_101	"	"	Faciès A	bloc		"	SHINE - 06/21	4.597
" (bloc)		PIG_0214_B_101	"	"	Faciès B	bloc		"	SHINE - 06/21	23.86
" (bloc)		PIG_0214_C_101	"	"	Faciès C	bloc		"	SHINE - 06/21	5.818
" (bloc)		PIG_0214_D_101	"	"	Faciès D	bloc		"	SHINE - 06/21	40.074
" (bloc)		PIG_0214_F_101	"	"	Faciès F	bloc		"	SHADOWS - 06/21	524.45
" (bloc)		PIG_0214_H_101	"	"	Faciès H	bloc		"	SHINE - 06/21	88.97
" (bloc)		PIG_0214_J_601	"	"	Faciès J	poudre		"	SHINE - 06/21	0.555
Pig-0215-2019_Claret - Faciès E	PIG_0215	PIG_0215_E_601	Pig-0215-E-600-2019	Claret	Faciès E	poudre		orange clair	SHINE - 06/20	1.212
" (bloc)		PIG_0215_E_101	"	"	"	bloc		"	SHINE - 06/21	215.76
Pig-0218-2019_Fontenaille (bloc)	PIG_0218	PIG_0218_A_101	Pig-0218-2019	Fontenaille		bloc 1	petit	?	SHADOWS -02/20	?
" (bloc)		"	"	"		"	"	"	SHINE -02/20	"
" (bloc)		"	"	"		"	"	"	"	"
" -bloc (4-8nm)		"	"	"		"	"	"	SHINE+SHA -02/20	
Pig-0232_2019_LaFeclaz - rouge	PIG_0232	PIG_0232_A_601	Pig-0232-2019	Trou de la Feclaz	Pied paroi calcaire rouge	poudre	< 200 µm	rouge-brun	SHADOWS -02/20	0.363
"		"	"	"		"	"	"	SHINE -02/20	0.186
" (bloc)		PIG_0232_A_101	"	"		bloc		?	SHADOWS -02/20	14.897
" (bloc)		"	"	"		"		"	SHINE -02/20	"
Pig-0232_2019_LaFeclaz - jaune		PIG_0232_B_601	"	Trou de la Feclaz	Pied paroi calcaire jaune	poudre	< 200 µm	brun-orange clair	SHADOWS -02/20	0.348
"		"	"	"		"	"	"	SHINE -02/20	0.300
" (bloc)		PIG_0232_B_101	"	"		bloc		?	SHADOWS -02/20	35.463
" (bloc)		"	"	"		"		"	SHINE -02/20	"
Pig-0232_2019_LaFeclaz -vert (bloc)		PIG_0232_C_101	"	Trou de la Feclaz	banc marneux vert dans calcaire	bloc		verdâtre	SHADOWS -02/20	57.152
" (bloc)		"	"	"		"		"	SHINE -02/20	"
(Plot poli #3)		PIG_0232_A_401	"	"	"	plot poli	rond 32	"	SHADOWS -03/21	12.805
"		"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	"

Pig-0245-2019_Lesquerde (-inf200)	PIG_0245	PIG_0245_A_601	Pig-0245-2019	Lesquerde (66)	zone grise broyée	poudre	< 200 µm	gris-noir rougrea	SHINE -02/20	0.340
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	0.314
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	68.45
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	>>100
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
Pig-0253_2019_StGineis	PIG_0253	PIG_0253_X_601	Pig-0253-(2019?)	St Gineis-en-Coiron		poudre	< 200 µm	brun	SHADOWS -12/19	0.568
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -12/19	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	?
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	?
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -02/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -02/20	"
Pig-0254_2019_Berzeme	PIG_0254	PIG_0254_X_601	Pig-0254-(2019?)	Baras, Berzeme		poudre	< 200 µm	brun-rouge	SHADOWS -12/19	0.969
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -12/19	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE -12/19	"
<b>2020</b>										
Pig-0257-2020_Bessans/Machefer	PIG_0257	PIG_0257_X_601	Pig-0257-2020	Bessans - Machefer	Faciès meuble	poudre+ptit bl	brut	?	SHINE - 05/20	?
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE - 06/20	0.976
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -05/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	0.411
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	1.982
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	0.898
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	>>100
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -10/20	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE - 03/21	12.314
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	17.478
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	15.300
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHADOWS -03/21	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE - 03/21	19.86
Pig-0260-2020_St-Nazaire	PIG_0260	PIG_0260_A_101	Pig-0260-(2020?)	St Nazaire	spot 1	poudre	brut	?	SHINE - 05/20	1.990
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE - 06/20	1.453
Pig-0262-2020_St-Jean-en-Royans	PIG_0262	PIG_0262_X_101	Pig-0262-(2020?)	St Jean en Royans	spot 3	poudre	brut	?	SHINE - 05/20	1.049
"	"	"	"	"	"	"	"	"	SHINE - 06/20	1.082
<b>2021</b>										
Pig-0343-2021_St-Moré-Nermont	PIG_0343	PIG_0343_A_101 ?	Pig-0343-2021	St Moré-Nermont	spot 17	bloc			SHINE - 06/21	72.11
Pig-0366-2021_Château Ste Anne	PIG_0366	PIG_0366_A_401 ?	Pig-0366-2021	Château Ste Anne	spot 40	poudre			SHINE - 06/21	1.574
Pig-0371-2021_Laborde	PIG_0371	PIG_0371_A_101 ?	Pig-0371-2021	Laborde	spot 45	bloc			SHADOWS - 06/21	236.9
Pig-0372-2021_Sougères	PIG_0372	PIG_0372_A_101 ?	Pig-0372-2021	Sougères	spot 46	bloc			SHADOWS - 06/21	132.88
Pig-0385-2021_Beauregard Mine	PIG_0385	PIG_0385_A_101 ?	Pig-0385-2021	Beauregard Mine	banc 1 - spot 58	bloc			SHADOWS - 06/21	52.15
"	"	"	"	"	"	"			SHINE - 06/21	20.33
"	"	"	"	"	"	"			SHINE - 06/21	73.83
"	"	"	"	"	"	"			SHADOWS - 06/21	148

"	(bloc)		PIG_0385_A_105 ?	"	"	banc 5 - spot 58	bloc				SHINE - 06/21	30.92
"	(bloc)		PIG_0385_A_106 ?	"	"	banc 6 - spot 58	bloc				SHADOWS - 06/21	96.78
"	(bloc)		PIG_0385_A_106b ?	"	"	banc 6b - spot 58	bloc				SHINE - 06/21	12.33
"	(bloc)		PIG_0385_A_107 ?	"	"	banc 7 - spot 58	bloc				SHADOWS - 06/21	53.24
"	(bloc)		PIG_0385_A_108 ?	"	"	banc 8 - spot 58	bloc				SHADOWS - 06/21	15.55
<b>Pig-0386-2021_Canonettes</b>		<b>PIG_0386</b>		<b>Pig-0386-2021</b>	Canonettes / Les							
"	(bloc)		PIG_0386_A_201	"	Baux-de-Provence	Faciès A	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_B_201	"	"	Faciès B	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_C_201	"	"	Faciès C	bloc				SHINE - 11/21	
"	"		"	"	"	"	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_D_201	"	"	Faciès D	bloc				SHINE - 11/21	
"	"		"	"	"	"	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_D_202	"	"	Faciès D	bloc				SHINE - 11/21	
"	"		"	"	"	"	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_E_201	"	"	Faciès E	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_F_201	"	"	Faciès F	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_F_202	"	"	Faciès F	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_G_201	"	"	Faciès G	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_H_201	"	"	Faciès H	bloc				SHINE - 11/21	
"	"		"	"	"	"	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_I_201	"	"	Faciès I	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_J_201	"	"	Faciès J	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_K_201	"	"	Faciès K	bloc				SHINE - 11/21	
"	(bloc)		PIG_0386_L_201	"	"	Faciès L	bloc				SHINE - 11/21	
<b>Pigments commerciaux</b>												
<b>OKHRA-CCCN-n°2</b>			<b>CCCN n°2</b>		Terre ombre brulee	commercial	poudre			brun	SHADOWS -02/20	0.545
"			"		"	"	"			"	SHINE -02/20	"
"			"		"	"	"			"	SHINE -02/20	0.723
<b>OKHRA-CPR-n°6</b>			<b>CPR n°6</b>		Terre Ombre nat	commercial	poudre			brun olive	SHADOWS -02/20	0.567
"			"		"	"	"			"	SHINE -02/20	0.173
<b>OKHRA-TOR/SA-n°3</b>			<b>TOR/SA n°3</b>		Terre Sienne Brulee	commercial	poudre			rouge-brun	SHADOWS -02/20	0.357
"			"		"	"	"			"	SHINE -02/20	0.935
<b>OKHRA-AEK-n°7</b>			<b>AEK n°7</b>		Terre Ombre brulee	commercial	poudre			brun	SHADOWS -02/20	0.539
"			"		"	"	"			"	SHINE -02/20	"
<b>OKHRA-HG-n°14</b>			<b>HG n°14</b>		Terre Ombre Chypre nat	commercial	poudre			brun foncé	SHADOWS -02/20	0.781
"			"		"	"	"			"	SHINE -02/20	0.259
<b>Pigments Namibie</b>												
<b>G2017-0003_Namibie</b>	(bloc)	<b>PIG_0284</b>	<b>PIG_0284_A_101</b>	<b>G2017-0003</b>	Namibie		bloc			?	SHADOWS -02/20	77.43
"	(bloc)			"	"		"			"	SHINE -02/20	"
<b>G2017-0126_Namibie</b>	(bloc)	<b>PIG_0286</b>	<b>PIG_0286_A_101</b>	<b>G2017-0126</b>	Namibie		bloc			?	SHADOWS -02/20	9.269
"	(bloc)			"	"		"			"	SHINE -02/20	"
<b>G2017-0170_Namibie</b>	(bloc)	<b>PIG_0287</b>	<b>PIG_0287_A_101</b>	<b>G2017-0170</b>	Namibie		bloc			?	SHADOWS -02/20	6.573
"	(bloc)			"	"		"			"	SHINE -02/20	"
<b>G2017-0179_Namibie</b>	(bloc)	<b>PIG_0288</b>	<b>PIG_0288_A_101</b>	<b>G2017-0179</b>	Namibie		bloc			?	SHADOWS -02/20	43.66
"	(bloc)			"	"		"			"	SHINE -02/20	"
<b>G2017-0360_Namibie</b>	(bloc)	<b>PIG_0285</b>	<b>PIG_0285_A_101</b>	<b>G2017-0360</b>	Namibie		bloc			?	SHINE -02/20	>>100

"	(bloc)	"				"			SHINE -02/20	"
<b>Caillou noir Patagonie</b>	<b>(bloc)</b>	<b>(perso)</b>	Patagonie, Argentine			bloc		noir rougeatre	SHADOWS -02/20	?
"	(bloc)	"	"			"		"	SHINE -02/20	"
<b>Ecailles peintes</b>										
<b>PTS_S_Eca_1_Grotte_Points</b>	(zone rouge)	<b>PTS_S_Eca_1</b>	Grotte aux points	dépôt sur		Ecaille		rouge	SHINE -02/20	?
"		"				"		"	SHADOWS -02/20	"
"	(zone gris-rougeatre)	"				"		gris-rougeatre	SHINE -02/20	"
"		"				"		"	SHADOWS -02/20	"
"	(zone jaune-gris)	"				"		jaune-gris	SHINE -02/20	"
"		"				"		"	SHADOWS -02/20	"
"	(spot inclusion noire)	"				"		inclusion noire	SHADOWS -02/20	"
"	(spot crête orange)	"				"		crête orange	SHADOWS -02/20	"
"	(spot rose)	"				"		petite zone rose	SHADOWS -02/20	"
"	(zone rouge en pointe)	"				"		zone rouge en po	SHINE -10/20	"
<b>PTS_S_Eca_2_Grotte_Points</b>	(petite écaille)	<b>PTS_S_Eca_2</b>	Grotte aux points	dépôt sur		Ecaille		?	SHINE -02/20	?
"		"				"		"	SHADOWS -02/20	"
<b>PTS_OCR-13-07_Grotte_Points</b>	(Frag.)	<b>PTS_OCR-13-07</b>	Grotte aux points	matière colorante cohésive		Fragment Ocre		brun-rouge	SHADOWS -02/20	?
<b>PTS_OCR-13-10_Grotte_Points</b>	(Frag.)	<b>PTS_OCR-13-10</b>	Grotte aux points	matière colorante cohésive		Fragment Ocre		brun-rouge foncé	SHADOWS -02/20	?
<b>PTS_OCR-13-14_Grotte_Points</b>	(Frag.)	<b>PTS_OCR-13-14</b>	Grotte aux points	matière colorante cohésive		Fragment Ocre		rouge	SHADOWS -02/20	?
<b>PTS_OCR-15-01_Grotte_Points</b>	(Frag.)	<b>PTS_OCR-15-01</b>	Grotte aux points	matière colorante cohésive		Fragment Ocre		rouge-brun	SHADOWS -02/20	?
<b>RDC-03_Rocher-du-Château</b>		<b>RdC-2003-BLC03-S4-C10.d4</b>	Rocher du château	matière colorante non-cohésive		petit bloc		rouge	SHINE -06/20	?
<b>RDC-04_Rocher-du-Château</b>		<b>RdC-2002-BLC02-S4-C7.d2</b>	Rocher du château	matière colorante non-cohésive		poudre		?	SHADOWS -05/20	0.165
<b>RDC-05_Rocher-du-Château</b>		<b>RdC-2002-BLC02-S4-C7.d2.b1</b>	Rocher du château	matière colorante non-cohésive		poudre	grossière	brun-noir	SHADOWS -05/20	0.404
<b>Substrats peints</b>										
<b>PIG_PI1_A</b>	(peint Bordezac_0160)	<b>PIG_0160_D_901</b>	Plaque1, A	Bloc A,B,C,D	< 160µm sur	peint			SHINE -02/20	
<b>PIG_PI1_B</b>	(peint Pierremorte_0020)	<b>PIG_0020_A_901</b>	Plaque1, B	Bloc A,B,C,D	> 160µm sur	peint			SHINE -02/20	
	idem		"	"	"	"			SHINE -10/20	
	(1B - peint Pierremorte_002									
<b>PIG_PI1_C</b>	(peint Beauregard_0174)	<b>PIG_0174_A_901</b>	Plaque1, C	Bloc A,B,C,D	< 160µm sur	peint			SHINE -02/20	
	idem		"	"	"	"			SHINE -10/20	
	(1C - peint Beauregard_0174									
<b>PIG_PI1_D</b>	(peint Roussillon_0173-A601)	<b>PIG_0173_A_901</b>	Plaque1, D	Bloc A,B,C,D	< 160µm sur	peint			SHINE -02/20	

idem								SHINE -10/20	
idem								SHINE -10/20	
(1D - peint Roussillon_0173)									
PIG_PI2_E (peint Huy Gare_0172)	PIG_0172_A_903	Plaque2, E	Bloc E,F,G,H	< 160µm sur	peint			SHINE -02/20	
idem								SHINE -10/20	
(2E - peint Huy_0172)									
PIG_PI2_F (peint Fontenaille_0175)	PIG_0175_A_901	Plaque2, F	Bloc E,F,G,H	< 160µm sur	peint			SHINE -02/20	
PIG_PI2_G (peint Pierrerue_0176)	PIG_0176_A_901 ??	Plaque2, G	Bloc E,F,G,H	< 160µm sur	peint			SHINE -02/20	
idem								SHINE -10/20	
(2G - peint Pierrerue_0176)									
PIG_PI2_H (peint PIG-0204)	PIG_0204_A_904	Plaque2, H	Bloc E,F,G,H	< 160µm sur	peint			SHINE -02/20	
"	"	"	"	"	"			"	
PI3_L (plaque vierge)		Plaque3 vierge	Bloc I,J,K,L	calcaire scié	bloc			SHINE -02/20	?
PIG_Plaquet1 (peint Bordezac)	PIG_0160_D_902		Plaquette 1	peint sur	plaquette			SHINE -02/20	x
PIG_Plaquet2 (peint Beauregard)	PIG_0174_A_902 ??		Plaquette 2	peint sur	plaquette			SHINE -02/20	x
PIG_Plaquet3 (peint Roussillon)	PIG_0173_A_902		Plaquette 3	peint sur	plaquette			SHINE -02/20	x
PIG_Plaquet4 (peint Pierremorte)	PIG_0020_A_902		Plaquette 4	peint sur	plaquette			SHINE -02/20	x
Plaquet1 (zone brune)			Plaquette Bordezac	calcaire brun	plaquette	zone brune		SHINE -02/20	?
Plaquet2 (zone grise)			Plaquette Beauregard	calcaire brun	plaquette	zone grise		SHINE -02/20	x
Plaquet4 (cristaux)			Plaquette	calcaire brun	plaquette	cristaux gris		SHINE -02/20	x
Bloc calcaire PTS bloc #1	PTS bloc #1		Bloc calcaire	morceau de calcaire scié				SHINE -10/20	17.258
avec peinture 0172_Huy	PIG_0172_A_901							SHINE -10/20	
avec peinture 0172_Huy	"							SHINE -10/20	
avec peinture 0172_Huy	"							SHINE -10/20	
avec peinture 0172_Huy	"							SHINE -10/20	
avec peinture 0172_Huy	"							SHINE -10/20	
Bloc calcaire PTS bloc #3	PTS bloc #3		Bloc calcaire	morceau de calcaire scié				SHINE -10/20	?
avec peinture 0204-Valaurie	PIG_0204_A_901							SHINE -10/20	
avec peinture 0204-Valaurie	"							SHINE -10/20	
Bloc calcaire PTS bloc #5	PTS bloc #5		Bloc calcaire	morceau de calcaire scié				SHINE -10/20	19.74
avec peinture 0204-Valaurie	PIG_0204_A_902							SHINE -10/20	
avec peinture 0204-Valaurie	"							SHINE -10/20	
avec peinture 0204-Valaurie	"							SHINE -10/20	
avec peinture 0204-Valaurie	"							SHINE -10/20	
Bloc Serpentine RdC bloc #2A - spot #1	RdC bloc #2A		Bloc Serpentine	gros morceau allongé de serpentine sciée				SHINE -10/20	44.244
- spot #2	"							SHINE -10/20	
avec peinture 0172_Huy	PIG_0172_A_902							SHINE -10/20	
idem	"							SHINE -10/20	
avec peinture 0204-Valaurie	PIG_0204_A_903							SHINE -10/20	

avec peinture 0257-Bessans (Machefer)	PIG_0257_A_901								SHINE -10/20
traces sur faïence							dépot sur	tracé	
traces sur faïence								tracé	
Résine de plot							du plot		SHINE -03/21



## **ANNEXE 8 – Liste des gîtes**

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0001	Foncouverte	St-Julien-de-Peyrolas	France	4,5667	44,2667	Cénomarien moyen Crétacé sup. 2a: Calcaires argileux et lignite. Il s'agit d'une série marneuse de couleur marron cendré ou d'une série sableuse blanc jaunâtre, renfermant des niveaux de lignite et d'argiles.
PIG_0002	Combe du Barry - piste forestière	Courry	France	4,1500	44,2922	Domérien Jurassique inf. I6 : Calcaires à grains de Quartz et silex, calcaires gris-bleus à entroques fossiles: tiges de crinoïdes
PIG_0003	La Bastide-d'Engras entrée sud	La Bastide-d'Engras	France	4,7689	44,0909	Cénomarien inférieur Crétacé sup. c2a: Sables avec niveaux de grès-quartzites purs ou ferrugineux, de Couleur rougeâtre.
PIG_0005	Vigne	Salavas	France	4,3786	44,3967	Quaternaire Fza2: Alluvions des terrasses inférieures- Niveaux du secteur Vallon-Pont-d'Arc
PIG_0006	Grand Serre carrière	La Capelle-et-Masmolène	France	4,5406	44,0371	Cénomarien moyen Crétacé sup. c2b: Ce sont des couches marno-calcaires gréseuses. On trouve de nombreux bancs de marnes à lignite.
PIG_0011	La Rouvière	Vagnas	France	4,3519	44,3401	Turonien Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignite, calcaires, Marnes à huîtres.
PIG_0012	Cornillon	Cornillon	France	4,4994	44,2248	Turonien supérieur Crétacé sup. c3c: Grès et sables siliceux. Sables grossiers, blancs et rouges avec niveaux ligniteux, argileux, ferrugineux ou ocreux.
PIG_0013	Cornillon 1a	Cornillon	France	4,4994	44,2248	Turonien supérieur Crétacé sup. c3c: Grès et sables siliceux. Sables grossiers, blancs et rouges avec niveaux ligniteux, argileux, ferrugineux ou ocreux.
PIG_0014	Cornillon 1b	Cornillon	France	4,4988	44,2227	Turonien supérieur Crétacé sup. c3c : Grès et sables siliceux. Sables grossiers, blancs et rouges avec niveaux ligniteux, argileux, ferrugineux ou ocreux.
PIG_0015	Col des Brousses couche 1	St-Florent-sur-Auzonnet	France	4,1333	44,2490	Keuper t7-9: marnes rougeâtres ou verdâtres, dolomies gréseuses, grès
PIG_0020_std	Pierremorte 1	Courry	France	4,1413	44,3113	Callovien j3: Calcaire couches des Assions ?
PIG_0022	Pierremorte 1 2 selon J. Monney	Courry	France	4,1443	44,3098	Callovien j3: Calcaire couches des Assions ?
PIG_0023	Mine d'ocre	St-Laurent-la-Vernède	France	4,4517	44,1100	Turonien supérieur c3c: Grès et sables siliceux. Sables grossiers, blancs et rouges avec niveaux ligniteux, argileux, ferrugineux ou ocreux.
PIG_0024	Les Trémousses - sud de Brahic	Malbosc	France	4,0978	44,3678	Stéphanien h5b5 : schistes
PIG_0025	Croix de Fauvie Préhistorama	Rousson	France	4,1327	44,2056	Kimméridgien Crétacé inf. j7: Calcaires à faciès Urgonien: blancs, massifs, à rudistes et ici, localement crayeux.
PIG_0026	La Capette - Sud de Masmolène	La Capelle-et-Masmolène	France	4,5156	44,0459	Cénomarien moyen Crétacé sup. c2b: Ce sont des couches marno-calcaires gréseuses. On trouve de nombreux bancs de marnes à lignite.

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0029	La Capette 2 gravière	La Capelle-et-Masmolène	France	4,5185	44,0405	Cénomaniens moyen Crétacé sup. c2b: Ce sont des couches marno-calcaires gréseuses. On trouve de nombreux bancs de marnes à lignite.
PIG_0038	La Capette pt3	La Capelle-et-Masmolène	France	4,5340	44,0404	Cénomaniens moyen Crétacé sup. c2b: Ce sont des couches marno-calcaires gréseuses. On trouve de nombreux bancs de marnes à lignite.
PIG_0039	Vénéjan sud	Vénéjan	France	4,6572	44,1929	Santonien Crétacé sup. c5a : Grès ferrugineux et argiles Bariolées à goethite et kaolinite.
PIG_0047	Entre St-Cirgue-de-Prades Et Jaujac	Jaujac	France	4,2668	44,6277	Basalte : coulée de Jaujac
PIG_0048	Rieussec 1	Salavas	France	4,3934	44,3833	Turonien moyen ? Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignites, Calcaires, marnes à huîtres. Turonien moyen à supérieur à faciès ucétien. Aux environs de Salavas, Alternance irrégulière de bancs sableux bigarrés et d'argiles versicolores à nodules ferrugineux
PIG_0049	Rieussec 3	Salavas	France	4,3831	44,3842	Turonien moyen ? Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignites, Calcaires, marnes à huîtres. Turonien moyen à supérieur à faciès ucétien. Aux environs de Salavas, Alternance irrégulière de bancs sableux bigarrés et d'argiles versicolores à nodules ferrugineux
PIG_0051	Rieussec Fabrèges	Vagnas	France	4,3570	44,3680	Turonien moyen ? Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignites, Calcaires, marnes à huîtres. Turonien moyen à supérieur à faciès ucétien. Aux environs de Salavas, Alternance irrégulière de bancs sableux bigarrés et d'argiles versicolores à nodules ferrugineux
PIG_0052	Gîte de Brousse Les Plantades	Montréal	France	4,2833	44,5167	Keuper Trias sup. tc: Succession de séquence de rudites, d'arénites, d'argilites Bariolées et de dolomies.
PIG_0053	La Vernade	Chassiers	France	4,3287	44,5605	Hettangien-Sinémurien Jurassique inf. l2-3: Calcaire noduleux cendrés et marnes.
PIG_0054	Les Brugières	Salavas	France	4,3710	44,3818	Turonien moyen ? Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignites, Calcaires, marnes à huîtres. Turonien moyen à supérieur à faciès ucétien. Aux environs de Salavas, Alternance irrégulière de bancs sableux bigarrés et d'argiles versicolores à nodules ferrugineux
PIG_0062	Les Brugières carrières	Salavas	France	4,3710	44,3818	Turonien moyen ? Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignites, Calcaires, marnes à huîtres. Turonien moyen à supérieur à faciès ucétien. Aux environs de Salavas, Alternance irrégulière de bancs sableux bigarrés et d'argiles versicolores à nodules ferrugineux

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0063	La Tuilière	Salavas	France	4,3724	44,3867	Turonien moyen ? Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignites, Calcaires, marnes à huîtres. Turonien moyen à supérieur à faciès ucétien. Aux environs de Salavas, Alternance irrégulière de bancs sableux bigarrés et d'argiles versicolores à nodules ferrugineux
PIG_0064	Falaises sup. - Salavas	Salavas	France			Turonien moyen ? Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignites, Calcaires, marnes à huîtres. Turonien moyen à supérieur à faciès ucétien. Aux environs de Salavas, Alternance irrégulière de bancs sableux bigarrés et d'argiles versicolores à nodules ferrugineux
PIG_0067	Maison forestière de Valbonne	Carsan	France	4,5660	44,2260	Turonien Crétacé sup. C3c: Grès et sables siliceux
PIG_0072	Pierremorte site 1	Courry	France	4,1440	44,3099	Callovien j3: Calcaire couches des Assions ?
PIG_0075	Pierremorte site 2	Courry	France	4,1413	44,3113	Callovien j3: Calcaire couches des Assions ?
PIG_0078	La Roquevinière	St-Laurent-la-Vernède	France			Turonien supérieur c3c: Grès et sables siliceux. Sables grossiers, blancs et rouges avec niveaux ligniteux, argileux, ferrugineux ou ocreux.
PIG_0094	Cornillon site 1	Cornillon	France	4,4988	44,2227	Turonien supérieur c3c: Grès et sables siliceux. Sables grossiers, blancs et rouges avec niveaux ligniteux, argileux, ferrugineux ou ocreux.
PIG_0096	Cornillon site 2	Cornillon	France			Turonien supérieur c3c: Grès et sables siliceux. Sables grossiers, blancs et rouges avec niveaux ligniteux, argileux, ferrugineux ou ocreux.
PIG_0152	Carrière CECA	Saint-Bauzile	France	4,6879	44,6779	Basalte: montagne d'Andance
PIG_0153	Chemin de Roumanie	La Voulte-sur-Rhône	France	4,7740	44,8012	Callovien inférieur sommet et Callovien moy j3a-b: à la Voulte : minerai de fer partie principale
PIG_0154	Lit du Rieussec	Vagnas	France	4,3515	44,3641	Alluvions récentes de lit majeur sables, graviers cailloutis, limons de débordement, vasières de bras morts, reposant sur du c6 matériel Probablement issu du Turonien moyen c3c_
PIG_0155	Départ piste forestière	Vagnas	France	4,3535	44,3689	Alluvions récentes de lit majeur sables, graviers cailloutis, limons de débordement, vasières de bras morts, reposant sur du c6 matériel Probablement issu du Turonien moyen c3c_
PIG_0156	Vignes Rieussec	Vagnas	France	4,3537	44,3671	Alluvions récentes de lit majeur sables, graviers Cailloutis, limons de débordement, vasières de bras morts, reposant sur du c6 matériel Probablement issu du Turonien moyen c3c_
PIG_0157	Camping de St-Sauveyre	Vagnas	France	4,3774	44,3489	Bédoulien inférieur Crétacé inf. - Calcaires à rudistes, Bio- calcarénites à faciès urgonien.
PIG_0158	Le Petit Brahic	Banne	France	4,1661	44,3506	Domérien? L6: Marnes micassées et calcaire gréseux

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0159	Pierre Morte	Courry	France	4,1411	44,3114	Callovien j3: Calcaire couches des Assions ?
PIG_0160_std	Bordezac	Bordezac	France	4,0761	44,3104	Trias inf. ? et moyen
PIG_0161	Eglise évangéliste réformée	Les Vans	France	4,1331	44,4039	t1: "Grès inférieurs" : poudingues, arkoses, grès calcaire ferrugineux dans la maçonnerie
PIG_0162	Monteil 1	Montclus	France	4,4079	44,2761	Barrémien inf. Crétacé n4-5U : Calcaires à faciès urgonien non subdivisés
PIG_0163	La Tuillière, Loumet	Salavas	France	4,3719	44,3881	Turonien moyen ? Crétacé sup. c3b-c: Sables à lignites, Calcaires, marnes à huîtres. Turonien moyen à supérieur à faciès ucétien. Aux environs de Salavas, Alternance irrégulière de bancs sableux bigarrés et d'argiles versicolores à nodules ferrugineux
PIG_0164	Mine d'ocre	St-Laurent-la-Vernède	France	4,4505	44,1108	Turonien supérieur c3c: Grès et sables siliceux. Sables grossiers, blancs et rouges avec niveaux ligniteux, argileux, ferrugineux ou ocreux.
PIG_0165	Le Gardon ou Gard	Russan	France	4,3236	43,9300	Formation fluviatile récente.
PIG_0166	Ruisseau du rocher rouge	Russan	France	4,3392	43,9372	Barrémien sup. Crétacé inf. - Faciès Urganien. Calcaire blancs cristallins à rudistes. Calcaire argileux jaunâtre grumeleux à fossiles. Calcaire récifaux blancs. Calcaires détritiques blancs à Foraminifères.
PIG_0168	Le Mas	Uzer	France	4,3203	44,5114	Sinemurien Jurassique inf. - l3-4: Calcaires micritiques à silex.
PIG_0169	La Coste	Uzer	France	4,3403	44,5345	Hettangien-Sinemurien inf. Jurassique inf. l2-3: Calcaires noduleux cendrés et Couches du Bosc « alternance de calcaires spathiques à cassure nette et à forme spécifique et de calcaires noduleux cendrés ».
PIG_0170	Ouest d'Aubenas	Aubenas	France	4,3650	44,6236	Carnien-Norien Trias sup. ts: « Formation bariolée d'Ucel ». Grès arkosiques très grossiers, argilites sableuses, siltites versicolores grises, vertes, rouges et dolomies jaunes ou beiges. La formation est stratocroissante et granocroissant
PIG_0171	Entre Mercuer et Aubenas	Aubenas	France	4,3539	44,6272	Carnien-Norien Trias sup. ts: « Formation bariolée d'Ucel ». Grès arkosiques très grossiers, argilites sableuses, siltites versicolores grises, vertes, rouges et dolomies jaunes ou beiges. La formation est stratocroissante et granocroissant
PIG_0172_std	Huy Gare	Huy	Belgique	5,2220	50,5220	Famennien Shale et shistes à passées d'hématite oolithique

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0173_std	Roussillon	Roussillon	France	5,3140	43,9012	Albien c1b: Sables ocreux
PIG_0174_std	Beauregard	Thoste	France	4,2285	47,4433	Hettangien ferrugineux l2-3: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0175_std	Fontenaille	Fontenaille	France	3,4719	47,5466	B Couverture limoneuse sur Jurassique blocs de grès ferrugineux parfois très abondants dans les terrasses limoneuses Situées à l'Ouest de Courson-les-Carières.
PIG_0176_std	Pierrerie	Pierrerie	France	2,9798	43,4265	Al Bauxite et argile bauxitique à gravillon ferrugineux
PIG_0177	La Jonade sud	St-Julien-de-Peyrolas	France	4,6120	44,3042	Vraconienne. Sables, grès à ciment calcaire, poudingues
PIG_0179	Le Puech de St Appolonie	Les Assions	France	4,1696	44,4226	Bajocien sup Calcaire à entroques des Buissières
PIG_0180	Le Puech de St Appolonie	Les Assions	France	4,1688	44,4226	Bajocien sup Calcaire à entroques des Buissières
PIG_0181	Cimetière	Les Vans	France	4,1370	44,4038	Bajocien sup Calcaire à entroques des Buissières
PIG_0183	La Rousse	Gravières	France	4,2244	44,3858	Bajocien sup. Calcaire à entroques des Buissières - Calcaire de la Rousse
PIG_0184	Le Mognard	Gravières	France	4,0736	44,4232	brèches ferrugineuses du Folcheran
PIG_0185	Mur en fond de Jardin	Les Vans	France	4,1299	44,4040	Bajocien sup. Calcaire à entroques des Buissières
PIG_0186	Eglise évangéliste route de gras	Les Vans	France	4,1330	44,4042	Bajocien sup. Calcaire à entroques des Buissières
PIG_0187	Assise du cimetière	Les Vans	France	4,1522	44,4079	Bajocien sup. Calcaire à entroques des Buissières
PIG_0188	Carrière de Fontanisse	Serviers-et-Labaume	France	4,2861	44,0477	Crétacé terminal- Eocène
PIG_0189	Carrière de Fontanisse	Serviers-et-Labaume	France	4,2861	44,0477	Crétacé terminal- Eocène
PIG_0190	Déchetterie	Garrigues	France	4,2635	43,9220	Oligocène inf.
PIG_0191	Mas Bagard-champs	Baron	France	4,2861	44,0477	Plaeocène- Eocène inf.
PIG_0192	Mas Bagard	Baron	France	4,2861	44,0477	Barrémien sup. Crétacé inf. - Faciès Urgonien.
PIG_0193	Bézet-champs	Baron	France	4,2671	44,0605	Plaeocène- éocène inf.
PIG_0194	Foncouverte	Baron	France	4,2861	44,0477	Cénomaniens-Turonien
PIG_0195	Foncouverte	Baron	France	4,2861	44,0477	Coniacien - calcaire gréseux
PIG_0196	Fougeras	Dions	France	4,2930	43,9185	Plaeocène- éocène inf.
PIG_0197	Les Condamines table des chasseurs	Sanilhac-et-Sagriès	France	4,4105	43,9352	Barrémien sup. Crétacé inf. - Faciès Urgonien. Cénomaniens moyen Crétacé sup.
PIG_0198	Mas Cavalle	La Capelle-et-Masmolène	France	4,5394	44,0386	c2b: Ce sont des couches marno-calcaires gréseuses. On trouve de nombreux bancs de marnes à lignite.
PIG_0200	Intersection D279 D982	Pouzilhac	France	4,5593	44,0439	Cénomaniens inférieur Crétacé sup. Sables avec niveaux de grès-quartzites purs ou ferrugineux, de couleur rougeâtre.
PIG_0201	Dôme de Sarsin	Connaux	France	4,6028	44,0937	Barrémien sup. Crétacé inf. - Faciès Urgonien
PIG_0202	Le Bosc - mur de jardin	Les Assions	France	4,1688	44,4226	Bajocien sup. Calcaire à entroques des Buissières



GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0204	Jonchier Serre Rouge	Valaurie	France	4,8288	44,4239	e: Cénozoïque et formations superficielles. Eocène ? Sables rouges et blancs Crétacé supérieur altéré ? Eocène ? Sable – Fe Kaolinite
PIG_0205	Jonchier Serre Rouge	Valaurie	France	4,8288	44,4239	e: Cénozoïque et formations superficielles. Eocène ? Sables rouges et blancs Crétacé supérieur altéré ? Eocène ? Sable – Fe Kaolinite
PIG_0206	Viallard site A	La Rochette	France	4,2235	44,9324	Cß: formations volcaniques - Pyroclastites et formations associées - Projections et scories des cônes stromboliens et retombées voisines. Basaltes altérés
PIG_0207	Chauvy – Brousson site B	La Rochette	France	4,2155	44,9170	Formations volcaniques - Magmatisme effusif - Volcanisme du Velay oriental - Miocène sup - Trachytes et phonolites – Basaltes altérés
PIG_0208	sortie nord-est	Privas	France	4,6088	44,7347	l4-j1-3a: Jurassique - Marnes et calcaires noirs de Coux, Minerai de fer de Saint-Priest, Calcaires noirs de Vesseaux, Calcaires du Riou-Petit Toarcien et niveaux condensés Aalénien-Bathonien inférieur bancs gréseux fins
PIG_0209	Puech de Canders	Cazouls-lès-Béziers	France	3,0887	43,4149	Al Bauxite et argile bauxitique à gravillon ferrugineux
PIG_0210	Mas du Puech Long	Aujargues	France	4,1412	43,8033	éocène inf.
PIG_0211	La Fortunelle	Courry St-Brès	France	4,1766	44,2958	Oxfordien sup.: calcaire à nodules pyriteux, Très altérés
PIG_0212	Chemin de Roumanie	La Voulte-sur-Rhône	France	4,7651	44,7992	Callovien inférieur sommet et Callovien moyen j3a-b: à la Voulte : minerai de fer partie principale
PIG_0214	Ravin du Claret	St-Julien-Montdenis	France	6,4276	45,2643	Jurassique/Trias
PIG_0215	Ravin du Claret	St-Julien-Montdenis	France	6,4276	45,2643	Jurassique/Trias
PIG_0216	La Roche – Champs gras	Fontenaille	France	3,5901	47,5781	B Couverture limoneuse sur Jurassique blocs de grès ferrugineux parfois très abondants dans les terrasses limoneuses situées À l'Ouest de Courson-les-Carières.
PIG_0217	Terres Rouges	Pont-sur-Yonne	France	3,1229	48,2606	e3-Yprésien : ensemble d'argiles, sables et grès
PIG_0218	Laurent	Fontenaille	France	3,5013	47,5815	B Couverture limoneuse sur Jurassique blocs de grès ferrugineux parfois très abondants dans les terrasses limoneuses situées À l'Ouest de Courson-les-Carières.
PIG_0219	Camping Fromengal	Mairie Cussac	France	0,8857	44,8376	e3-4 Éocène : Formation de Sauteloup Yprésien ? sables fins à granules de quartz, à nodules ou lentilles d'argiles kaoliniques et halloysites
PIG_0220	Combe Saunière	Sarliac-sur-l'Isle	France	0,8868	45,2216	e-p: Formations fluviales sidérolithique, argiles Sableuses, compactées, à éléments ferrugineux

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0221	Thoste	Thoste	France	4,2308	47,4362	Hettangien ferrugineux
PIG_0222	Solargil	Saint-Amand-en-Puisaie	France			l2-3: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer n6b : Sables, sables argileux, grès ferrugineux. Sables de la Puisaye
PIG_0223	Crottes de fer Mont Blanc	Larchant	France	2,5938	48,2962	g1SF : Sables de Fontainebleau, accessoirement grès En place ou peu remanié (versant) – concrétions ferrugineuses formées sur les blocs des grès
PIG_0225	Avigny- champs sortie ouest	Avigny	France	3,7029	47,5852	B Couverture limoneuse sur Jurassique blocs de grès ferrugineux parfois très abondants dans les terrasses limoneuses situées à l'Ouest de Courson-les-Carières.
PIG_0227	vigne sortie sud-est	Minerve	France	2,7441	43,3491	e3bC: Calcaires marins à Alvéolines Ilerdien inférieur à moyen de la bordure méridionale de La Montagne Noire et unité d'Oupia
PIG_0228	La Moulinette	Cessenon-Orb	France	3,0575	43,4340	c6 "Grès à Reptiles", marnes, conglomérats, du Campanien Valdo-Fuvélien"
PIG_0229	Vallon de Mourgues	Pierrerue	France	2,9798	43,4265	Al Bauxite et argile bauxitique à gravillon ferrugineux
PIG_0230	Terril mine	Ferrières-Poussarou	France	2,8852	43,4901	k2c: Calcaires à Archaeocyathus Cambrien inférieur Et moyen
PIG_0231	Ceps, GR	Ceps	France	2,9867	43,5154	d5-h1a Calcaires noduleux et griottes du Dévonien
PIG_0232	Trou de la Féclaz	Saint-Jean-d'Arvey	France	5,9919	45,5969	n3 : Marnes et marno-calcaires à miches, calcaires Silicieux très durs à spicules. Hauterivien
PIG_0233	Chaufferay	Saint-Diéry	France	3,0056	45,5225	M2ZGS : Unité supérieure des Gneiss (ou Série cristallophyllienne supérieure de Saint-Sauveur-la-Sagne - la Senouire) (Cambrien supérieur à Ordovicien?) : Migmatites paradérivées, Métatexites de paragneiss
PIG_0234	/	Saint-Germain-Lembron	France	3,2263	45,4624	RCgLI : Formation résiduelle dérivée de l'Oligocène de Limagne : Matériaux fins argilo-calcaires, cailloutis Cryoclastiques, sables, plus ou moins colluvionnés
PIG_0235	Lac d'en haut	La Godivelle	France			q3pyrscßCZ : Volcanisme pleistocène supérieur du Cézallier : Pyroclastites et/ou scories basaltiques
PIG_0236	Petit Mont Blanc	Pralognan-la-Vanoise	France	6,6864	45,3559	tG (7) : Gypses (anhydrites en profondeur) à éléments et éventuellement intercalations de schistes et dolomies. Carnien à Norien
PIG_0237	Mont Jovet	Bozel	France	6,6383	45,4948	Sl: zone des schistes lustrés- Schistes lustrés Indéterminés
PIG_0238	Roc Mugnier	Saint-Bon-Tarentaise	France	6,6531	45,3665	tK (5): Cargneules de la Zone Briançonnaise et de la nappe des gypses
PIG_0239	Croix du Triadou Aubrac	Saint-Chély-d'Aubrac	France	2,9556	44,6173	mp_1.Basanite microporphyrrique

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0240	D920 – Chemin de Calmont	Espalion	France	2,7366	44,5133	t-l1 Trias - Lias inférieur p.p. : Trias supérieur ou Hettangien basal : argillites, grès
PIG_0241	Grèzes	Saint-Côme-d'Olt	France	2,8316	44,5308	t-l1 Trias - Lias inférieur p.p. : Trias supérieur ou Hettangien basal : argillites, grès
PIG_0242	Aubrac	Saint-Chély-d'Aubrac	France	2,9866	44,6238	Sß Projections scoriacées
PIG_0243	route de Rougerie Baraque du banquier	Campagnac	France	3,1132	44,3749	R Formations résiduelles des surfaces calcaires Terre des Causses sur Bathonien
PIG_0244	Les Vignes	Massegros Causses Gorges	France	3,2320	44,2712	ßj1b Basaltes du Jurassique moyen
PIG_0245	mine	Lesquerde	France	2,5255	42,8013	l1-4Lias inférieur carbonaté indifférencié
PIG_0246	Mas Camps	Estagel	France	2,6788	42,7834	Oligocène g: Formations de Paziols - Estagel et d'Espira-de-l'Agly
PIG_0247	Les Lates	Darbres	France	4,5336	44,6681	ßp Volcanisme des Coirons - Basalte du plateau
PIG_0248	La Mège	Darbres	France	4,5239	44,6554	ßp Volcanisme des Coirons - Basalte du plateau
PIG_0249	derrière le château	Mirabel	France	4,4986	44,6097	Valanginien n2b – Laminites ocre de Mirabel marnes et faisceaux de fines calcarénites argileuses
PIG_0250	Les Roumanes	Lussas	France	4,5239	44,6554	Fß Alluvions anciennes à éléments de basalte Prédominant
PIG_0251	La Jastre	Saint-Jean-le-Centenier	France	4,5456	44,6047	tf Volcanisme des Coirons: Tufs stratifiés
PIG_0252	La Jastre	Saint-Jean-le-Centenier	France	4,5472	44,6052	tf Volcanisme des Coirons: Tufs stratifiés
PIG_0253	Bas Montbrun	Saint-Gineis-en-Coiron	France	4,5445	44,6134	tf Volcanisme des Coirons: Tufs stratifiés
PIG_0254	Baras	Berzème	France	4,5603	44,6716	Pr sc Volcanisme des Coirons: Projections volcaniques : cendres et scories stromboliennes en amas ou bancs
PIG_0255	Cros du Roure	Coux	France	4,6162	44,7469	l4-j1-3a Marnes et calcaires noirs de Coux, Minerai de fer de Saint-Priest, Calcaires noirs de Vesseaux, Calcaires du Riou-Petit Toarcien et niveaux Condensés Aalénien-Bathonien inférieur
PIG_0256	La Croix des Avias	Darbres	France	4,5129	44,6227	paléosol entre deux coulées de basalte
PIG_0257	Machefer	Bessans	France	7,0158	45,3481	cR: Radiolarites et encroûtements manganésifères. Crétacé
PIG_0258	Machefer	Bessans	France	7,0158	45,3481	cR: Radiolarites et encroûtements manganésifères. Crétacé
PIG_0259	La Boissine	La Voulte-sur-Rhône	France	4,7634	44,7992	Minerai de fer (partie principale) de La Voulte et niveaux à fossiles noirs, au S W à Rompon : couches des Assions - Callovien inférieur (sommet) et Callovien moyen
PIG_0260	carrière de Saint Nazaire	Saint-Nazaire-en-Royans	France	5,2448	45,0594	e1-7 Sables kaoliniques ou siliceux (Paléocène - Eocène indifférencié)
PIG_0261	route D532	Saint-Nazaire-en-Royans	France			e1-7 Sables kaoliniques ou siliceux (Paléocène - Eocène indifférencié)

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0262	route D76	Saint-Nazaire-en-Royans	France	5,2575	45,0574	g1 Rupélien : Sables fins bariolés, argiles à foraminifères, sables feldspathiques
PIG_0263	Le Bois Savoyard	Rochechinard	France	5,2530	45,0407	e1-7 Sables kaoliniques ou siliceux (Paléocène - Eocène indifférencié)
PIG_0264	Laragnolle	Rochechinard	France	5,2248	45,0100	n4-5U "sidérolithique" dans les calcaires urgoniens
PIG_0265	Laragnolle	Rochechinard	France	5,2251	45,0115	n4-5U "sidérolithique" dans les calcaires urgoniens
PIG_0266	Laragnolle	Rochechinard	France	5,2283	45,0130	n4-5U "sidérolithique" dans les calcaires urgoniens
PIG_0267	Les Merles	Rochechinard	France	5,2617	44,9911	e1-7 Sables kaoliniques ou siliceux (Paléocène - Eocène indifférencié)
PIG_0268	Combe d'Arc	Vallon-Pont-d'Arc	France	4,4127	44,3833	Alluvions fluviatiles des lits majeurs - sables et graviers Terrasse +30 m
PIG_0269	Tour penchée	Soyons	France	4,8428	44,8826	j6 : Calcaires argileux - Kimméridgien
PIG_0271	Les Maîtreaux	Bossay-sur-Claise	France	0,9451	46,8249	eB. Eocène continentale, sable grossier, argileux, feldspathiques, de faciès "brenne", de couleur grise, Dans l'ensemble des argiles à conglomérat siliceux.
PIG_0272	Condades	Riols	France	2,7933	43,4666	k2d1. Alternances dolomies et pélites claires, Formation schisto-dolomitique du Cambrien inférieur
PIG_0273	/	Assignan	France	2,8736	43,3867	e4. Cuisien. Formation d'Assignan. C'est un ensemble fluviatile, formé de grès remplissage de chenaux et de limons calcaires marmorisés dépôts de plaine d'inondation à paléosols. ou e4b. Cuisien. Grès et marnes d'Assignan. Ensemble de grès
PIG_0274	Peyremale	Saint-Chignian	France			C-F Colluvions et alluvions de fond de vallon Quaternaire
PIG_0275	Caboujolette	Fleury	France	3,1440	43,2266	n1-2. Berriasien terminal- Valanginien basal Calcaire roux à plaquettes
PIG_0276	La Garrigue	Nissan-Les-Enserune	France	3,0988	43,2686	g3b Calcaires lacustres de Nissan Oligocène Supérieur - Aquitanien
PIG_0277	route de Launoy	Nonville	France	2,7897	48,2779	e3 Argile et grès sparnacien
PIG_0278	Ferme de Cherelle	Nonville	France	2,7630	48,2910	e7p formation à chailles, poudingues de Nemours Eocène
PIG_0279	Le Colombier	Saint Sérotin	France	3,1426	48,2714	LPb : complexes loessiques, loess indifférencié sur Substrat C4-6J campanien supérieur à belemnitella Mucronata
PIG_0280	le Signal de Gitry	Saint Sérotin	France	3,1698	48,2591	e3-41 Yprésien : ensemble d'argiles, sables et grès et galets + silex
PIG_0281	le Rayage	Nailly	France	3,1843	48,2447	RS formation résiduelle argilo-sableuse à silex sur Substrat Yprésien
PIG_0282	la Fosse aux Loups	Villemer	France	2,8213	48,2970	e3 Argile et grès sparnaciens

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0283	La Pièce des Loges	La Grande-Paroisse	France	2,8884	48,3712	déblais gravières//Alluvions
PIG_0284	2017K01 : Kalkfeld, Omatako	Namibie	Namibie	16,1605	-20,8044	breccia ferrugineuse shale ferrugineuse, métamorphisme de matière organique et de lave volcanique, formation Verbrande Berg, riche en soufre avec de la Natrojarosite et des laves Pahoehoe.
PIG_0285	2017T03 : Verbrande Berg	Namibie	Namibie	14,4189	-20,6217	non documenté
PIG_0286	2017E002	Namibie	Namibie	15,2175	-21,9555	grès altéritique ferrugineux : peut-être issu des Chuos formation, formation glaciogénique Principalement diamictique
PIG_0287	2017A04	Namibie	Namibie	14,4556	-20,4248	bloc d'hématite : peut-être issu des Chuos formation, Formation glaciogénique principalement diamictique
PIG_0288	2017A05	Namibie	Namibie	14,4579	-20,4281	remplissage de fracture d'oxyde de Mn
PIG_0289	La Pagésie	Montignac	France			non documenté
PIG_0290	Bénivet	Saint-André-d'Allas	France			
PIG_0291	Pech de Bord	Vitrac	France			c4b Crétacé, Cognacien moyen et supérieur, Calcaires bioclastiques jaunes et calcaires gréseux
PIG_0292	Le Theil	Vitrac	France			c4b Crétacé, Cognacien moyen et supérieur, Calcaires bioclastiques jaunes et calcaires gréseux
PIG_0294	/	Montignac	France			non documenté
PIG_0295	/	Castellar	France			n1-4 Néocomien Berriasien à Barrémien calcaires marneux, des marno-calcaire, des marnes schisteuses avec bancs glauconieux souvent pétris de belemnites, niveaux corrodés et ferrugineux, Parfois horizons à oolithes ferrugineuses.
PIG_0296	/	Villecroze	France			B-Bauxites Albien dans les poches du Jurassique Karstifié
PIG_0297	/	Salernes	France			B-Bauxites repose sur la surface karstifiée du Bathonien supérieur, en dessous-du Campanien
PIG_0298	/	Ollières	France			Al- Bauxite Albien dans le secteur d'Ollières et Poursieux, c'est une pseudo-bauxite Kaolinite+hématite/goethite rare boehmite
PIG_0299	gîte de Camparoux	Pontevès	France			B- Bauxite Albien dans des poches du Jurassique Supérieur
PIG_0300	les Camps-la-Source	les Camps-la-Source	France			Al- Bauxite Albien dans le secteur d'Ollières et Poursieux, c'est une pseudo-bauxite kaolinite+hématite/goethite rare boehmite, bien développé dans les synclinaux de Camps, Pelicon et du Val
PIG_0301	La Chaume	Chaillac	France	1,3189	46,4382	t-l2 : argile bariolée, arkose, grès ferrugineux à l'affleurement

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0302	Le Rossignol	Chaillac	France	1,3080	46,4244	t-l2 : argile bariolée, arkose, grès ferrugineux à l'affleurement
PIG_0303	la Raillerie	Chaillac	France	1,3022	46,4131	t-l2 : argile bariolée, arkose, grès ferrugineux à l'affleurement
PIG_0304	Maison Neuve	Chaillac	France	1,2936	46,4523	l1a: argile bariolé, sable arkosique argileux, argile sableuse, sable blanc, infra lias à Hettangien, 15 à 60 m d'épaisseur
PIG_0305	zone artisanale de Chénier	Sacieres Saint-Martin	France	1,3387	46,4637	l1a: argile bariolé, sable arkosique argileux, argile sableuse, sable blanc, infra lias à Hettangien, 15 à 60 m d'épaisseur
PIG_0306	Chénier La chaume à Bordet	Sacieres Saint-Martin	France	1,3270	46,4567	l1a: argile bariolé, sable arkosique argileux, argile sableuse, sable blanc, infra lias à Hettangien, 15 à 60 m d'épaisseur
PIG_0307	Village de Chénier	Sacieres Saint-Martin	France	1,3369	46,4678	indéterminé
PIG_0308	Moulin de Dunet	Dunet	France	1,2980	46,4683	l1a: argile bariolé, sable arkosique argileux, argile sableuse, sable blanc, infra lias à Hettangien, 15 à 60 m d'épaisseur
PIG_0310	Ponte di Veja Grotte A	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9700	45,6082	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0311	Ponte di Veja Grotte A	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9700	45,6082	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0312	Ponte di Veja Grotte G	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9697	45,6077	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0313	Ponte di Veja Grotte G1	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9697	45,6077	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0314	Ponte di Veja Grotte G1	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9697	45,6077	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0315	Ponte di Veja Grotte G1	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9697	45,6077	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0316	Ponte di Veja Grotte G1	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9697	45,6077	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0317	Ponte di Veja Grotte D=E	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9701	45,6082	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)



GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0318	Ponte di Veja Grotte D=E	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9701	45,6082	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0319	Ponte di Veja Grotte D=E	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9701	45,6082	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0320	Ponte di Veja Grotte D=E	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9701	45,6082	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0321	Ponte di Veja Grotte D=E	Sant'Anna d'Alfaedo	Italie	10,9701	45,6082	Oolithe de San Vigilio (Toarcien p.p. - Aalénien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien Inférieur)
PIG_0322	Sant'Andrea	Badia Calavena	Italie	11,1543	45,5931	Complesso Dolomitico Indifferenziato
PIG_0323	Sant'Andrea	Badia Calavena	Italie	11,1543	45,5931	Complesso Dolomitico Indifferenziato
PIG_0324	Sant'Andrea	Badia Calavena	Italie	11,1543	45,5931	Complesso Dolomitico Indifferenziato
PIG_0325	Sant'Andrea	Badia Calavena	Italie	11,1543	45,5931	Complesso Dolomitico Indifferenziato
PIG_0326	San Bortolo	Selva di Progno	Italie	11,1638	45,6035	Complesso Dolomitico Indifferenziato
PIG_0327	Chablis à Les Ichets	Courcelles-lès-Sémur	France	4,2649	47,4442	Hettangien ferrugineux I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0328	Les Ichets, remblais	Courcelles-lès-Sémur	France	4,2626	47,4441	___ : gneiss granulitisé
PIG_0329	Ichets et le Bois Jobard	Vic-de-Chassenay	France	4,2636	47,4450	Hettangien ferrugineux I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0330	Lavoir, En Pisse Vache	Thoste	France	4,2430	47,4419	Hettangien ferrugineux I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0331	à l'ouest du pont de Beau Serein	Thoste	France	4,2472	47,4421	___ : gneiss granulitisé
PIG_0332	Champs Rouge	Thoste	France	4,2476	47,4449	Hettangien et Rhétien ? I2-1
PIG_0333	Champs Rouge	Thoste	France	4,2452	47,4432	Hettangien ferrugineux I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0334	D15 entre spot 4 et spot 5	Thoste	France	4,2457	47,4419	___ : gneiss granulitisé
PIG_0335	Terril, les Champs Bouffetard	Thoste	France	4,2265	47,4468	Hettangien ferrugineux I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0336	sous l'entrée de la mine	Thoste	France	4,2463	47,4337	Hettangien ferrugineux I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0337	D15-rue des Bernardins	Thoste	France	4,2402	47,4421	Hettangien ferrugineux I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0338	Grottes Arcy-sur-Cure	Arcy-sur-Cure	France	3,7649	47,5914	j6a-5 Oxfordien supérieur et moyen : Récif de Mailly-le-château
PIG_0339	Grottes Arcy-sur-Cure	Arcy-sur-Cure	France	3,7646	47,5912	j6a-5 Oxfordien supérieur et moyen : Récif de Mailly-le-château

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0340	Grottes Arcy-sur-Cure	Arcy-sur-Cure	France	3,7637	47,5910	j6a-5 Oxfordien supérieur et moyen : Récif de Mailly-le-château mp. Mio-Pliocène : parfois dans les calcaires jurassiques, on rencontre des poches de sables et argiles rougeâtres, occupant d'anciennes dissolutions karstiques et qui pourraient être des Témoins de cette sédimentation.
PIG_0341	grottes du Père Leleu	Saint-Moré	France	3,7689	47,5864	mp. Mio-Pliocène : parfois dans les calcaires jurassiques, on rencontre des poches de sables et argiles rougeâtres, occupant d'anciennes dissolutions karstiques et qui pourraient être des Témoins de cette sédimentation.
PIG_0342	grotte de Nermont entrée	Saint-Moré	France	3,7683	47,5867	mp. Mio-Pliocène : parfois dans les calcaires jurassiques, on rencontre des poches de sables et argiles rougeâtres, occupant d'anciennes dissolutions karstiques et qui pourraient être des Témoins de cette sédimentation.
PIG_0343	grotte de Nermont bis	Saint-Moré	France	3,7682	47,5864	mp. Mio-Pliocène : parfois dans les calcaires jurassiques, on rencontre des poches de sables et argiles rougeâtres, occupant d'anciennes dissolutions karstiques et qui pourraient être des Témoins de cette sédimentation.
PIG_0344	gare d'Arcy-sur-Cure	Arcy-sur-Cure	France	3,7742	47,5995	indéterminé
PIG_0345	gare d'Arcy-sur-Cure, bas	Arcy-sur-Cure	France	3,7744	47,5994	indéterminé
PIG_0346	gare d'Arcy-sur-Cure, bas	Arcy-sur-Cure	France	3,7722	47,5994	indéterminé
PIG_0347	GR13a Arcy-sur-Cure	Arcy-sur-Cure	France	3,7693	47,5992	indéterminé
PIG_0348	bois de l'Epine et Métairie Maillard	Bazarnes	France	3,6072	47,6467	j7b Kimméridgien inférieur. Calcaire à Astartes
PIG_0349	Bois de l'Epine	Bazarnes	France	3,6146	47,6481	j7b Kimméridgien inférieur. Calcaire à Astartes
PIG_0350	chemin bois de la Cave	Bazarnes	France	3,6161	47,6481	j7b Kimméridgien inférieur. Calcaire à Astartes
PIG_0351	début chemin bois de la Cave	Bazarnes	France	3,6199	47,6484	mp. Mio-Pliocène : blocs de grès ferrugineux
PIG_0352	forêt de dessus Pommard	Vincelles	France	3,6148	47,6651	mp. Mio-Pliocène : blocs de grès ferrugineux
PIG_0353	ferme de Mazière	Bazarnes	France	3,6180	47,6560	mp. Mio-Pliocène : blocs de grès ferrugineux
PIG_0354	champ à éoliennes D11	Joux-la-Ville	France	3,8994	47,6195	j5-4 Oxfordien moyen et inférieur. Oolithe Ferrugineuse Oxfordien s. str..
PIG_0355	fossé Le Larris	Etivey	France	4,1366	47,6590	j5-4 Oxfordien moyen et inférieur. Oolithe Ferrugineuse Oxfordien s. str..
PIG_0356	fossé La Corvée	Pontaubert	France	3,8493	47,4846	l1-2. Hettangien
PIG_0357	fossé et chemin Le Pontot	Pierre-Perthuis	France	3,7783	47,4263	l3 Sinémurien. Calcaire à gryphées arquées
PIG_0358	Roche Percée	Pierre-Perthuis	France	3,7831	47,4369	__ granite à deux micas
PIG_0359	Le Tartre	Saizy	France	3,7186	47,3599	j2a Bathonien inférieur - Bajocien supérieur. Calcaire marneux en minces dalles géivent alternant avec des marnes ocre Mont Brie, Mont Sabot, le Tartre...

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0360	Mont Sabot	Neuffontaines	France	3,7367	47,3541	j2a Bathonien inférieur - Bajocien supérieur. Calcaire marneux en minces dalles gélient alternant avec des marnes ocre Mont Brie, Mont Sabot, le Tartre...
PIG_0361	ferrier, Bois de la Madeleine	Vézelay	France	3,7027	47,4702	LP. Limon de plateau
PIG_0362	Farges	Brosses	France	3,7146	47,5387	mp. Mio-Pliocène : concrétion ferrugineuse
PIG_0363	Le Viennois, Avigny	Mailly-la-Ville	France	3,7034	47,5889	B. Couverture limoneuse. Contenant quelques Pisolithes de fer
PIG_0364	La croix de Ramonet	Merry-sur-Yonne	France	3,6744	47,5625	mp. Mio-Pliocène : concrétion ferrugineuse
PIG_0365	Les Usages	Joux-la-Ville	France	3,8639	47,5837	B. Couverture limoneuse. Contenant quelques Pisolithes de fer
PIG_0366	Château Saint-Anne	Venoy	France	3,6621	47,8101	n4b. Barrémien supérieur. Sables et argiles panachés
PIG_0367	Château Sainte-Anne	Venoy	France	3,6630	47,8132	n4b. Barrémien supérieur. Sables et argiles panachés
PIG_0368	Château Sainte-Anne	Venoy	France	3,6640	47,8145	n5. Aptien. Argiles à Plicatules. À Laborde et à Egriselles, la base du Bédoulien Aptien inférieur comprend un niveau calcaire épais de 30 cm Renfermant souvent des oolithes ferrugineuses.
PIG_0369	Les Cailloux Noirs	Venoy	France	3,6514	47,8184	n4b. Barrémien supérieur. Sables et argiles panachés
PIG_0370	Tureau du Bar	Auxerre	France	3,6004	47,8258	c1b. Albien. Sables de la Puisaye
PIG_0371	Rue des Chaumes, Laborde	Auxerre	France	3,6097	47,8271	n5. Aptien. Argiles à Plicatules. À Laborde et à Egriselles, la base du Bédoulien Aptien inférieur comprend un niveau calcaire épais de 30 cm Renfermant souvent des oolithes ferrugineuses.
PIG_0371	Rue des Chaumes, Laborde	Auxerre	France	3,6097	47,8271	n4b. Barrémien supérieur. Sables et argiles panachés
PIG_0372	Tureau du Bar, Sougères	Monéteau	France	3,6042	47,8408	n5. Aptien. Argiles à Plicatules. À Laborde et à Egriselles, la base du Bédoulien Aptien inférieur comprend un niveau calcaire épais de 30 cm Renfermant souvent des oolithes ferrugineuses.
PIG_0373	Le gros Cailloux Noir, carrière	Montmachoux	France	3,0036	48,3163	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0374	Le gros Cailloux Noir, déblais	Montmachoux	France	3,0003	48,3151	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0375	golf, Ferme de la Forteresse	Thoury-Ferottes	France	2,9582	48,2959	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0376	golf, Ferme de la Forteresse	Thoury-Ferottes	France	2,9580	48,2958	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0377	golf, Ferme de la Forteresse	Thoury-Ferottes	France	2,9523	48,2950	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0378	les Mazuriaux	Villefargeau	France	3,4786	47,7837	indéterminé
PIG_0379	l'étang Jussier	Chevannes	France	3,4808	47,7720	indéterminé

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0380	carrière d'ocre	Pourrain	France	3,4087	47,7551	c2b. Cénomancien supérieur
PIG_0381	Le Charme, pt99	Voulx	France	2,9793	48,2832	c4-5. Sénonien. Craie à silex
PIG_0382	Bois Jadrat, carrière	Voulx	France	2,9812	48,2850	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0382	Bois Jadrat	Voulx	France	2,9816	48,2848	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0383	Bois Jadrat	Voulx	France	2,9819	48,2844	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès, zone quartzitique
PIG_0384	Les Bruyères, carrière	Ville-Saint-Jacques	France	2,9160	48,3481	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès, zone quartzitique
PIG_0385	entrée de mine Beauregard	Thoste	France	4,2447	47,4343	Hettangien ferrugineux
PIG_0386	Mas de l'Oulivié	Baux de Provence	France	4,7788	43,7372	I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0388	Montgelard	La Grande Paroisse	France	2,8868	48,3773	Bauxite des Baux
PIG_0389	source	Esmans	France	2,9597	48,3347	e5-7 Calcaire de Champigny, Calcaire de Château-Landon calcaire à éléments détritiques, marnes sableuses à rognons gréseux et calcaires
PIG_0390	Pentes de la Souche	Esmans	France	2,9573	48,3348	e7C Calcaire de Champigny, Calcaire de Château-Landon Marnes de Nemours
PIG_0391	Le Chapitre bois	Champigny	France	3,1182	48,2875	g2a Sables et grès de Fontainebleau (Stampien marin)
PIG_0392	Les Chapelles	Blennes	France	3,0403	48,2728	e3-4 Yprésien : argiles, sables, grès, quartzites et Poudingues à galets noirs
PIG_0393	Saint-Agnan, bois de Diant	Saint-Agnan	France	3,0314	48,3019	e3-4 Yprésien : argiles, sables, grès, quartzites et Poudingues à galets noirs
PIG_0394	Saint-Agnan, bois de Diant	Saint-Agnan	France	3,0332	48,3017	e3-4 Yprésien : argiles, sables, grès, quartzites et Poudingues à galets noirs
PIG_0395	Chemin grottes de Saint Moré	Saint Moré	France	3,7689	47,5864	mp. Mio-Pliocène : parfois dans les calcaires jurassiques, on rencontre des poches de sables et argiles rougeâtres, occupant d'anciennes dissolutions karstiques et qui pourraient être des Témoins de cette sédimentation.

GÎTE	LIEU DIT	COMMUNE	PAYS	X	Y	FORMATION
PIG_0380	carrière d'ocre	Pourrain	France	3,4087	47,7551	c2b. Cénomaniens supérieur
PIG_0381	Le Charme, pt99	Voulx	France	2,9793	48,2832	c4-5. Sénonien. Craie à silex
PIG_0382	Bois Jadrat, carrière	Voulx	France	2,9812	48,2850	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0382	Bois Jadrat	Voulx	France	2,9816	48,2848	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès
PIG_0383	Bois Jadrat	Voulx	France	2,9819	48,2844	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès, zone quartzitique
PIG_0384	Les Bruyères, carrière	Ville-Saint-Jacques	France	2,9160	48,3481	e3-4. Ypresien "Sparnacien" des auteurs. Sables, Galets, argiles et grès, zone quartzitique
PIG_0385	entrée de mine Beauregard	Thoste	France	4,2447	47,4343	Hettangien ferrugineux
PIG_0386	Mas de l'Oulivié	Baux de Provence	France	4,7788	43,7372	l2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
PIG_0388	Montgelard	La Grande Paroisse	France	2,8868	48,3773	Bauxite des Baux
PIG_0389	source	Esmans	France	2,9597	48,3347	e5-7 Calcaire de Champigny, Calcaire de Château-Landon calcaire à éléments détritiques, marnes sableuses à rognons gréseux et calcaires
PIG_0390	Pentes de la Souche	Esmans	France	2,9573	48,3348	e7C Calcaire de Champigny, Calcaire de Château-Landon Marnes de Nemours
PIG_0391	Le Chapitre bois	Champigny	France	3,1182	48,2875	e7C Calcaire de Champigny, Calcaire de Château-Landon Marnes de Nemours
PIG_0392	Les Chapelles	Blennes	France	3,0403	48,2728	g2a Sables et grès de Fontainebleau (Stampien marin)
PIG_0393	Saint-Agnan, bois de Diant	Saint-Agnan	France	3,0314	48,3019	e3-4 Yprésien : argiles, sables, grès, quartzites et Poudingues à galets noirs
PIG_0394	Saint-Agnan, bois de Diant	Saint-Agnan	France	3,0332	48,3017	e3-4 Yprésien : argiles, sables, grès, quartzites et Poudingues à galets noirs
PIG_0395	Chemin grottes de Saint Moré	Saint Moré	France	3,7689	47,5864	mp. Mio-Pliocène : parfois dans les calcaires jurassiques, on rencontre des poches de sables et argiles rougeâtres, occupant d'anciennes dissolutions karstiques et qui pourraient être des Témoins de cette sédimentation.





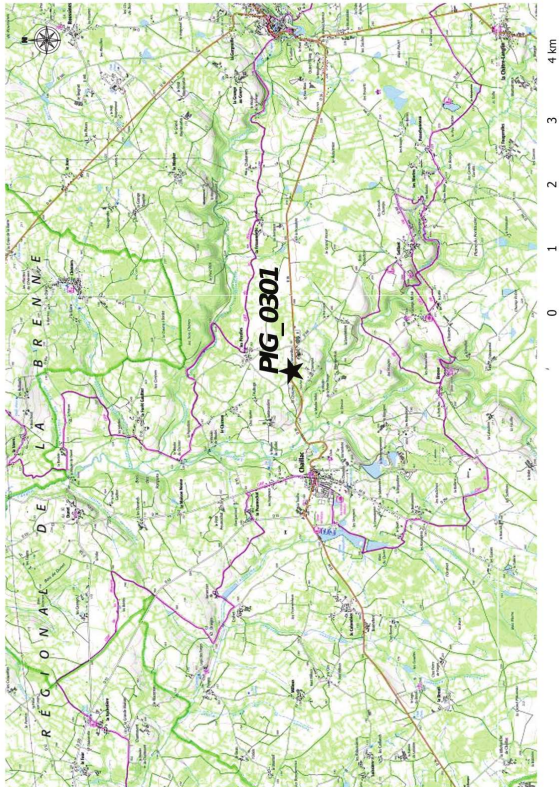
## **ANNEXE 9 – Prospection dans le secteur de Chaillac**

### FIG\_0301 - La Chaume (Chaillac)

#### Description :

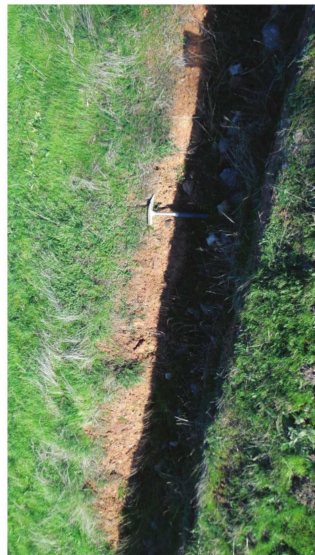
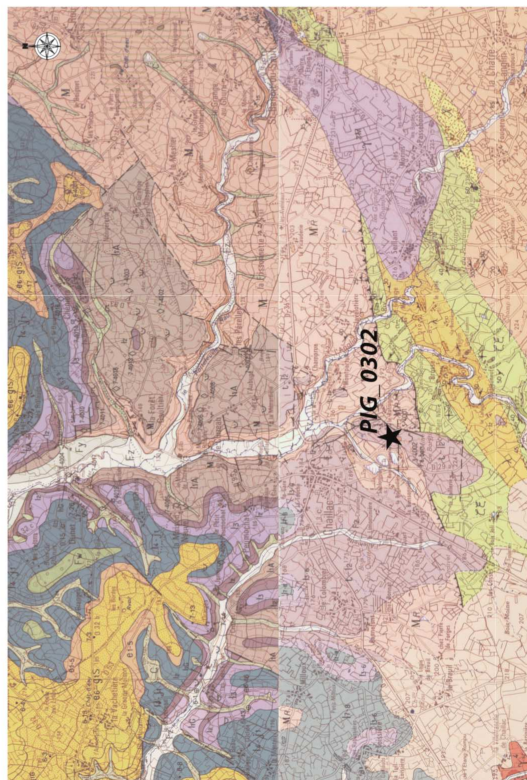
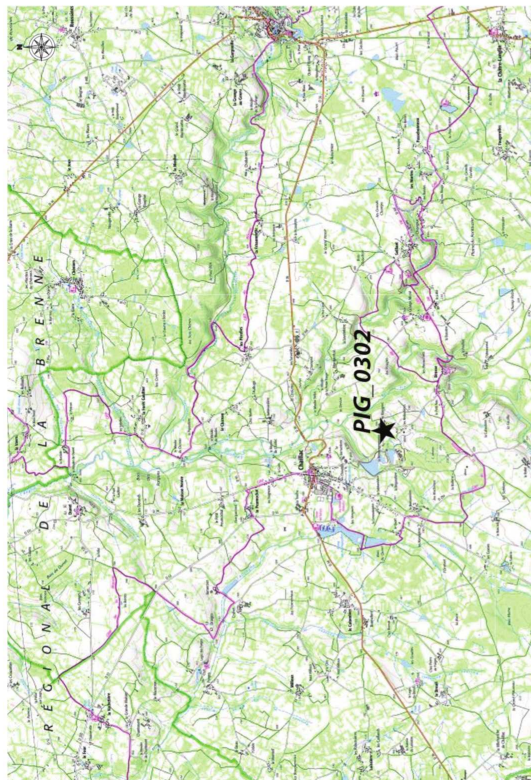
Formation géologique : t:2 : argile bariolée, arkose, grès ferrugineux à l'affleurement

Contexte de collecte : talus bord de route





### PIG\_0302 - Le Rossignol (Chaillac)



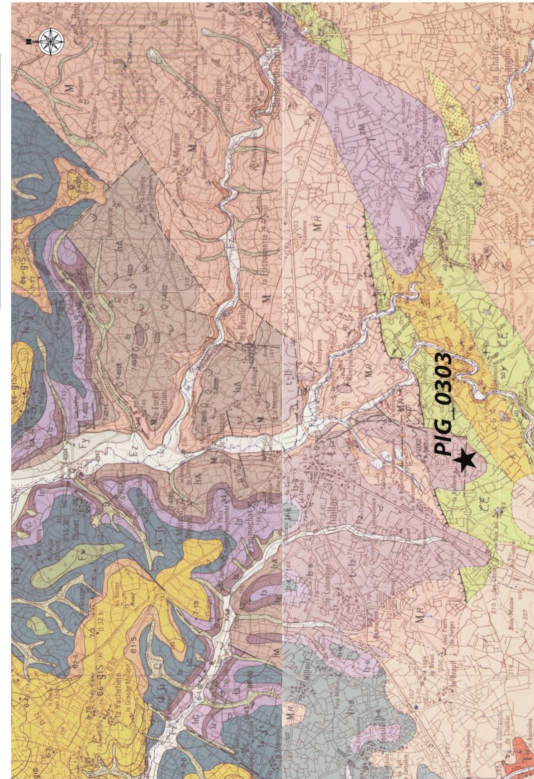
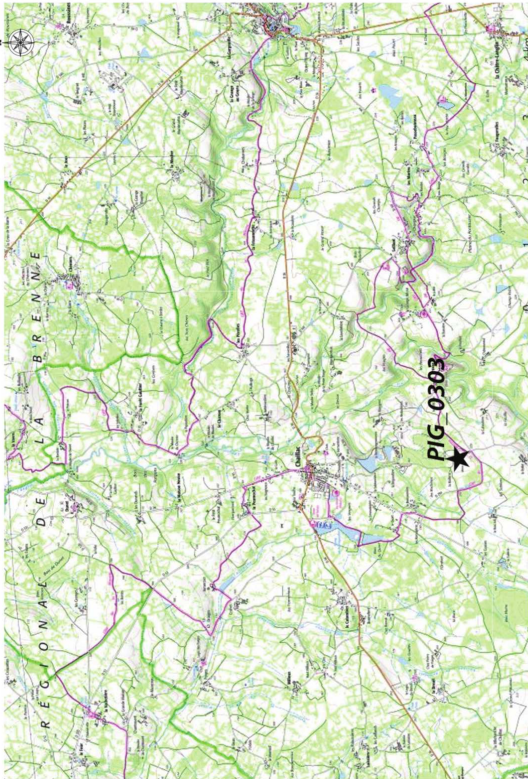
#### Description :

Formation géologique : t-12 : argile bariolée, arkose, grès ferrugineux à l'affleurement

Contexte de collecte : talus bord de route



**PIG\_0303 - La Raillerie (Chaillac)**



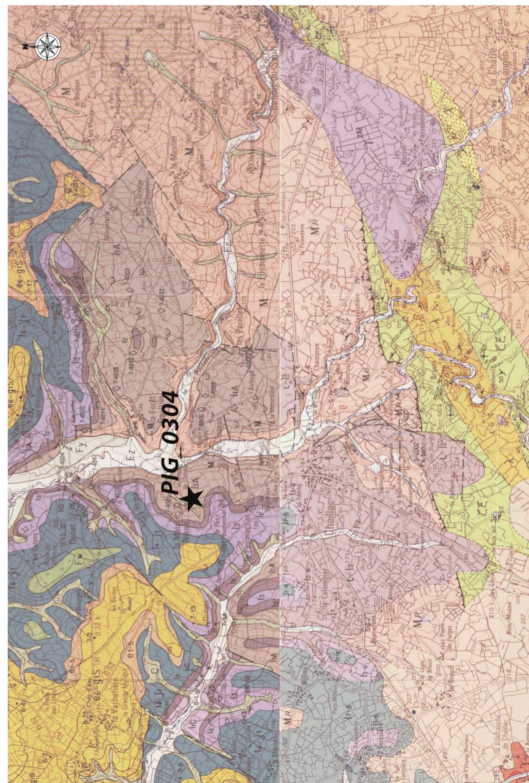
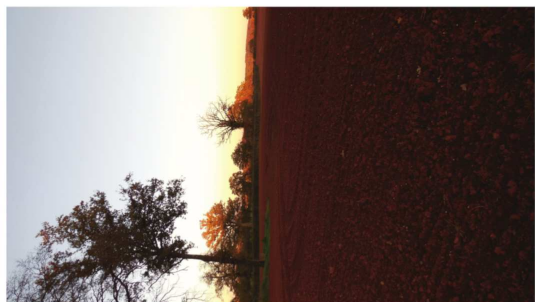
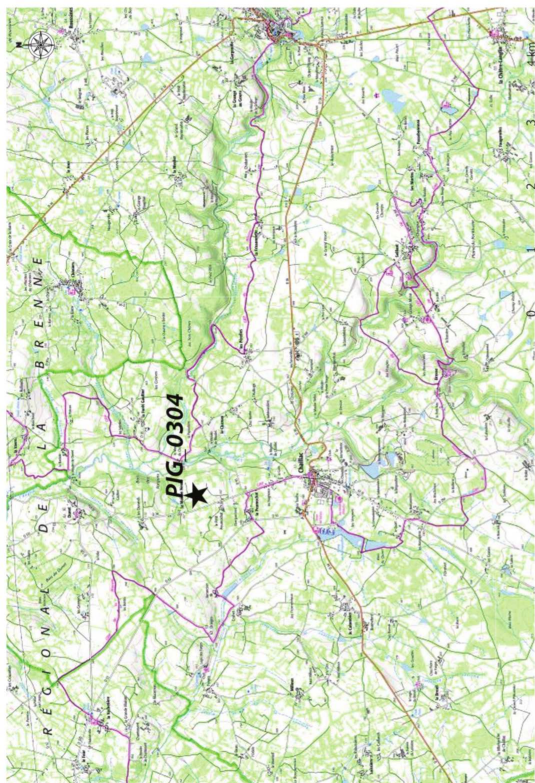
**Description :**

Formation géologique : t-l2 : argile bariolée, arkose, grès ferrugineux à l'affleurement

Contexte de collecte : champ



**PIG\_0304 - Maison Neuve (Chaillac)**



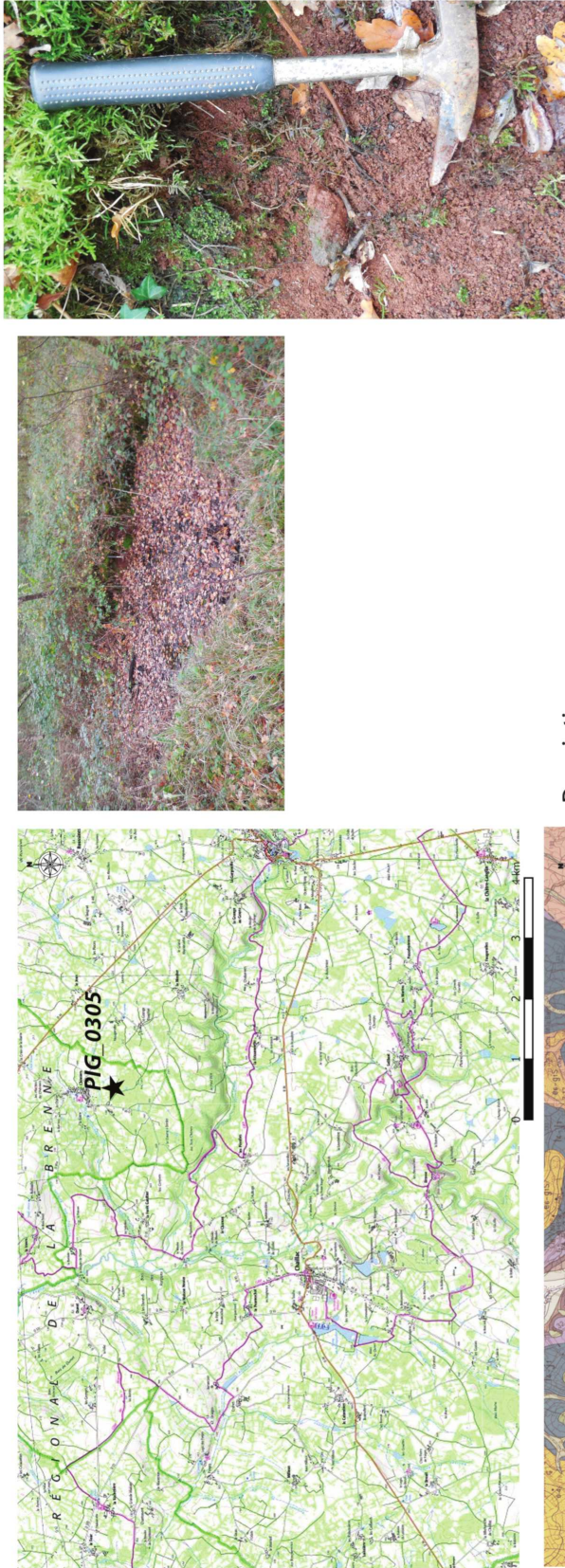
**Description :**

Formation géologique : I1a: argile bariolée, sable arkosique argileux, argile sableuse, sable blanc, infra lias à Hettangien, 15 à 60m d'épaisseur

Contexte de collecte : champ



### PIG\_0305 - Chenier Zone Artisanale (Chaillac)



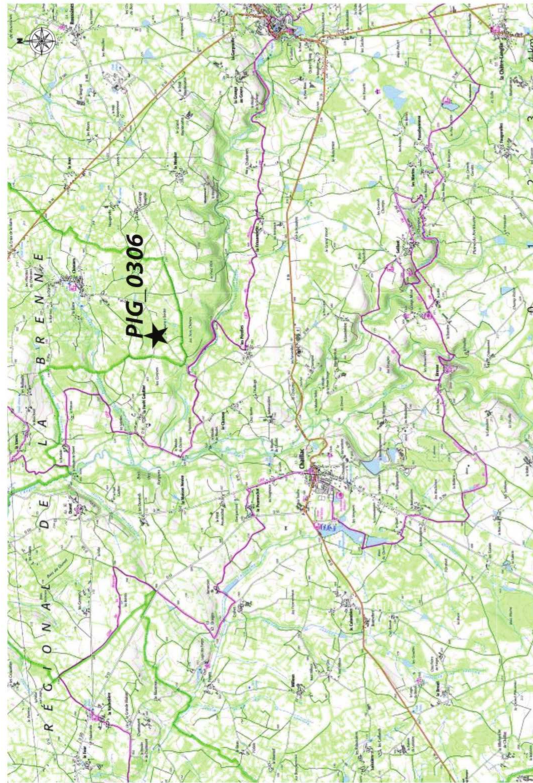
#### Description :

Formation géologique : IIa: argile barroilé, sable arkosique argileux, argile sableuse, sable blanc, infra lias à Hettangien, 1,5 à 60m d'épaisseur

Contexte de collecte : ancienne mine



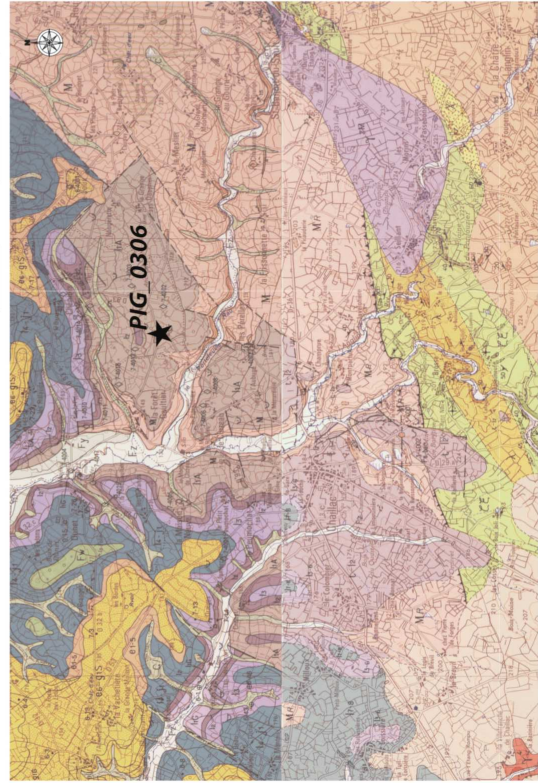
### PIG\_0306 - La Chaume a Bordet (Chaillac)



#### Description :

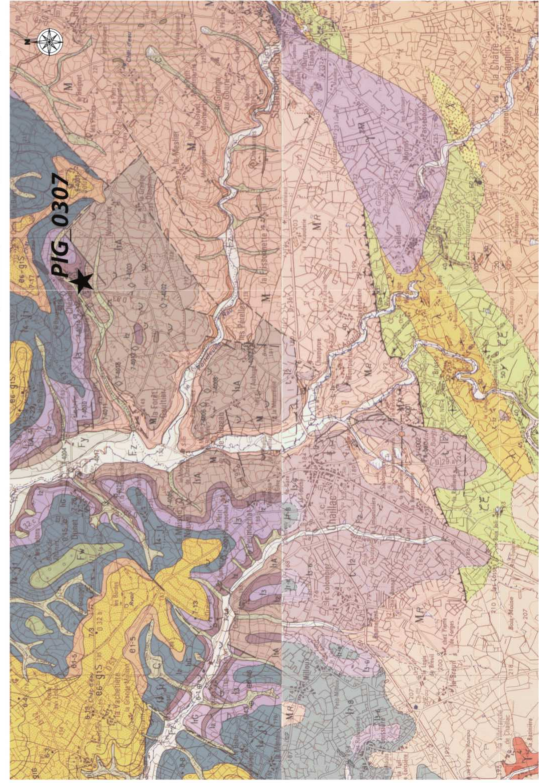
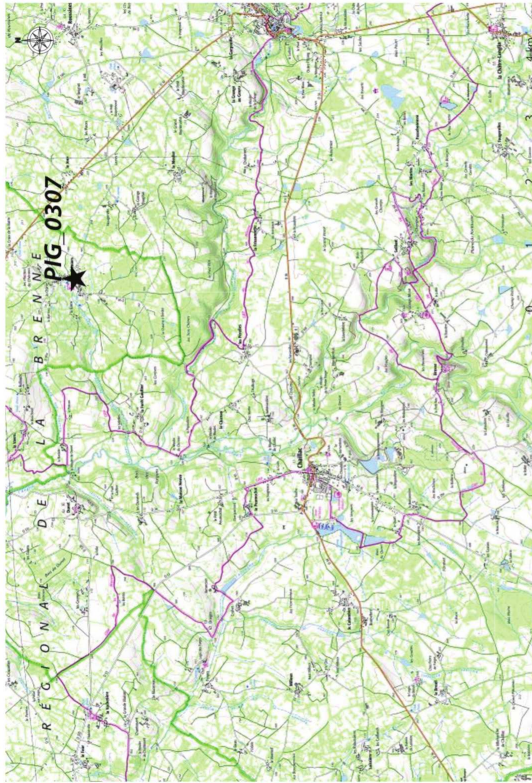
Formation géologique : l1a: argile bariolé, sable arkosique argileux, argile sableuse, sable blanc, infra lias à Hettangien, 15 à 60m d'épaisseur

Contexte de collecte : chablis





**PIG\_0307 - Chenier Village (Chaillac)**

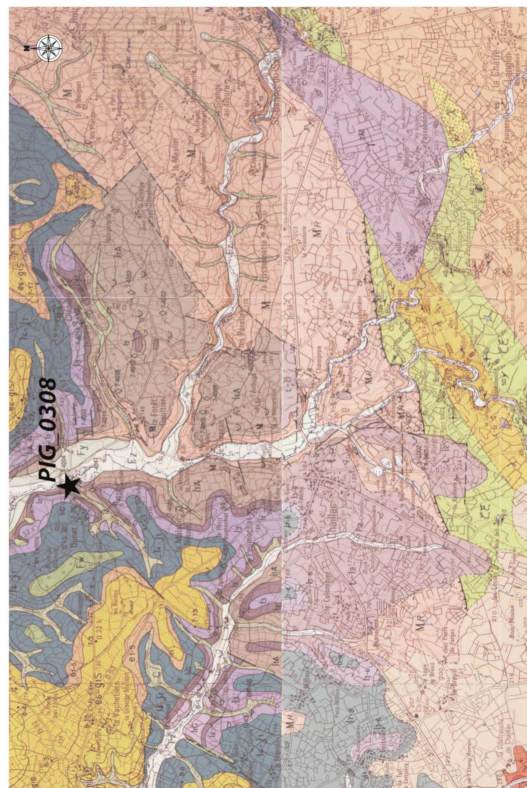
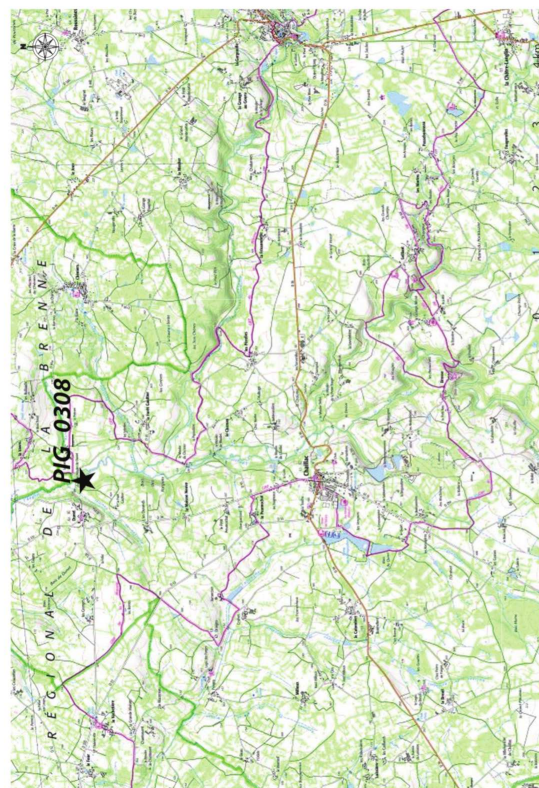


**Description :**

Ramassage mur écroulé en sortie sud du village



**PIG\_0308 -Moulin de Dunet (Chaillac)**



**Description :**

Formation géologique : IIa: argile bariolée, sable arkosique argileux, argile sableuse, sable blanc, infra lias à Hettangien, 15 à 60m d'épaisseur

Contexte de collecte : ancienne mine

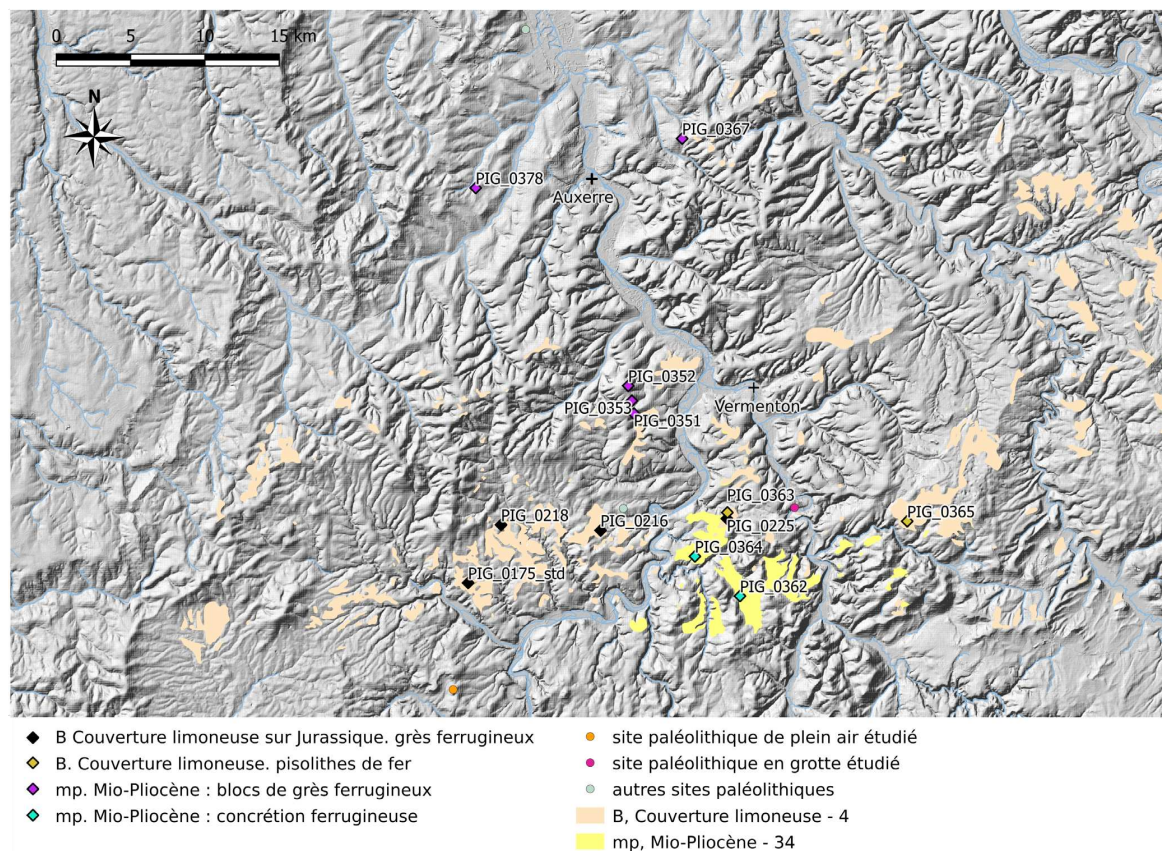


## **ANNEXE 10 – Prospections dans le bassin versant de l'Yonne**

Les prospections dans le bassin versant de l'Yonne s'étendent d'Arcy-sur-Cure (en réalité, un peu en amont, à hauteur de Bazoches et de Vauban) jusqu'à la confluence de l'Yonne et de la Seine, donc jusqu'à Pincevent. Le début du bassin de versant, dans le massif du Morvan n'a pas encore été exploré. Les principaux ensembles géologiques et la principales strates contenant des matières riches en oxydes de fer ont été échantillonnées. Cependant, la partie ouest et le nord est du bassin versant devront encore être échantillonnés.



### Formation du Mio-Pliocène : grès et concrétions mp. Mio-Pliocène



#### Description des notices géologiques :

##### mp. Mio-Pliocène, feuille n° 435

Entre l'Yonne et la Cure, il existe entre les cotes 200 et 220, de très importants dépôts détritiques qui se relèvent vers l'Est jusqu'à 270 mètres. Ces dépôts, qui vers Avigny forment une couverture de plateaux, passent progressivement, vers Brosses et Bois d'Arcy, à des terrasses épaulant le versant de petites vallées fossiles. Plus en amont, vers Montillot notamment, ces dépôts constituent, le comblement total des paléo-vallées. On serait en présence d'un témoin conservé d'une des phases de remblaiement mio-pliocène qui, plus à l'aval, a disparu ; ne laissant que quelques blocs détritiques, éparés sur une surface structurale bien nette. On y distingue :

a - de gros éléments supérieurs à 30 cm composés de grès ferrugineux ou feldspathiques, de chailles roulées, de « silicifié du Morvan »,

b - des éléments moyens de 1 à 6 cm composés de chailles blanches à cortex jaunâtre, de grès ferrugineux, de quartz filonien très roulé, associés à de plus rares galets de roches cristallines,

c - des gravillons et granules composés de petites chailles rubéfiées, de nodules ferrugineux, de petits quartz [...]

##### B. couverture limoneuse. Limon sur Jurassique, feuilles n° 434 et 436

[...] On note également la présence en plusieurs points de ce secteur d'amas de scories ou « ferriers ». [...] La situation géographique de ces dépôts appelle une remarque : ils se rencontrent essentiellement à des cotes comprises entre + 200 et + 230 vers l'Est, un peu plus élevées (+ 220 à + 250) à l'Ouest ; en-fin au Nord, près de Courson, on en retrouve des lambeaux en terrasses entre + 225 et + 275. Cette disposition des dépôts sur une ancienne surface d'érosion (surface structurale) [...] est semblable à celle du Mio-Pliocène observé plus à l'Est sur la feuille Vermenton ; ceux de la feuille Courson doivent être - au moins en partie - du même âge.

Plus à l'est sur la feuille de Noyers : Ils sont constitués de matériaux fins, silteux et argileux, de couleur brun roux, pauvres en calcaire. On y observe de petites concrétions ferrugineuses. [...]

**Description de la carte vectorisée sur les feuilles du département de l'Yonne :** mp. Mio-Pliocène, B. Couverture limoneuse

**Carte géologique :** n° 435 - Vermenton, n° 434 - Courson-les-Carières, n° 436 - Noyers



### Formation du Mio-Pliocène : grès et concrétions mp. Mio-Pliocène



Bloc d'environ 1,80 m de long de grès ferrugineux au niveau du Bois de Dessus Pommard (PIG\_0352, Vincelles, 89). Le bloc de grès de par sa composition, sa texture et sa structure mais aussi de par sa position géographique sur une ancienne terrasse située entre les cotes 250 et 275 est attribuable aux dépôts mio-pliocènes.



#### Description de la formation d'après nos observations

Le Mio-Pliocène se rencontre dans les alluvions anciennes et est repérable facilement avec les blocs ferrugineux qu'il contient : notamment des grès mais aussi des concrétions et de rares pisolithes. Sur la carte précédente nous avons décidé de séparer les lieux où les concrétions ferrugineuses et pisolithes sont plus nombreux que les blocs de grès afin de mieux comprendre leur dispersion sur le territoire. Les cartes géologiques de Noyers et de Courson n'ont pas fait la distinction entre le Mio-Pliocène et les couvertures limoneuses, mais par association lithologique et de position nous nous sommes permis de réattribuer certains de nos prélèvements au Mio-Pliocène.

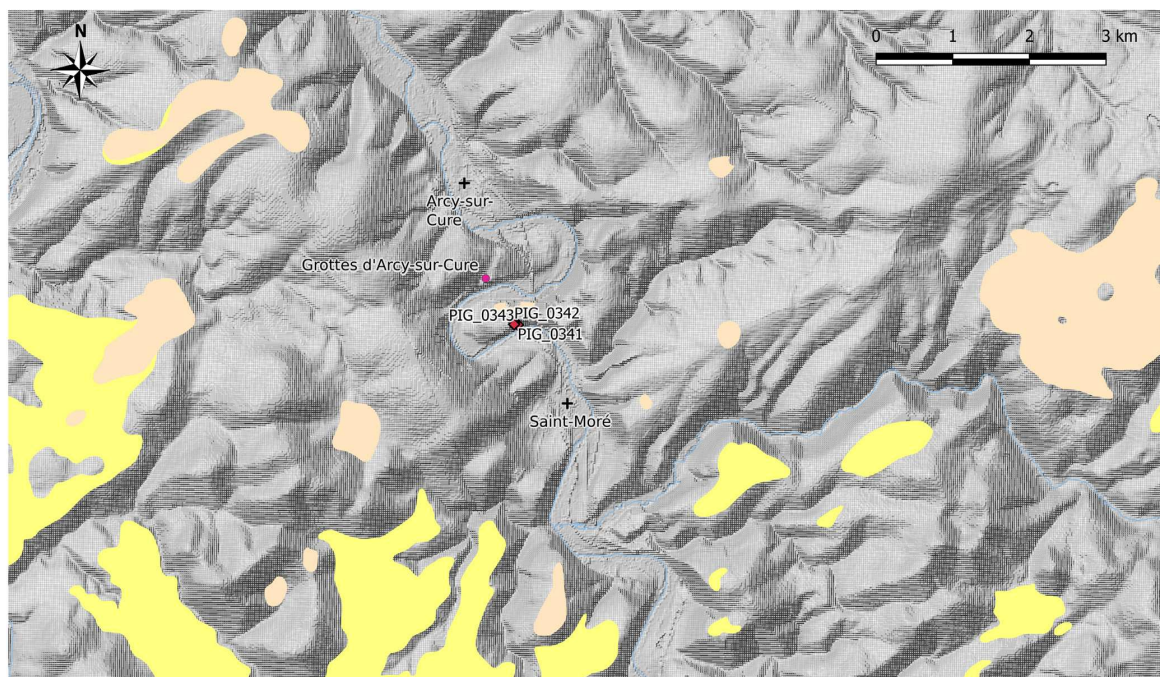
Sur le terrain ces grès et concrétions ferrugineuses se retrouvent en position secondaire dans des environnements variés - champs, chemins et bois - aux côtés d'un matériel varié (nodules de silex blancs à jaunes, calcaires, grès...).

Les grès sont homogènes macroscopiquement avec une couleur sombre brune à violette rarement jaunes. Ils sont à ciment d'oxydes et hydroxydes de fer bruns à violet et grains de quartz subanguleux (50-60%). En général, les blocs sont arrondis, avec des arêtes émoussées et de tailles comprises entre le centimètre et la vingtaine de centimètres. Cependant nous avons trouvé un bloc métrique dans le bois de Dessus Pommard (89) présentant les mêmes caractéristiques macroscopiques. La formation gréseuse à l'origine de ces blocs mio-pliocènes n'a pas été retrouvée en place. Il faudrait donc aller la chercher plus haut dans le bassin versant.

Les concrétions ont tendance à être gréseuses et peuvent se présenter sous diverses formes : croûte, nodules, pisolithes. Les pisolithes sont centimétriques avec des couches externes noires métalliques.

Dans les ferriers seulement de rares concrétions subsistent entre les scories.

### Formation du Mio-Pliocène argileux mp. Mio-Pliocène



- ◆ mp. Mio-Pliocène : poches de sables et argiles rougeâtres dans les calcaires jurassiques
- site étudié en grotte
- B, Couverture limoneuse - 4
- mp, Mio-Pliocène - 34

#### Description des notices géologiques :

Entre l'Yonne et la Cure, il existe entre les cotes 200 et 220, de très importants dépôts détritiques qui se relèvent vers l'Est jusqu'à 270 mètres.

[...] Parfois dans les calcaires jurassiques, on rencontre des poches de sables et argiles rougeâtres, occupant d'anciennes dissolutions karstiques et qui pourraient être des témoins de cette sédimentation.

#### *B. couverture limoneuse. Limon sur Jurassique, feuille n°434 et 436*

En outre, on peut localement observer des sables argileux (BAS) ou des argiles sableuses (BA), blanchâtres, ocre ou rougeâtres, qui ont autrefois été exploités pour tuilerie et qui supportent souvent des mares. On note également la présence en plusieurs points de ce secteur d'amas de scories ou « ferriers ». [...] La situation géographique de ces dépôts appelle une remarque : ils se rencontrent essentiellement à des cotes comprises entre + 200 et + 230 vers l'Est, un peu plus élevées (+ 220 à + 250) à l'Ouest ; enfin au Nord, près de Courson, on en retrouve des lambeaux en terrasses entre + 225 et + 275.

Cette disposition des dépôts sur une ancienne surface d'érosion (surface structurale), à des altitudes comprises entre + 200 et + 275, est semblable à celle du Mio-Pliocène observé plus à l'Est sur la feuille Vermenton ; ceux de la feuille Courson doivent être - au moins en partie - du même âge.

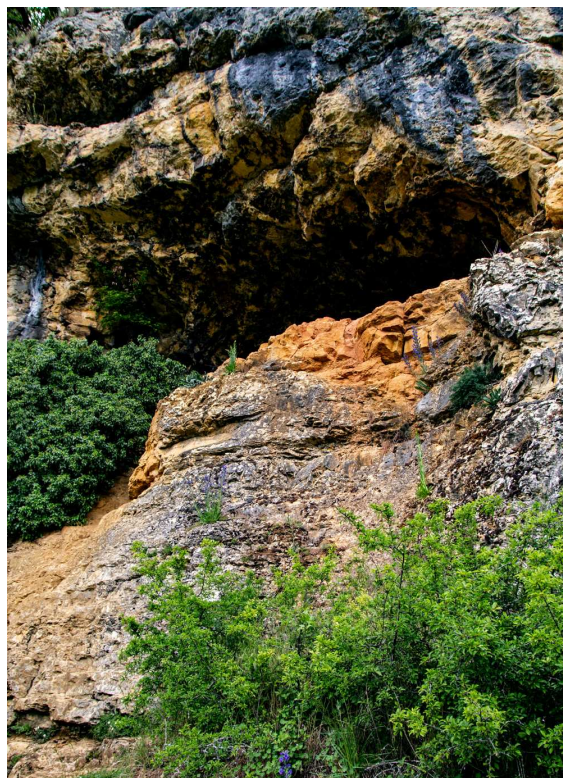
Plus à l'est sur la feuille de Noyers : Ils sont constitués de matériaux fins, silteux et argileux, de couleur brun roux, pauvres en calcaire. On y observe de petites concrétions ferrugineuses. Lorsqu'ils reposent sur les argiles du Lias, il est difficile de les différencier du substratum qui, par altération, prend un aspect très voisin.

#### Description de la carte vectorisée sur les feuilles du département de l'Yonne : mp. Mio-Pliocène

**Carte géologique :** n° 435 - Vermenton, n° 434 - Courson-les-Carières, n° 436 - Noyers



### Formation du Mio-Pliocène argileux mp. Mio-Pliocène



Vue extérieure du porche de la grotte du Père Leleu (PIG\_0341, Saint-Moré, 89) et détails des restes de remplissages argileux au niveau du porche (Photos A. Chassin de Kergommeaux, H. Salomon).



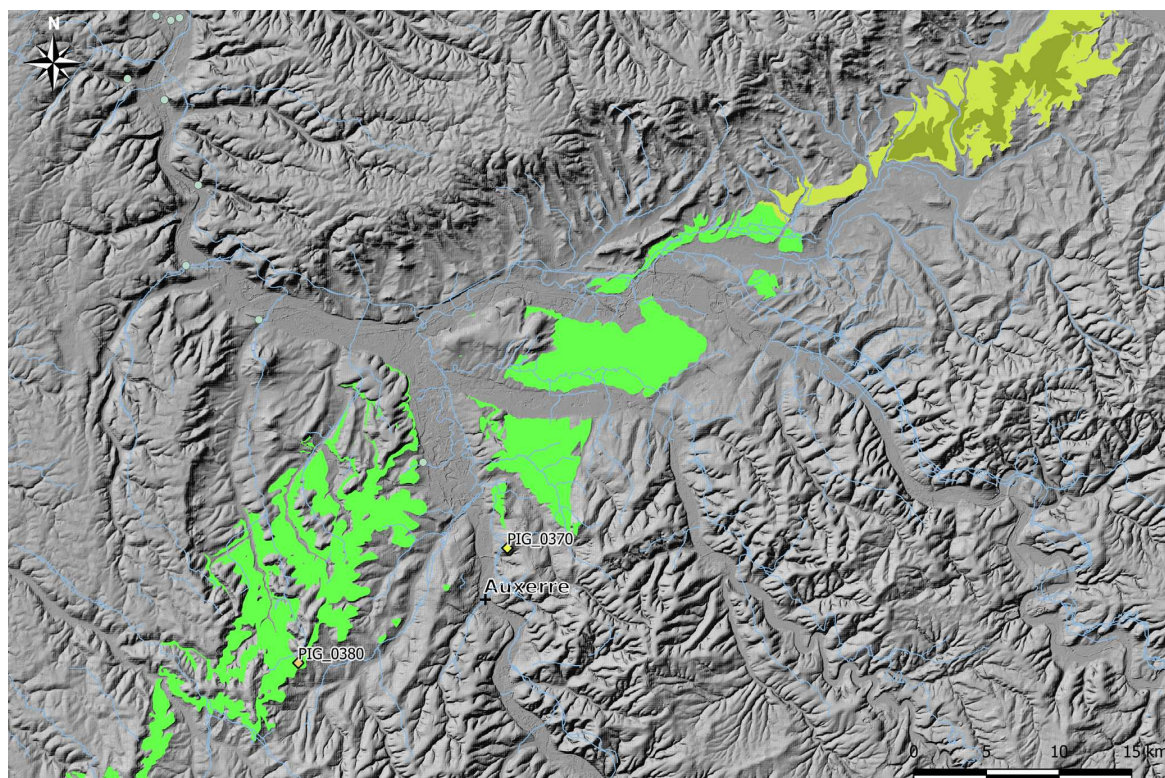
Détails du remplissage argileux de la petite galerie partant à l'est du porche de la grotte de Nermont (PIG\_0343, Saint-Moré, 89) : pilier central en argile laminée et remplissage des cavités latérales témoins d'un comblement complet de la galerie.

#### Description de la formation d'après nos observations

Le Mio-Pliocène est également visible dans cette zone à travers des poches d'argiles rouges et jaunes dans des remplissages karstiques des calcaires jurassiques. Dans les grottes de Saint-Moré, qui est un complexe de grottes creusées dans le massif Oxfordien se trouvant de l'autre côté d'un méandre de la Cure par rapport aux grottes d'Arcy-sur-Cure, notamment dans les grottes du Père Leleu et de Nermont, des dépôts sont encore visibles au niveau du porche. Pour les autres grottes, il faudrait dans un second temps aller explorer les galeries plus en profondeur. Ces argiles ont été exploitées à différentes époques pour leur pouvoir colorant notamment. Plusieurs faciès ont pu être identifiés avec des faciès très fins, laminés, jaunes, meubles et plastiques (PIG\_0343, Grotte de Nermont est), des faciès jaunes plus pulvérulents mais aussi des faciès rouges pulvérulents (PIG\_0341, Grotte du Père Leleu). Ces argiles qui semblent azoïques et fines sont déposées selon des lamines horizontales dans la grotte et viennent comblées les anciennes dissolutions karstiques. On peut encore aujourd'hui observer des traces d'exploitation. Des blocs cohésifs de calcaires chauffés de couleurs jaunes à rouges sont également visibles à l'entrée du porche de la grotte du Père Leleu, ils ne sont pourtant pas colorants.



### Formation des ocres de Puisaye c1b. Albien : Sables de la Puisaye



- ◆ c1b. Albien. Sables de la Puisaye    ■ n7b/c1b, Sables de la Puisaye (Albien moyen ?, supérieur, à Cénomaniens basal). Epaisseur d'environ 24-25 m
- ◆ c2b. Cénomaniens supérieur        ■ n6a-bG, Argiles du Gault, Argiles tégulines (Crétacé inférieur-Albien inférieur à moyen)
- sites paléolithiques                ■ n6a-bG(1), Sables des Drillons (Crétacé inférieur-Albien inférieur à moyen)

#### Description de la notice géologique :

Importante formation détritique de 30 à 50 m de sables jaunes ou ferrugineux avec bancs de grès appelés également «sables de Frécambault ». Localement, comme à Auvergne ou au Petit Pien, ces sables présentent des teintes roses ou violacées et alternent avec des filets d'argiles kaoliniques blanches. La stratification est alors nettement entrecroisée. Les Sables de la Puisaye ont une granulométrie généralement fine, mais la taille des grains croît vers le haut de la série jusqu'à former sur les derniers mètres un sable grossier couronné par les graviers à *apis glareosa*. Ce niveau terminal très constant, de 0,50 à 1 m, présente le plus souvent un ciment phosphaté ou ferrugineux. Il est très riche en faune et contraste avec la masse sableuse azoïque. On y a trouvé : *Hoplites dentatus*, *Hop. splendens*, *Hop. planus*, *Hop. bennettianus*, *apis glareosa*, *Inoceramus concentricus*, pour ne citer que les principales espèces (sablères de Fleury). Les phosphates accompagnant le gravier ont été exploités autrefois près de Lindry.

Sur la feuille n°403 : Les Sables de la Puisaye sont ferrugineux, de teinte jaune et présentent des intercalations gréseuses, violacées dont la puissance peut dépasser 0,50 mètre. Ces sables et ces grès ont une granulométrie généralement fine, mais localement ils peuvent être très grossiers (par exemple au point x = 699,15; y = 315,95). Au Grand Pien, les sables sont micacés et finement stratifiés. De petits lits gréseux plus ou moins concrétionnés et d'autres qui sont argileux s'y intercalent. Les Sables de la Puisaye n'ont livré aucun fossile à l'auteur de cette feuille et leur épaisseur lui est inconnue.

**Description de la carte vectorisée : sur la feuille du département de l'Yonne :** n7b-c1b, Sables de la Puisaye (Albien moyen ?, supérieur, à Cénomaniens basal). Epaisseur d'environ 24-25 m ; sur la feuille voisine du département de la Côte-d'or, cette formation pourrait s'étendre aux formations n6a-bG et surtout n6a-bG(1).

**Carte géologique :** n° 402 - Auxerre, n°403 - Chablis



### Formation des ocre de Puisaye c1b. Albien : Sables de la Puisaye



Photographies d'ensemble montrant la topographie actuelle de l'ancienne carrière de Pourrain (PIG\_0380).

Photographies précises des différentes matières retrouvées : sables au contact avec la craie, blocs de grès ferrugineux fin jaune.

D'autres blocs de grès plus grossiers, des croutes ferrugineuses à la surface de différents grès et des grès fins ont également été retrouvés dans les remblais.

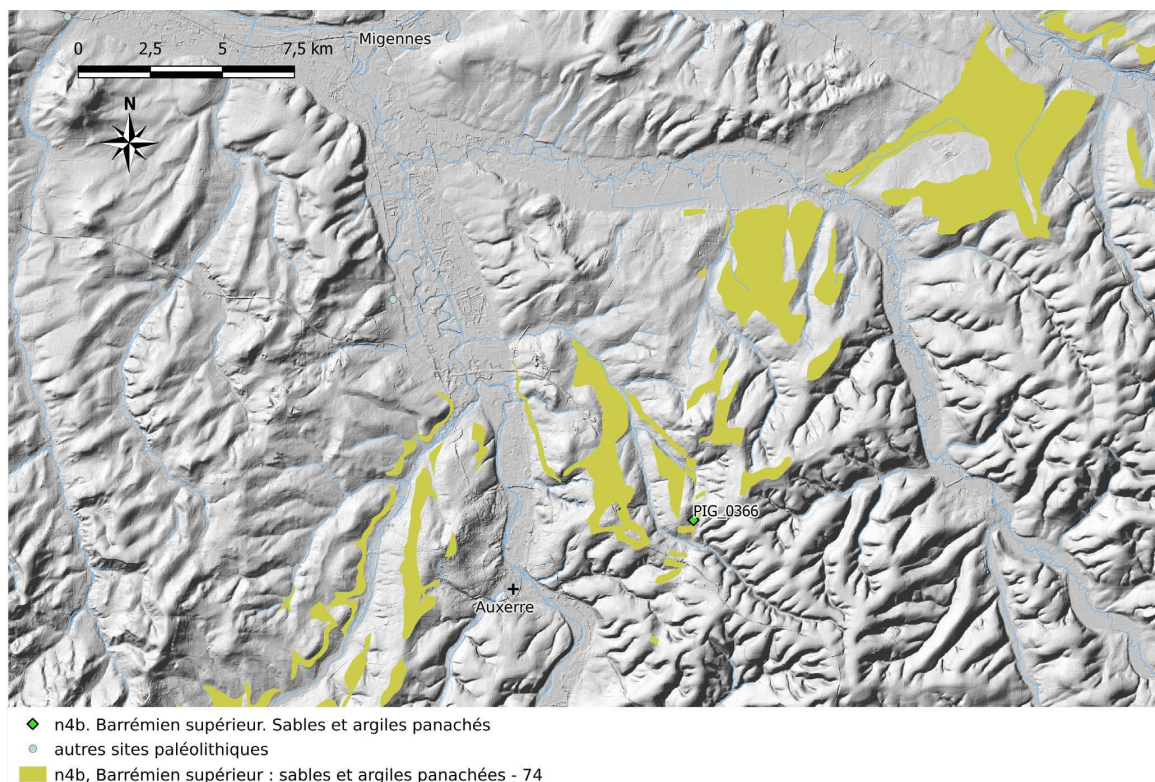


#### Description de la de la formation d'après nos observations

La Puisaye est un paysage fait de grandes étendues d'argiles rouges à jaunes contenant de rares blocs de grès et marquées par de petites dépressions retenant l'eau. Nous avons pu documenter la formation à deux endroits ; dans l'ancienne carrière d'ocre de Pourrain directement sous la formation des « craies à Ammonites » et au Tureau du Bar (Auxerre). Actuellement, l'ancienne carrière d'ocre de Pourrain forme une grande dépression profonde de plusieurs mètres (environ 5m) partiellement revégétalisées et entourée de terrils. Les argiles sont fines à crayeuses au sommet. Un bloc de grès d'une cinquantaine de centimètres se trouve au centre de la dépression la plus à l'ouest et des blocs de faciès variés (taille des grains, degré de ferruginisation, présence de croutes ferrugineuses) ont également été retrouvés sous la végétation en tas de déblais dans la pente. Au Tureau du Bar, au-dessus du parc d'attraction on retrouve des argiles rouges et des petits blocs de grès ferrugineux, soit en concrétion soit en fragments issus de bancs de grès plus grands. Des petites dépressions sont visibles dans les argiles, et sont en partie remplies par de l'eau (beaucoup de pluie était tombée un peu avant). Ces dépressions laissent penser à une probable exploitation des argiles à cet endroit.



### Formations des Sables et argiles panachés n4b. Barrémien supérieur : Sables et argiles panachés



#### Description des notices géologiques :

Le Barrémien supérieur est constitué de dépôts de faciès continental à lagunaire: sables bigarrés et argiles panachées des anciens auteurs qui prennent des teintes très diverses : gris, blanc, beige, ocre, rouge, lie-de-vin, violet.... Ces sédiments sont assez variés et il est fréquent d'observer le passage des sables aux argiles. Les sables peuvent être très fins ou grossiers, meubles ou cimentés, blancs ou rougeâtres. On trouve fréquemment des plaquettes de fer géodique de couleur orange. Et les concrétions ferrugineuses y sont très fréquentes. Les argiles, très recherchées pour la fabrication des tuiles (le Cassoir, Escamps) sont de couleur grise, blanche, ocre ou vermillon. Lorsqu'elles sont bien individualisées, les argiles ont souvent un toucher onctueux, un éclat paraffineux, et gonflent dans l'eau. Cette série est azoïque mais on trouve, tout à fait à la base, un niveau de sanguine à empreintes de *Panopea*, *Venus* et petits Gastéropodes. La puissance du sous-étage varie de 5 à 25 mètres.

Au Sud de la Coude, au lieu-dit des Endebins et aussi dans le bois du Marteau en bordure de l'autoroute, les prélèvements effectués renfermaient quelques Foraminifères arénacés (*Haplophragmoides*, *Trochammina*, ...). La fragilité et les faibles dimensions des tests, la pauvreté de la faune, témoignent d'un milieu peu favorable, sursalé ou dessalé. Ailleurs, les prélèvements se sont avérés azoïques. Tout près d'Auxerre, sur la feuille voisine, à « les Cassoires », des *Unio* ont été signalés dans les nodules ferrugineux du sommet de l'étage. L'épaisseur du Barrémien supérieur semble varier entre 10 et 25 mètres.

**Description de la carte vectorisée sur les feuilles du département de l'Yonne :** n4b - Barrémien supérieur : sables et argiles panachées

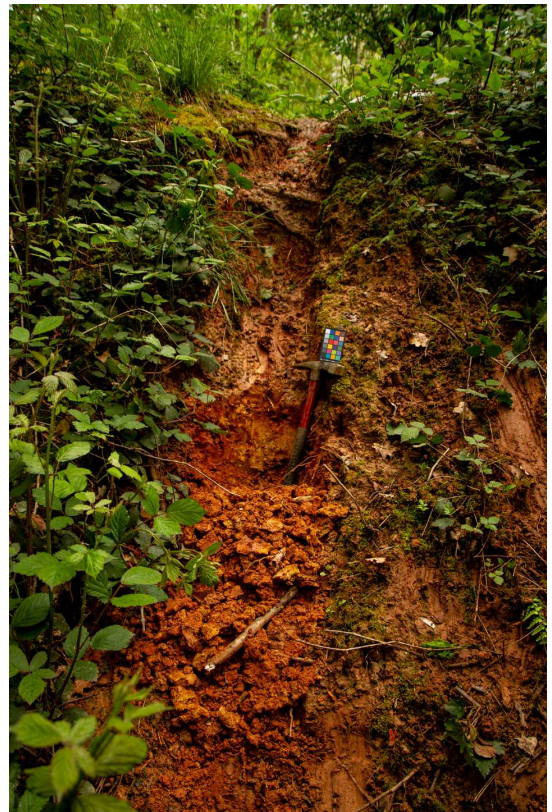
**Carte géologique :** n° 403- Chablis, n° 402 - Auxerre



### Formations des Sables et argiles panachés n4b. Barrémien supérieur : Sables et argiles panachés



Vue générale de la carrière du Château Saint-Anne et trois nettoyages de coupe montrant la variabilité de couleur des argiles. Pris dans la coupe en bas à gauche, on peut voir un bloc de grès (Photo H. Salomon).

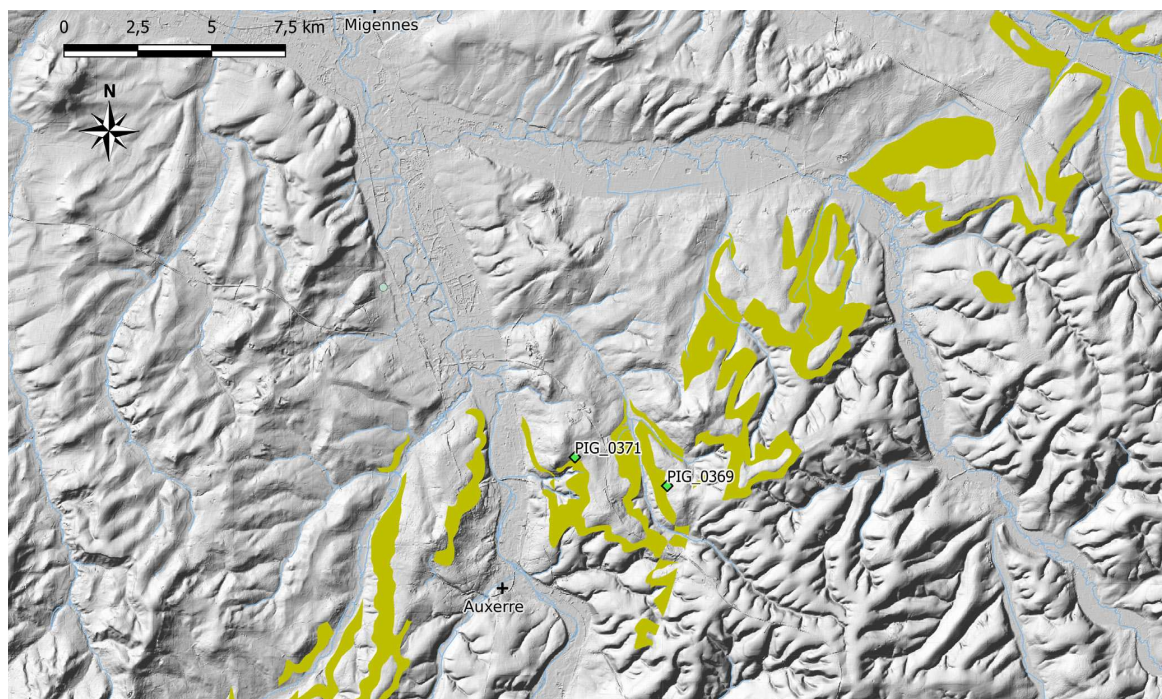


#### Description de la formation d'après nos observations

La formation du Barrémien supérieur, telle qu'observée dans l'ancienne carrière du Château Saint-Anne (PIG\_0366, Les Soleines, 89), est constituée d'argiles légèrement sableuses bariolées avec des zones rouges, blanches et jaunes contenant des fragments pluricentimétriques de grès. Ces grès sont très irréguliers et de faciès variables avec des blocs de concrétions ou des fragments de grès probablement transportés. Ces formations sont macroscopiquement différenciables des ocres de Puisaye par la nature des argiles plus collantes et imperméables que les sables fins de la Puisaye. Les fragments de grès sont de faciès très variables comme on a pu le voir dans les anciennes carrières de Château Saint-Anne (PIG\_0366, Les Soleines, 89) en place. La carrière est aujourd'hui abandonnée, revégétalisée et se remplit d'eau lors de fortes intempéries, les argiles formant un niveau imperméable. Un chemin forestier traverse toujours la zone. Certains faciès de grès semblent prometteurs pour nos recherches de provenance sur les grès ferrugineux des collections archéologiques.



**Formations des «argilites sanguines»  
n4a, Barrémien inférieur : lumachelles et marnes ostréennes**



- ◆ n4a. Barrémien inférieur. Marnes et lumachelles à Huîtres
- autres sites paléolithiques
- n4a, Barrémien inférieur : lumachelles et marnes ostréennes - 75

**Description de la notice géologique :**

Les anciens auteurs ont subdivisé le Barrémien inférieur en deux horizons.

— A la base, les argiles à *Astarte subformosa* d'Orbigny, avec cristaux de gypse et les marnes hydrauliques. Parfois, ce niveau passe à des marno-calcaires silteux, roux, riches en Huîtres. (Point d'observation : x = 701,3; y = 316,6.)

— Au sommet, les argiles à *Miotoxaster ricordeani* Cotteau, et les lumachelles calcaires à Huîtres. Ce niveau se termine par un lit de sanguine. Celle-ci, analysée par diffractométrie, se révèle être une argilite renfermant un peu de quartz et chargée en hématite; la fraction argileuse est composée de kaolinite et d'illite. Les principaux Ostracodes recueillis dans ce niveau sont : *Cythereis bernardi* Gros., *C. cf. glabella* Trieb., *Platycythereis ballyensis* Stchépinsky, *Metacytheropteron wassyensis* Stchép., *Protocythere villienrensis* Stchép., *Orthonotacythere inversa* (Corn.), *Doloccytheridea brevis* (Corn.), *D. hilseana* (Roem.), *Paracypris acuta* (Corn.), *Schuleridea virginis* Gros., *S. clunicularis* Gros.

Les Foraminifères sont peu nombreux : *Lenticulina* sp. principalement.

La puissance du Barrémien inférieur est d'environ 20 à 25 mètres.

Plus à l'est, sur la carte d'Auxerre nous avons : [...] A la base, la zone à *Astarte subformosa* (5 à 10 m) composée de marnes grises, jaunes ou noirâtres alternant avec des marno-calcaires silteux roussâtres (foie de veau) se débitant en miches. On trouve, en plus des grosses Astartes, *Exogyra boussingaulti* et *Exogyra leymerie*.

**Description de la carte vectorisée sur les feuilles du département de l'Yonne : n4a - Barrémien inférieur : lumachelles et marnes ostréennes**

**Carte géologique : n° 403- Chablis, n° 402 - Auxerre**



### Formations des «argilites sanguines» n4a, Barrémien inférieur : lumachelles et marnes ostréennes



Vue générale de l'affleurement de la rue des chaumes à Labordé (potentielles failles indiquées) et à droite détail des blocs rouges se trouvant dans la partie droite de l'affleurement (Photos H. Salomon, A. Chassin de Kergommeaux).



Détails de la partie gauche de l'affleurement, montrant la stratification avec le banc inférieur de sanguine surmontée par les calcaires.



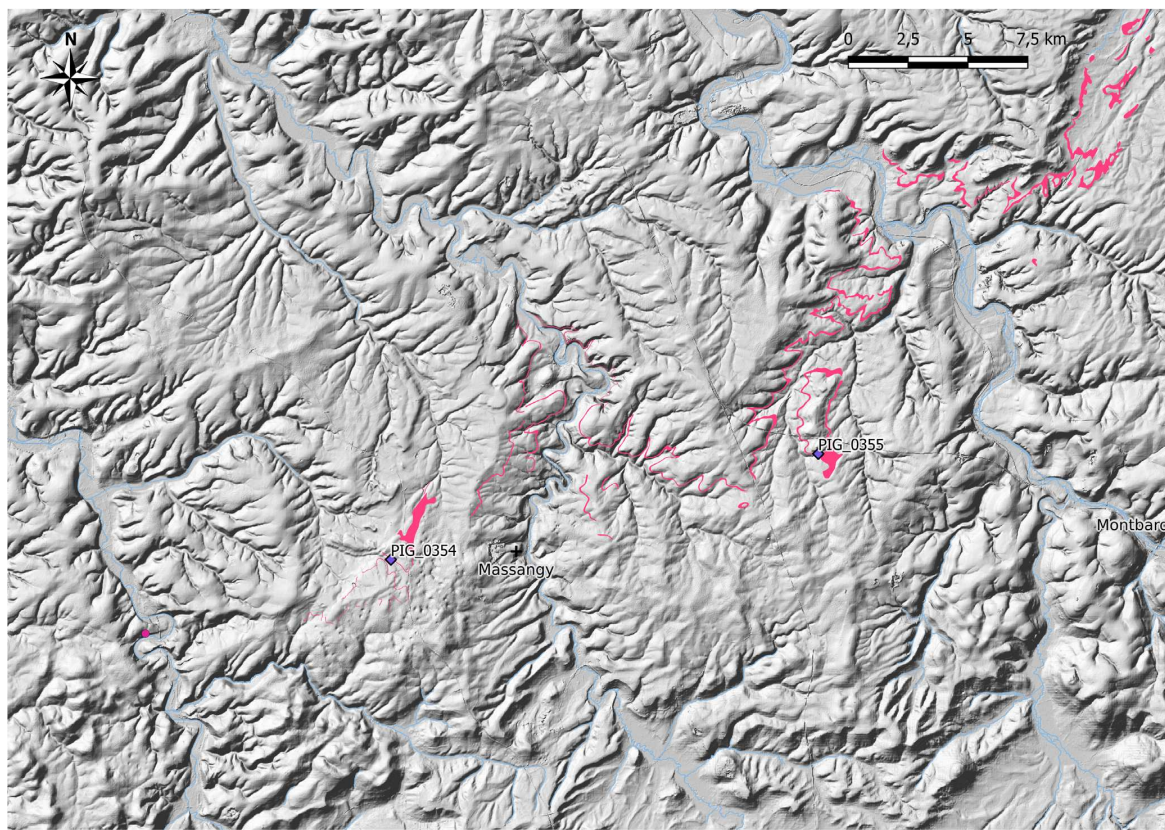
Fossé de bord de route avec blocs en position secondaire indiqués par des flèches d'argilite fine douce au touché rouge violette azoïque.

#### Description de la formation d'après nos observations

Au cœur de la formation n4a un niveau de « sanguine » est décrit dans la carte géologique, comme une argile riche en hématite. Aux alentours des Soleines nous avons retrouvés des fragments de ces sanguines dans des fossés de bord de route en position secondaire. C'est à la rue des chaumes à Labordé (PIG\_0371, Auxerre, 89) que nous avons pu l'observer en place. Elle forme un niveau d'une dizaine de centimètre se débitant en miches sous les calcaires à huitres les surmontant. La matière est consolidée, très fine (les grains ne sont pas visibles à l'œil), rouge violacée parcourue de blanc, et le touché est doux. Il semblerait que des failles normales aient perturbé la formation, ces failles pourraient être des ramifications de la faille de Grand Pien orientée nord-sud se trouvant juste à l'est et accentuant l'enfoncement des couches vers le centre du Bassin parisien.



**Formation des oolites ferrugineuses de l'Yonne**  
**j5-4. Oxfordien moyen et inférieur. Oolithe ferrugineuse (Oxfordien s. str.)**



- ◆ j5-4 Oxfordien moyen et inférieur. Oolithe ferrugineuse (Oxfordien s. str.).
- site étudié en grotte
- j5-4, Oxfordien moyen et inférieur : oolithe ferrugineuse - 96

**Description de la notice géologique, résumé :**

A la base de la formation précédente, on trouve dans l'Est de la feuille un petit niveau de marnes et de calcaires marneux de teinte brune ou grise, riche en oolites ferrugineuses. L'épaisseur de ce niveau est excessivement variable, pouvant passer de quelques centimètres à 1,50 m. Etant en présence de la terminaison vers l'Ouest de cet ancien étage « Oxfordien », il semble que cette partie de la feuille présente des flaques ou lentilles de sédimentation.

Dans la région de Précy-le-Sec, l'on ne trouve plus d'oolites ferrugineuses, mais seulement un encroûtement ferrugineux qui vient combler les perforations du niveau calcaire callovien sous-jacent. La dernière apparition de l'oolithe ferrugineuse a lieu à Arcy-sur-Cure sur la rive droite de la rivière.

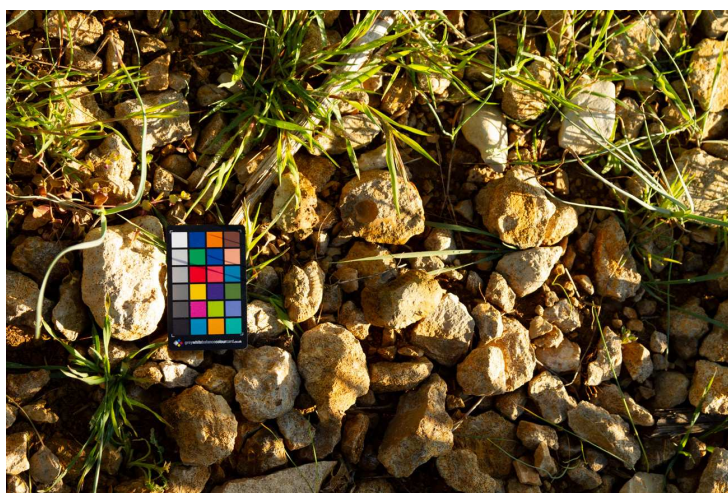
Partout où l'oolithe ferrugineuse présente une certaine épaisseur, la faune s'est révélée très riche : *Pholadomya paucicosta*, *Gryphaea gigantea*, *Hibolites hastatus*, *Vertebralicerias vertebralis*, *Subvertebralicerias densicostatum*, *Pseudaganides aganiticus*, *Dichotomosphinctes rotoides*, *Parawedekindia arduennensis*, *Peltoceratoides constantii*, *Euaspidoceras perarmatum*. A ces Ammonites de la zone à *plicatilis* se trouvent associées des formes remaniées de la zone à *cordatum* : *Campylites delmontanus*, *Euaspidoceras douvillei*. Pour l'Oxfordien inférieur, il y aurait donc lacune de la zone à *mâriæ* et remaniement de la zone à *cordatum* dans l'Oxfordien moyen. L'oolithe se placerait dans la zone à *plicatilis* et pourrait même atteindre la base de la zone à *transversarium* (*Dichotomosphinctes wartae* a été récolté par H. Tintant au sommet de l'Oolithe ferrugineuse).

**Description de la carte vectorisée : sur la feuille du département de l'Yonne :** j5-4 Oxfordien moyen et inférieur : oolithe ferrugineuse

**Carte géologique :** n° 435 - Vermenton, n° 436 - Noyers



**Formation des oolithes ferrugineuses de l'Yonne  
j5-4. Oxfordien moyen et inférieur. Oolithe ferrugineuse (Oxfordien s. str.)**



Oolithes ferrugineuses en position sub-primaire, les blocs de calcaires sont émoussés et les oolithes sont préférentiellement altérées. Les ammonites sont toujours identifiables (Photo H. Salomon).



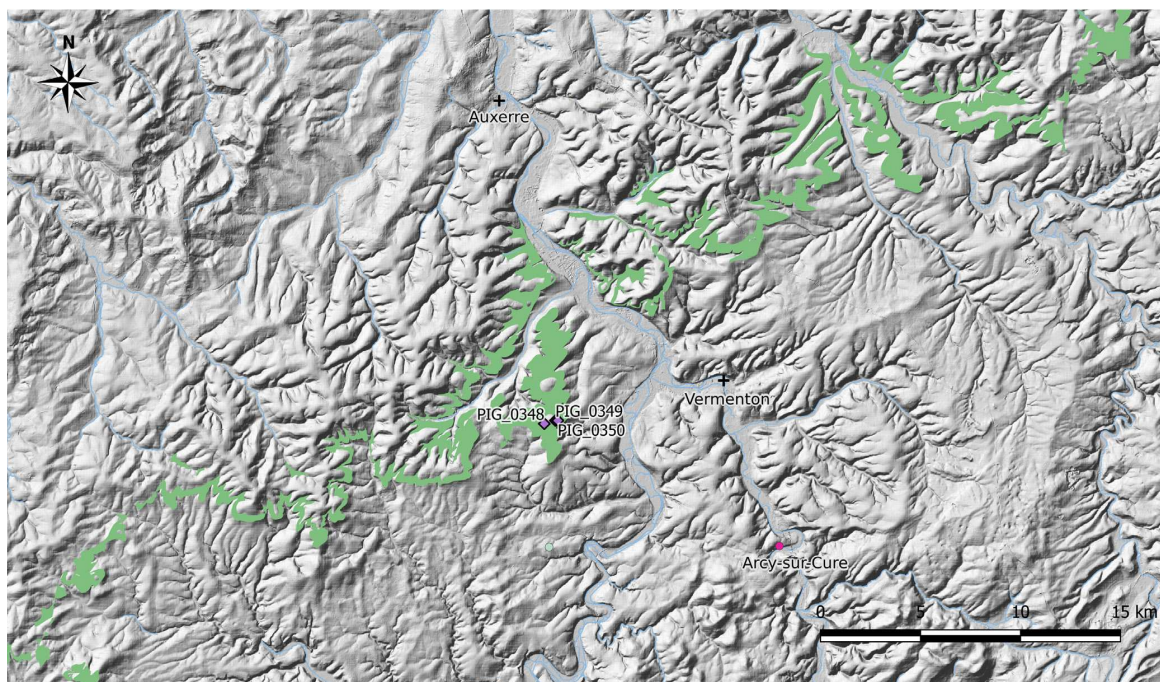
Photographie d'ensemble de l'affleurement dans le fossé, les oolithes ferrugineuses reposent sur une dalle nacrée, la stratification est identifiable bien que les bancs soient fracturés (Photo H. Salomon).

**Description de la formation d'après nos observations**

C'est un calcaire marneux gris à patine blanche coquillé et à ammonites contenant de gros oolithes ronds riches en goéthite. Et ce, qu'on le retrouve en position subprimaire (champs d'éoliennes) ou en position primaire (fossé de bord de route récemment curé, Etivey). Il ne correspond donc à aucune des matières oolithiques ferrugineuses présentes sur le campement du IV.0 ni sur le campement du IV.20 à Pincevent. (La Grande-Paroisse). Il ne correspond pas non plus aux matières pseudo-oolithiques de la grotte du Renne (Arcy-sur-Cure) ni aux différentes oolithes du Mont Saint-Aubin (Oisy).



**Formation des calcaires à Astartes**  
**j7b. Kimméridgien inférieur : Calcaire à Astartes (Séquanien supérieur)**



- ◆ j7b Kimméridgien inférieur. Calcaire à Astartes
- ◆ site paléolithique étudié en grotte
- autres sites paléolithiques
- j7b, Calcaires à Astartes (ancien Séquanien : Kimméridgien inférieur) - 80

**Description de la notice géologique :**

Leur épaisseur est d'environ 20 m et ils se terminent par un niveau conglomératique calcaire et glauconieux à galets verdissés. On trouve au sommet des calcaires dits à Astartes, un petit horizon conglomératique et lumachellic, composé de galets calcaires (0,5 à 5 cm) roussâtres ou verdissés, abondamment perforés, enrobés dans un calcaire lumachellic roussâtre très riche en granules de glauconie verte. Ce niveau donne en affleurement des dalles caractéristiques qui ont été choisies comme repère pour placer la limite j8-j7b.

Sous ce niveau se place une dizaine de mètres de calcaires lithographiques en petits bancs qui passent vers la base à des calcaires graveleux à lithographiques, à oolithes et petits pisolithes roux, épars. On observe au-dessous une dizaine de mètres assez caractéristiques, composés d'alternances métriques de bancs calcaires sublithographiques, tantôt compacts, tantôt rocaillieux, séparés par des délits marno-calcaires ocreux en plaquettes et renfermant des passées graveleuses à oolithes rousses éparses.

Cet ensemble est très fossilifère et renferme en abondance des Brachiopodes (*Zeilleria egena*, *Terebratula* (*Postepithyris*) *cincta*, *Rhynchonella matronensis*) de petits Dicerans (*Diceras minor*), quelques Bivalves (*Mactromya* sp., *Tellina* sp., *Aectryonia* sp.). Ce niveau fossilifère repose sur un ensemble assez compact composé de 4 m de calcaires sublithographiques gris clair comportant des strates, nuages ou ganglions d'oolithes blanches. La masse de ce calcaire qui est découpé horizontalement en plaquettes et diaclasé verticalement, présente une cassure parallélépipédique assez caractéristique. La macrofaune y semble absente, par contre la microfaune est marquée par la présence de *Pseudocyclamina jaccardi*, associée à *Nautiloculina* cf. *oolithica*.

Ces calcaires reposent sur 8 m de calcaires pisolithiques compacts (« Marbre de Bailly ») très riches par endroits en *Nerinea moreani*. La microfaune est assez riche en genres : *Spiroloculina* sp., *Nummuloculina* sp., *Glomospira* sp., *Lenticulina* sp. associés à de nombreuses Algues Dasycladacées.

Cet ensemble aux faciès divers est rattaché à la zone à cymodoce.

**Description de la carte vectorisée : sur la feuille du département de l'Yonne :** j7b. Calcaires à Astartes (ancien Séquanien : Kimméridgien inférieur)

**Carte géologique :** n° 435 - Vermenton, n°404 - Tonnerre



**Formation des calcaires à Astartes**  
**j7b. Kimméridgien inférieur : Calcaire à Astartes (Séquanien supérieur)**



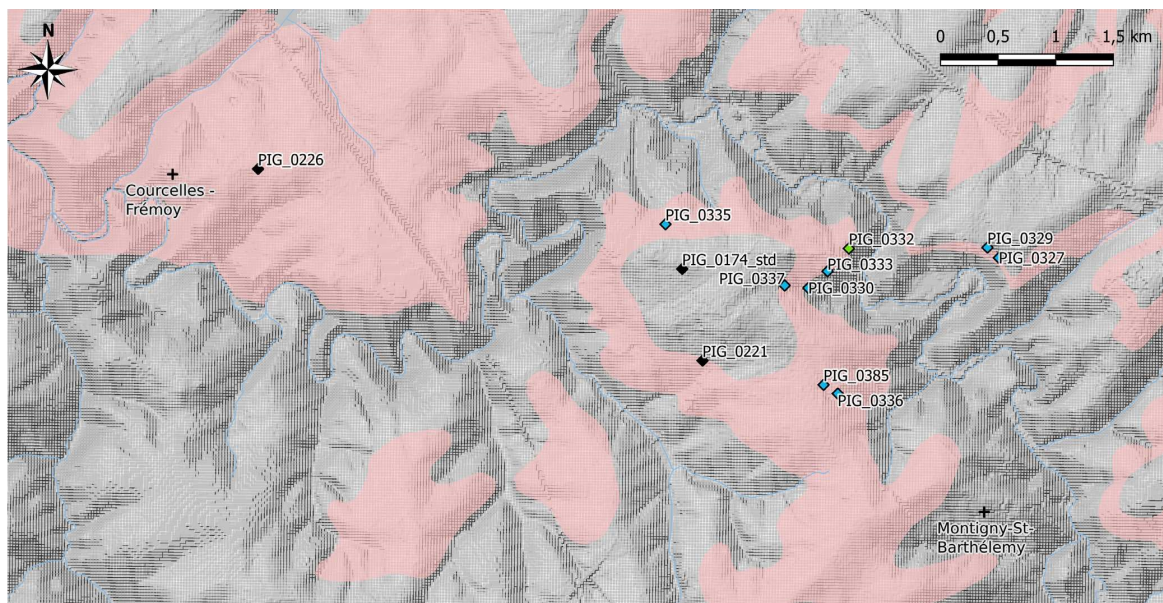
Photographie d'ensemble montrant le comblement de l'ancienne carrière du bois de l'Épine et l'absence d'affleurement du niveau sommital de la formation j7b (PIG\_0348; Photo A. Chassin de Kergommeaux)

**Description de la formation d'après nos observations**

Les calcaires à Astartes ont été prospectés pour la forte teneur en glauconite des bancs sommitaux d'après la notice géologique. Ils affleurent peu car ils sont recouverts par des dépôts quaternaires ou mio-pliocènes. Les carrières anciennes repérées ne sont plus accessibles. Une a notamment été rebouchée et entièrement comblée vers le bois de l'Épine (Bazarnes, 89). De rares blocs ont été retrouvés dans les champs aux alentours du bois de l'Épine (PIG\_0348 et PIG\_0349). Des bancs calcaires en place, affleurant dans le chemin menant au Bois Pommard, ont été échantillonné (PIG\_0350) ; ces bancs correspondent aux niveaux inférieurs de la formation des calcaires à Astartes ; ils sont oolithiques et ne contiennent a priori pas de glauconite. En continuant vers le haut de la formation, nous n'avons pas trouvé le niveau intéressant avant les dépôts mio-pliocènes.

## Formation Hettangien

### I2-1. Hettangien et Rhétien (?) B - Hettangien ferrugineux



- ◆ Hettangien et Rhétien (?) I2-1
- ◆ Hettangien ferrugineux I2-1B: lumachelle épigénisée par les oxydes de fer
- ◆ prospections anciennes
- I2-1. Hettangien et Rhétien

#### Parties à noter de la description de la notice géologique :

L'Hettangien se présente sous deux aspects différents : faciès classique au Nord et au Sud-Est, faciès ferrugineux à l'Est. Ces deux aspects seront décrits successivement [...]

#### **B - Hettangien ferrugineux**

Dans la région de Thoste, Montigny, Saint-Barthélémy, le long de la vallée du Serein, l'Hettangien se présente sous un aspect différent : la lumachelle renferme des niveaux ferrugineux qui ont fait l'objet d'exploitation pour minerai de fer (concessions de Thoste et de Beauregard). A cette minéralisation se superpose un phénomène de silicification lié aux failles, phénomène bien connu sur tout le pourtour du Morvan, mais très important ici. Sous le Siménurien, l'Hettangien peu épais (4 à 5 m) comprend plusieurs niveaux de lumachelles ferrugineuses. D'après L. Cayeux, le minerai est formé essentiellement de débris d'organismes plus ou moins roulés, encroûtés d'hématite et souvent profondément épigénisés par ce minéral. La faune est représentée par de nombreuses Lamellibranches (*Cardinies* surtout), des Échinodermes, des Mollusques, quelques Brachiopodes, de rares Foraminifères, auxquels s'ajoutent de nombreuses Algues perforantes. Les Ammonites sont rares : *Caloceras tortile*, *Schlotheima gr. angulata*. Le minerai appartiendrait donc au sommet de l'Hettangien inférieur et à l'Hettangien moyen et supérieur. Les oolites ferrugineuses vraies sont petites et très peu nombreuses. Les fausses oolites, au contraire, résultant de l'usure prolongée des débris organiques, abondent partout et sont profondément hématisées. Le quartz clastique manque complètement. Le phénomène de silicification et de minéralisation en galène, barytine et fluorine sera évoqué plus loin.

#### **Rhétien**

Cet étage existe dans l'Auxois sous un faciès de marnes noires et de grès assez ligniteux qui se retrouvent avec *Avicula conforta* en Côte-d'Or et en Maçonnais. Cette formation est assez réduite (quelques mètres), mais s'épaissit dans les sondages qui s'éloignent du Morvan (Montbard, Vitteaux).

En Terre Plaine, par contre, il ne semble pas que la transgression rhétienne ait atteint le Morvan et l'Hettangien paraît reposer directement sur les terrains cristallins.

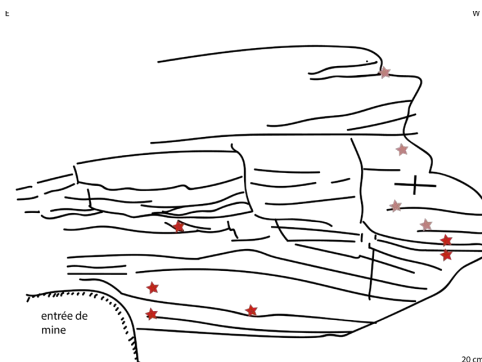
**Description de la carte vectorisée sur les feuilles de la Côte-d'Or :** t7-11 - Marnes noires reposant sur des calcaires compacts, lumachelliques à *Cardinies* (Rhétien). La carte vectorisée et harmonisée n'aide pas à la localisation de la formation, car ici elle ne porte que le nom du Rhétien alors que dans cette zone l'Hettangien repose directement sur les terrains cristallins (notice géologique et observations de terrains).

**Carte géologique :** n° 467 - Quarré-les-Tombes

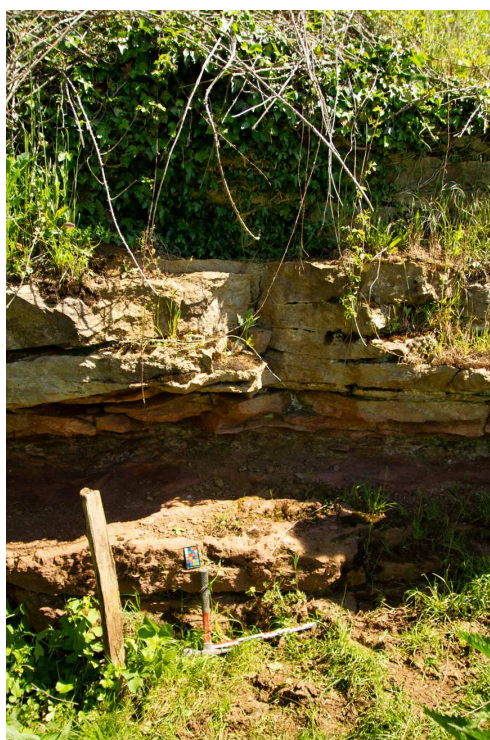


## Formation Hettangien

### I2-1. Hettangien et Rhétien (?) B - Hettangien ferrugineux



vue générale de l'entrée de la mine de Beauregard et schéma de l'affleurement situant les prélèvements (étoiles roses : prélèvements dans des bancs peu ferruginisés, étoiles rouges : dans des bancs ferruginisés ; Photo H. Salomon, DAO : A. Chassin de Kergommeaux)



Détails de la formation montrant les bancs sommitaux pas à peu ferruginisés et les bancs inférieurs ferruginisés rouges sombres (Photo H. Salomon).

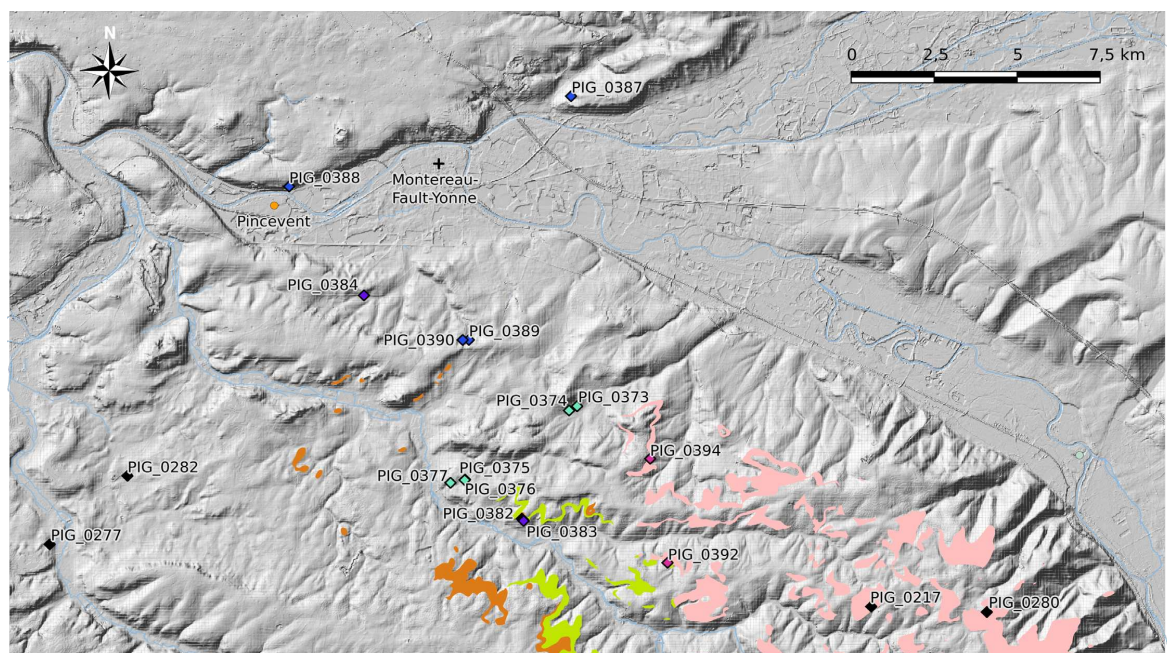
#### Description de la formation d'après nos observations

La formation des calcaires à entroques ferruginisés de l'Hettangien qui avait déjà été repérée dans des remblais dans les environs de Beauregard (Thoste, Yonne) et constituant un des standards de la Pigmentothèque, a été retrouvée en place. En effet, une des entrées de mine (indiquée dans le guide géologique Bourgogne Morvan ; Rat et al. 1972) se trouve actuellement dans un champ privé et fait apparaître les bancs sommitaux de la formation. Nous n'avons pas pu pénétrer dans la mine étant donné que l'exploitation a été fermée et les galeries rebouchées, mais nous avons pu prélever les bancs affleurant toujours à l'entrée de la mine. Ceci nous a permis de voir que les bancs supérieurs sont les moins ferruginisés et semblent être les plus grossiers. Les bancs les plus bas que nous avons pu échantillonner sont plus ferruginisés et pourraient correspondre aux faciès de la grotte du Renne (Arcy-sur-Cure). Les observations le long de la départementale nous ont permis de voir que l'Hettangien reposait directement sur le socle cristallin en partie ferrugineux.



### Formations Yprésiennes

#### e3-4. Yprésien («Sparnacien» des auteurs) : sables, galets, argiles et grès



- ◆ prospections anciennes
- ◆ e3-4 (1-4) Yprésien : argiles, sables, grès, quartzites et poudingues à galets noirs
- ◆ e3-4. Yprésien ("Sparnacien" des auteurs). Sables, galets, argiles et grès
- ◆ e3-4. Yprésien ("Sparnacien" des auteurs). zone quartzitique
- ◆ e4AP Argile plastique, sables et grès
- site paléolithique de plein air étudié
- e3-4(1-4), Yprésien : argiles, sables, grès, quartzites et poudingues à galets noirs
- e4GQ, Grès grossiers à fins quartzitiques
- e4AP, Argile plastique, sables et grès
- e4SB, Sables grossiers de Brannay
- autres sites paléolithiques

#### Parties à noter de la description de la notice géologique :

**Généralités.** A cet étage ont été attribuées les formations détritiques continentales déposées avant les calcaires lacustres de l'Éocène moyen et supérieur, ainsi que les terrains semblables situés dans la zone où ces calcaires n'existent plus, au Sud-Est de la feuille.

Les variations de faciès sont nombreuses, les passages latéraux souvent rapides, les terrains affleurants fréquemment remaniés. Il est cependant possible de définir des unités plus ou moins homogènes et d'extension variable, mais les rapports entre elles ne sont pas toujours bien connus. Le plus souvent, l'étage débute par des niveaux sableux grossiers et se poursuit par des sédiments plus fins, mais le passage d'une unité à l'autre, assez progressif, n'a pas nécessairement une valeur stratigraphique. Épaisseur totale et extension. L'Yprésien s'est déposé sur le substratum très inégal constitué par la craie (et le calcaire montien) dont il a d'abord comblé les dépressions. L'épaisseur originelle des dépôts est donc très variable dans le détail. [...]

- Au Sud de la Seine, son épaisseur est plus irrégulière : de 15 m en moyenne, [...] (Sud-Ouest de Voulx, environs de Villethierry et de Saint-Sérotin). elle se réduit à l'approche des paléoreliefs de la craie sur lesquels l'Yprésien peut même manquer (Sud-Ouest d'Esmans, Nord-Est de Montmachoux). Il paraît aussi très réduit ou absent sous le Stampien, entre Champigny et Pont-sur-Yonne, mais la disposition des terrains suggère ici une érosion de l'Yprésien avant le dépôt du Stampien. [...]

#### 1) Niveaux inférieurs

*a - sables et poudingues à galets noirs.* [...] Localement, près de La Brosse-Montceaux, des blocs à ciment siliceux rappellent les Poudingues de Nemours. On admet généralement que cette formation à galets est d'origine fluviale. Son épaisseur est très variable ; de 5 à 12 m là où la formation est bien représentée, elle se réduit et peut même manquer au voisinage des paléoreliefs de la craie. Moins constante et plus sableuse, cette formation à galets se trouve encore près de Montmachoux et La Brosse-Montceaux. Elle est connue sur les deux flancs de la vallée de la Seine, près de Montgelard (au Nord-Ouest de Ville-Saint-Jacques). [...]

*b - sables grossiers.* [...] Ces sables sont souvent purs [...] Plus rarement, ils peuvent être grésifiés par des oxydes de fer, ou par un ciment quartzueux, localement aussi par un calcaire argileux (Limosin, au Nord de Voulx, x =647,150; Y =65,700) [...]

**Carte géologique :** n° 295 - Montereau-Fault-Yonne



## Formations Yprésiennes

### e3-4. Yprésien («Sparnacien» des auteurs) : sables, galets, argiles et grès

**Description de la carte vectorisée sur les feuilles de l'Île-de-France et de l'Yonne :** e3-4(1-4) - Yprésien : argiles, sables, grès, quartzites et poudingues à galets noirs, e4AP - Argile plastique, sables et grès, e4PP - Poudingues à chailles, conglomérat à silex, Formation de Pers-en-Gâtinais (Loiret), e4GQ - grès grossiers à fin quartzitiques, e4SB - Sables grossiers de Brannay



vues générales des anciennes carrières de Bois Jadrat et du Bois de Diant (Photo H. Salomon, A. Chassin de Kergommeaux)



Bancs quartzitiques et zones ferruginisées dans le Bois Jadrat (PIG\_0383, PIG\_0382 ; Photo H. Salomon).



Bloc ferrugineux jaune en bordure de champs aux Chapelles (PIG\_0382 ; Photo Aurélie Chassin de Kergommeaux)

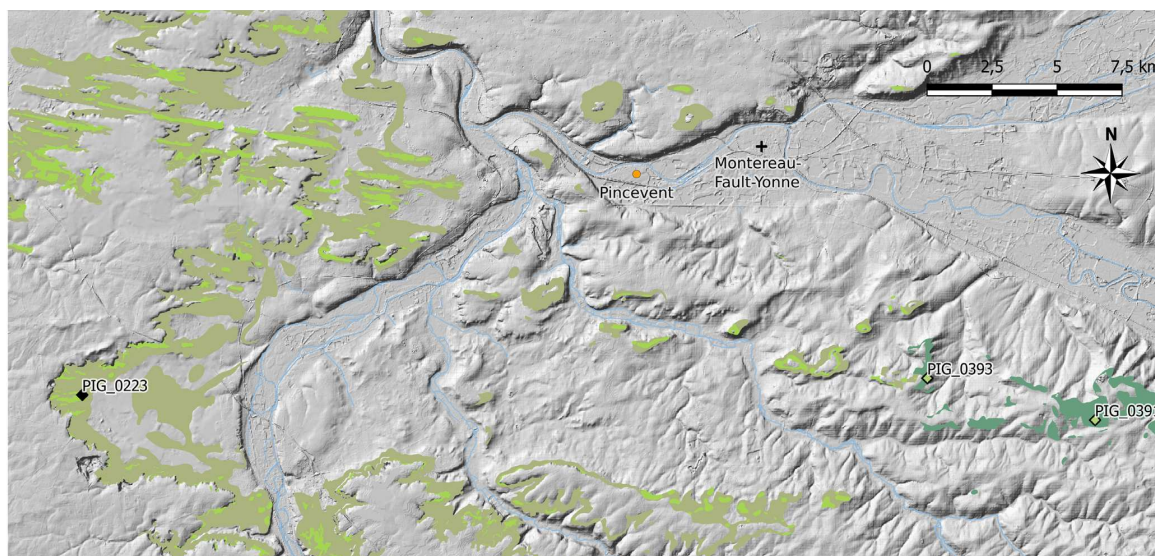
#### Description de la formation d'après nos observations

Aucun niveau ferruginisé n'a été retrouvé. Les analyses pétrographiques permettront de savoir si ces grès pourraient être des candidats. En effet, la taille, la morphologie et la fracturation des grains, les compositions minéralogiques, la porosité et la présence de nourrissage de silice pourraient être identiques à nos blocs puisque la ferruginisation y est plus tardive. Peu d'affleurements sont disponibles, deux carrières anciennes seulement présentent encore un front de taille grésifié. Les prospections ont tout de même permis de documenter les facies sableux (PIG\_0392), gréseux (PIG\_0373, PIG\_0377, PIG\_0382, PIG\_0394) et quartzitiques (PIG\_0383) de cette formation. Seuls certains niveaux de la carrière du Bois Jadrat (PIG\_0382) montrent des ferruginisations localisées. Sinon les traces de ferruginisation ont été trouvées en position secondaire. Un bloc de grès ferrugineux a été retrouvé en bordure de champs et échantillonné aux Chapelles à Blennes (PIG\_0382) et des scories et grès ferrugineux l'ont été dans les déblais d'une ferme (PIG\_0374). En général les grès et sables sont fins et purs (principalement du quartz, de rares minéraux noirs) avec des passées ou niveaux plus grossiers avec des degrés d'induration variables. Les grès sont souvent retrouvés en gros blocs plurimétriques dans les bois et à de rares occasions en bancs comme dans les carrières de Bois Jadrat (peu consolidé ; PIG\_0382) et du Bois de Diant (grésifié ; PIG\_0394).



## Formations des grès de Fontainebleau

### g2a. Sables et grès de Fontainebleau : Stampien moyen et supérieur marin



- ◆ g2a Sables et grès de Fontainebleau (Stampien marin)
- ◆ prospections anciennes
- site paléolithique de plein air étudié
- g2a, Sables et grès de Fontainebleau (Stampien marin)
- g1GF, Grès de Fontainebleau en place ou remaniés (grésification quaternaire de sables stampiens dunaires)
- g1SF, Sables de Fontainebleau, accessoirement grès en place ou peu remanié (versant)

#### Parties à noter de la description de la notice géologique :

[...] Réduite à quelques buttes-témoins et lambeaux résiduels au Nord de la Seine, elle est bien plus étendue au Sud où, de Dormelles à Saint-Agnan en particulier, elle constitue l'essentiel des collines boisées de ce secteur. Son épaisseur, assez constante vers l'Ouest (25 à 30 m) se réduit à 20 m à Montmachoux, [...] à 15 m aux Joncherries. Plus à l'Est, les épaisseurs deviennent irrégulières et décroissent rapidement à l'approche de la limite d'extension. Au Sud-Ouest de la feuille (Saint-Ange-le-Vieil, Chevry-en-Sereine), la formation ne doit pas dépasser 10 m et se réduit encore vers le Sud (Lorrez-le-Bocage) où les faciès carbonatés apparaissent. Ces terrains, en particulier les grès, peuvent se rencontrer à l'état résiduel, ou affaîssés à des cotes anormales. [...] En allant vers le Sud-Est, on les voit reposer successivement sur les calcaires éocènes, les terrains yprésiens, et même sur la craie entre Champigny et Pont-sur-Yonne.

Quatre faciès ont été distingués sur la carte :

1 - Sables de Fontainebleau. [...]

2 - Sables à galets de silice, poudingues [...] Lorsque la formation est grésifiée (poudingue), les galets se présentent généralement en lits dans des Grès de Fontainebleau d'aspect classique. Au Chapitre, les galets sont empâtés dans des niveaux de grès ferrugineux assez tendres qui sont, eux-mêmes, intercalés dans un grès blanc plus cohérent, sans galets. [...]

3 - Sables à *Ostrea cyathulo* et calcaires à *Cérithes*. [...]

4 - Grès de Fontainebleau. Ils paraissent principalement développés au sommet de la formation sableuse. On peut les rencontrer en « platières » intactes, mais le plus souvent ils sont plus ou moins affaîssés et démantelés ; les lambeaux glissés sur les pentes forment des chaos de blocs plus ou moins arrondis et de grande taille (plusieurs m<sup>3</sup>). [...]

Habituellement, les Grès de Fontainebleau ne présentent pas de stratification apparente. Ils sont essentiellement constitués de grains de quartz arrondis ou émoussés, généralement bien classés, liés par un ciment siliceux peu abondant. Ils peuvent montrer une tendance quartzitique mais, à la différence des grès yprésiens, la cassure ne tranche pas les grains et reste saccharoïde, friable. Ils sont blancs, parfois un peu grisâtres ou bien teintés d'ocre, ou rubéfiés. Des faciès inhabituels se remarquent localement, ils correspondent à des épaisseurs très réduites du Stampien. A l'Ouest du Bois de la Bondue (Nord-Est de Montmachoux). Ce sont des grès irrégulièrement ferruginisés, ou bien conglomératiques, contenant des débris centimétriques de grès yprésiens, en x = 650,10 ; y = 69,54. Surtout au sommet, et aussi par endroits dans la masse, il se concrétionne en grès siliceux soit imparfaits et restés poreux, soit entièrement nourris et très durs, à texture de quartzite, de densité 2,7.

**Carte géologique :** n° 295 - Montereau-Fault-Yonne, n°294 - Fontainebleau



### Formations des grès de Fontainebleau

#### g2a. Sables et grès de Fontainebleau : Stampien moyen et supérieur marin

**Description de la carte vectorisée sur les feuilles de l'Île-de-France :** g1GF - Grès de Fontainebleau en place ou remaniés (grésification quaternaire de sables stampiens dunaires), g1SF - Sables de Fontainebleau, accessoirement grès en place ou peu remanié (versant)



Blocs de grès plurimétriques du Bois du Chapitre de différentes natures, plus ou moins indurés et émoussés (PIG\_0391)



Front de taille de la carrière du bois de Diant (PIG\_0393) et blocs retrouvés dans la forêt de l'autre côté de la route (Photos : I. Querenet, A. Chassin de Kergommeaux, G. Sardelli).

#### Description de la formation d'après nos observations

Dans la notice géologique, il est mentionné que les grès de Fontainebleau peuvent être localement ferruginisés. Sachant que les grès à nourrissage de silice extraits de Pincevent sont relativement purs (quartz et rares tourmaline et zircon) et ont été nourris par de la silice, ils pourraient être de bons candidats sources. Nous avons donc décidé de prospecter dans deux anciennes carrières ; celle du Bois du Chapitre (PIG\_0391 ; Champigny, 89) et celle du bois de Diant (PIG\_0393) à Saint-Agnan (Villeneuve-la-Gaillarde, 89). Nous n'avons pas trouvé le front de taille de la carrière du bois du Chapitre par contre nous avons pu voir des blocs de grès métriques à décimétriques arrondis au sol dans la forêt. Ces blocs sont hétérogènes en termes de composition ; certains blocs sont des grès purs, d'autres sont des grès à passées micro-conglomératiques et avec des indurations parfois variables impliquant une altération et érosion différentielle. Le front de taille de la carrière du bois de Diant est par contre très visible. Le front de taille se trouve en creux par rapport au niveau du sol, et mesure environ 3 m de haut sur une vingtaine de mètres de long. Les bancs de grès sont en place et la stratification est clairement visible. Là encore, les grès ne sont pas ferruginisés et seulement légèrement jaunes en surface. La butte au sommet de Montmachoux (77) est documentée sur la carte géologique et son extension comme étant faite de sables et grès de Fontainebleau ; à part l'église en travaux contenant dans ces blocs de constructions des blocs de parement en grès de Fontainebleau et de rares blocs en grès ferruginisés, aucun affleurement n'a été repéré.



## **ANNEXE 11 – Prospections dans les Monts Lessini, Italie**

Numero de gite	Lieu-dit du gite	Commune du site	ANNEE	N° éq. (ANCIEN)	Auteurs de la collecte	Date de prélèvement de l'échantillon	CODE POSTAL	Département du gite	Pays du gite	Coordonnées géographiques du gite d'après GPS	Superficie précise en m <sup>2</sup> du gite d'après GPS	Ere	Série	Etage	Nom de la formation géologique	Commentaire sur la détermination de l'âge du gite	Lithologie de l'échantillon	Type de gite	Type II de gite	Type d'affaiblissement	Position de récolte de l'échantillon
PIG_0310	Ponte di Veja Grotte A	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte A	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	18/12/2021	37020	Verona	Italie	10.97003	45.60823	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	secondaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	au pied de l'affaiblissement
PIG_0311	Ponte di Veja Grotte A	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte A	Roberto Zorzin	18/12/2021	37020	Verona	Italie	10.97003	45.60823	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0312	Ponte di Veja Grotte G	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte G - E5	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.96974	45.60774	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0313	Ponte di Veja Grotte G1	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte G1 - 1A	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.96974	45.60774	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0314	Ponte di Veja Grotte G1	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte G1 - 2B	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.96974	45.60774	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0315	Ponte di Veja Grotte G1	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte G1 - 4D	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.96974	45.60774	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0316	Ponte di Veja Grotte G1	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte G1 - 4D	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.96974	45.60774	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	secondaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	au pied de l'affaiblissement
PIG_0317	Ponte di Veja Grotte D-E	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte D-E - F6	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.97005	45.60819	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0318	Ponte di Veja Grotte D-E	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte D-E - 19	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.97005	45.60819	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0319	Ponte di Veja Grotte D-E	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte D-E - G7	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.97005	45.60819	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0320	Ponte di Veja Grotte D-E	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte D-E - HB	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.97005	45.60819	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0321	Ponte di Veja Grotte D-E	Sant'Anna d'Alfaedo	2021	Grotte D-E - L10	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	16/01/2021	37020	Verona	Italie	10.97005	45.60819	Mésozoïque	Jurassique	Aulélien-Tithonien	Oolithe de San Vigilio (Trarçten p.p. - Aulélien), Rosso Ammonitico Veronese (Bajocien-Tithonien inférieur)	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	secondaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	au pied de l'affaiblissement
PIG_0322	Sant'Andrea Calverna	Badia Calverna	2021	Grotte - 1A-B-C	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	11/12/2020	37030	Verona	Italie	11.15430	45.59311	Mésozoïque	Jurassique inférieure - Crétacé inférieur	Complexe Dolomitico indifferenziato	Complexe Dolomitico indifferenziato	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	Calcaire Dolomitico	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	au pied de l'affaiblissement
PIG_0323	Sant'Andrea Calverna	Badia Calverna	2021	Grotte - 2	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	11/12/2020	37030	Verona	Italie	11.15430	45.59311	Mésozoïque	Jurassique inférieure - Crétacé inférieur	Complexe Dolomitico indifferenziato	Complexe Dolomitico indifferenziato	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	primaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	dans l'affaiblissement
PIG_0324	Sant'Andrea Calverna	Badia Calverna	2021	Grotte - 5	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	11/12/2020	37030	Verona	Italie	11.15430	45.59311	Mésozoïque	Jurassique inférieure - Crétacé inférieur	Complexe Dolomitico indifferenziato	Complexe Dolomitico indifferenziato	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	Calcaire Dolomitico	secondaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	au pied de l'affaiblissement
PIG_0325	Sant'Andrea Calverna	Badia Calverna	2021	Grotte - 3	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	11/12/2020	37030	Verona	Italie	11.15430	45.59311	Mésozoïque	Jurassique inférieure - Crétacé inférieur	Complexe Dolomitico indifferenziato	Complexe Dolomitico indifferenziato	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	calcaire	secondaire	remplissage de fracture/cavités	anciennement mine (grotte)	au pied de l'affaiblissement
PIG_0326	San Barbolo Prognio	Silva di Prognio	2021	Coupe bord de la route	Giorgia Sardelli Roberto Zorzin Alessandra Livraghi	11/12/2020	37030	Verona	Italie	11.16382	45.605	Mésozoïque	Jurassique inférieure - Crétacé inférieur	Complexe Dolomitico indifferenziato	Complexe Dolomitico indifferenziato	Gonzoato 2015 et Cavallo 2020	Calcaire Dolomitico	primaire	remplissage de fracture/cavités	Coupe bord de la route	au pied de l'affaiblissement



## PONTE DI VEJA (PV)

### Cavité A

n° PIG\_0310

n° PIG\_0311

Site : Ponte di Veja

Type de site : cavité karstique

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Satn'Anna d'Alfaedo

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 18/12/2020

Auteurs : R. Zorzin

Localisation et vue générale du site :



Formations géologiques :

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

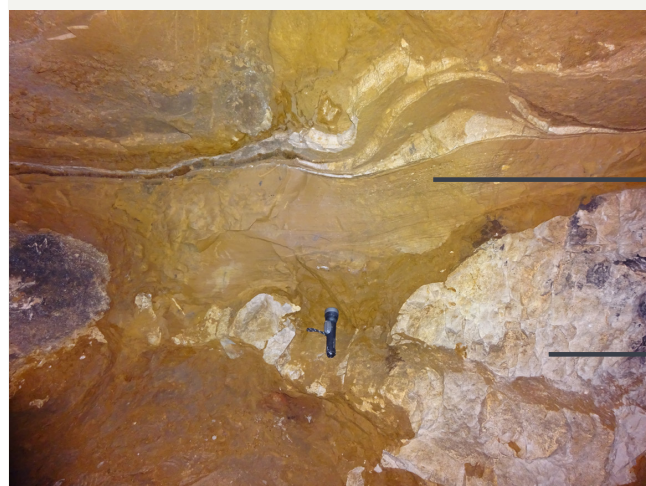
Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Cavité A - Grille d'entrée de la cavité A (vue depuis l'intérieur); conduit avec le dyke de basalte et scallops.  
Auteur de la photographie : Roberto Zorzin

Point de collecte - PIG\_0310 position secondaire, PIG\_0311 position primaire



Remplissage de la cavité karstique

Remplissage laminé riche en hydroxydes de fer (goethite)

Roche encaissante

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Auteur de la photographie : Roberto Zorzin

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale, pp. 66-98. ; Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ; Fabbri, S., Sauro, F., Santagata, T., Rossi, G., De Waele, J., 2017. High-resolution 3-D mapping using terrestrial laser scanning as a tool for geomorphological and speleogenetical studies in caves: An example from the Lessini mountains (North Italy). Geomorphology, 280, pp. 16-29. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.001> ; Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.

# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité G

n° PIG\_0312

Site : Ponte di Veja

Type de site : cavité karstique

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Satn'Anna d'Alfaedo

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 16/01/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Formations géologiques :

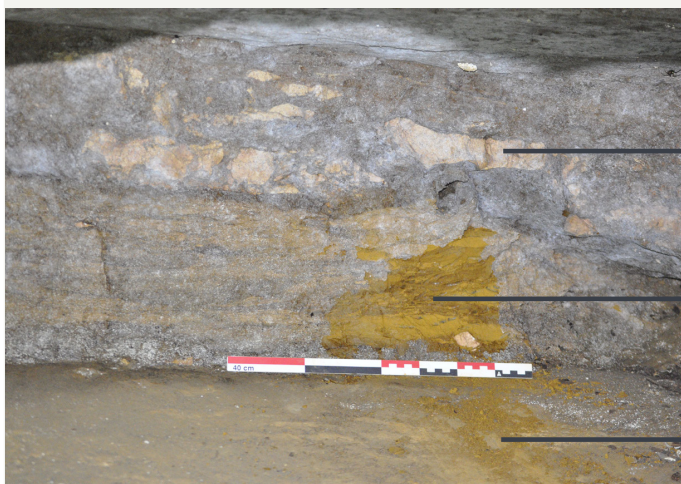
Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Cavité G - Entrée de la cavité G.  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

### Point de collecte (position primaire) :



Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Roche encaissante

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)

Remplissage de la cavité karstique

Remplissage centimétrique microlaminé riche en hydroxydes de fer (goethite)

Roche encaissante

Calcaire de San Vigilio (Jurassique moyen)

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ;

Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ;

Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speologia, 1990-1991, pp. 41-49.



# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité G1

n° PIG\_0313

Site : Ponte di Veja

Type de site : cavité karstique

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Satn'Anna d'Alfaedo

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 16/01/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Formations géologiques :

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

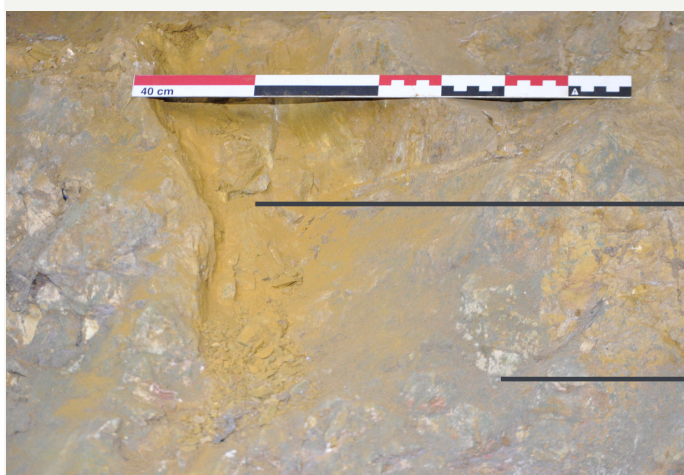
Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Niche G1 - Niche G1 à proximité de l'entrée de la cavité G. Auteur de la photographie : Hélène Salomon

### Point de collecte (position primaire) :



Remplissage de la niche G1

Remplissage centimétrique massif riche en hydroxydes de fer (goethite)

Roche encaissante

Calcaire de San Vigilio (Jurassique moyen)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale, pp. 66-98. ; Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ; Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.

# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité G1

n° PIG\_0314

Site : Ponte di Veja

Type de site : cavité karstique

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Satn'Anna d'Alfaedo

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 16/01/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Formations géologiques :

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

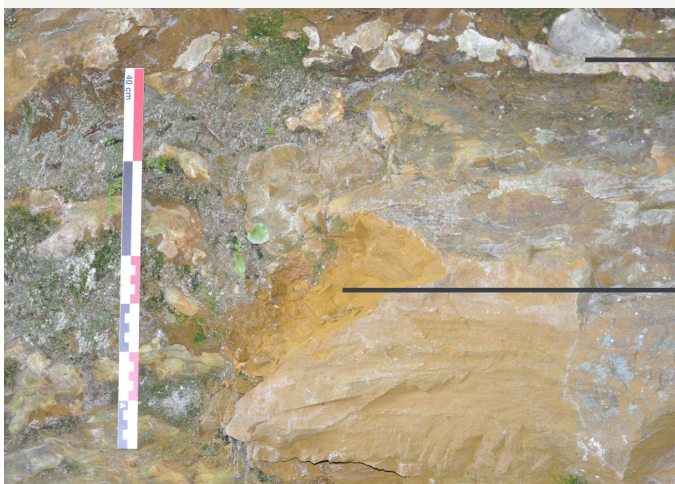
Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Niche G1 - Niche G1 à proximité de l'entrée de la cavité G. Auteur de la photographie : Hélène Salomon

### Point de collecte (position primaire) :



Roche encaissante

Calcaire de San Vigilio (Jurassique moyen)

Remplissage de la niche G1

Remplissage centimétrique massif riche en hydroxydes de fer (goethite)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ;

Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ;

Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282>Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in

Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi,

G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.



# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité G1

n° PIG\_0315

Site : Ponte di Veja	Type de site : cavité karstique
Pays : Italie	Région : Vénétie (Vérone)
Commune : Satn'Anna d'Alfaedo	Site archéologique lié : Riparo Tagliente
Date de la collecte : 16/01/2021	Autors : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

### Formations géologiques :

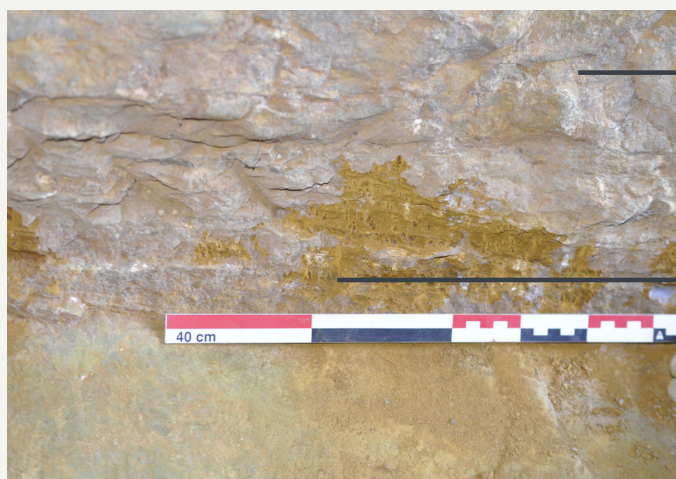
Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Niche G1 - Niche G1 à proximité de l'entrée de la cavité G. Auteur de la photographie : Hélène Salomon

### Point de collecte (position primaire) :



Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

### Roche encaissante

Calcaire de San Vigilio (Jurassique moyen) et Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)

### Remplissage de la niche G1

Remplissage centimétrique microlaminé riche en hydroxydes de fer (goéthite)

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: *Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia*, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ; Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. *La Lessinia - Ieri oggi domani*, pp. 47-56. ; Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> ; Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). *Acta Carsologica* 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: *Le Grotte Di Italia XVI*. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.



# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité G1

n° PIG\_0316

Site : Ponte di Veja

Type de site : cavité karstique

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Satn'Anna d'Alfaedo

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 16/01/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Formations géologiques :

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

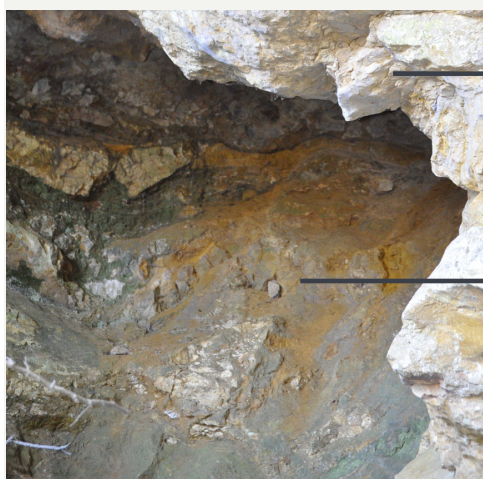
Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Niche G1 - Niche G1 à proximité de l'entrée de la cavité G. Auteur de la photographie : Hélène Salomon

### Point de collecte (position secondaire) :



Roche encaissante

Calcaire de San Vigilio (Jurassique moyen)

Remplissage de la niche G1

Blocs/fragments de remplissage riche en hydroxydes de fer (goethite) (position secondaire)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ;

Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ;

Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.

# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité D=E

n° PIG\_0317

Site : Ponte di Veja	Type de site : cavité karstique
Pays : Italie	Région : Vénétie (Vérone)
Commune : Satn'Anna d'Alfaedo	Site archéologique lié : Riparo Tagliente
Date de la collecte : 16/01/2021	Autors : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

### Formations géologiques :

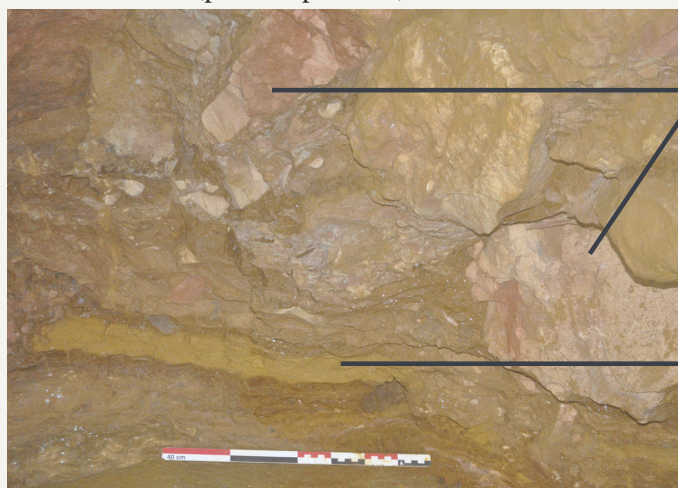
Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Cavité D=E - Roche encaissante et remplissage riche en Fe. Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

### Point de collecte (position primaire) :



Roche encaissante

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)

Remplissage de la cavité karstique

Lamines centrimétriques riches en hydroxydes de fer (goethite)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale, pp. 66-98. ; Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ; Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.



# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité D=E

n° PIG\_0318

Site : Ponte di Veja

Type de site : cavité karstique

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Satn'Anna d'Alfaedo

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 16/01/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Formations géologiques :

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



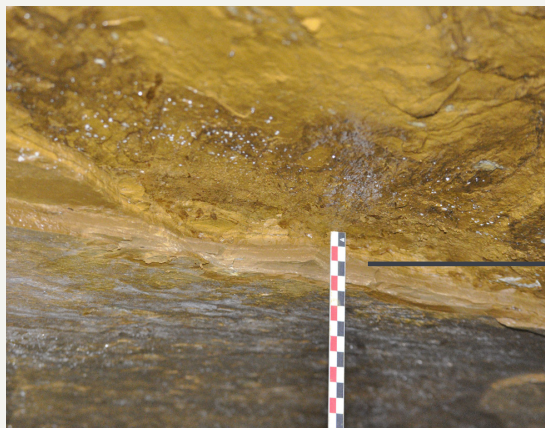
Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Cavité D=E - Partie finale du conduit ; Roche encaissante et remplissage riche en Fe. Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

### Point de collecte (position primaire) :



Voûte du conduit



Remplissage de la cavité karstique

Lamines millimétriques riches en hydroxydes de fer (goethite)

Auteur dea photographies : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ;

Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ;

Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.

# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité D=E

n° PIG\_0319

Site : Ponte di Veja	Type de site : cavité karstique
Pays : Italie	Région : Vénétie (Vérone)
Commune : Satn'Anna d'Alfaedo	Site archéologique lié : Riparo Tagliente
Date de la collecte : 16/01/2021	Autors : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Formations géologiques :

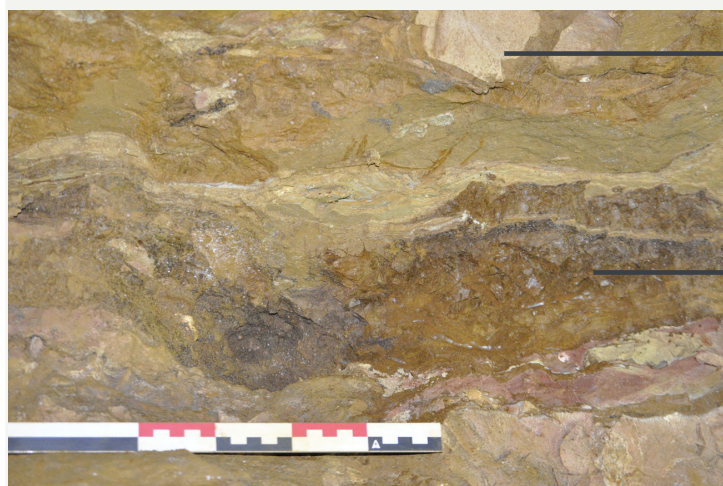
Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Cavité D=E - Partie finale du conduit ; Roche encaissante et remplissage riche en Fe. Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

### Point de collecte (position primaire) :



Roche encaissante

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Remplissage de la cavité karstique

Lamines centrimétriques riches en hydroxydes et oxydes de fer (goethite et hématite)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ; Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ; Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.



# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavité D=E

n° PIG\_0320

Site : Ponte di Veja

Type de site : cavité karstique

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Satn'Anna d'Alfaedo

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 16/01/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

### Localisation et vue générale du site :



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Formations géologiques :

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Cavité D=E - Roche encaissante (calcaire oolithique de San Vigilio) et remplissage (> 1 m d'épaisseur) riche en Fe.  
Auteur de la photographie : Hélène Salomon

### Point de collecte (position primaire) :



Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Remplissage de la cavité karstique

Lamines centrimétriques riches en hydroxydes de fer (goethite)

Roche encaissante

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale, pp. 66-98. ;

Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ;

Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speologia, 1990-1991, pp. 41-49.



# PONTE DI VEJA (PV)

## Cavit  D=E

n  PIG\_0321

Site : Ponte di Veja	Type de site : cavité karstique
Pays : Italie	Région : Vénétie (Vérone)
Commune : Satn'Anna d'Alfaedo	Site archéologique lié : Riparo Tagliente
Date de la collecte : 16/01/2021	Autors : G. Sardelli, R. Zorzin, A. Livraghi

Localisation et vue générale du site :



Ponte di Veja - Vue générale du site ; Pont rocheux (Calcaire San Vigilio, Rosso ammonitico).  
Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Formations géologiques :

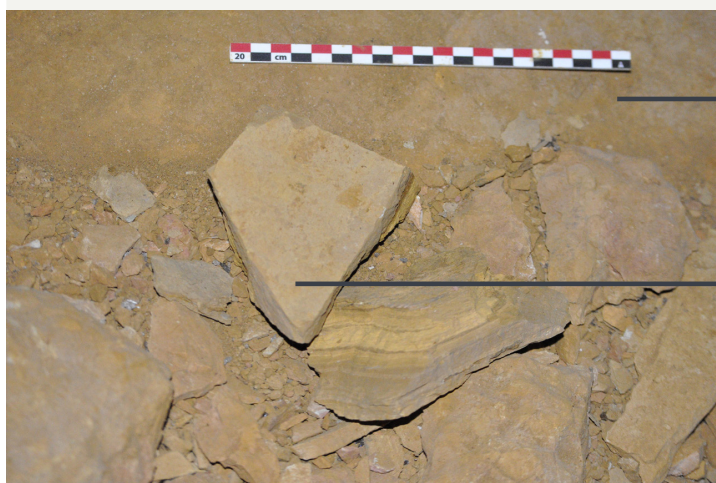
Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Rosso Ammonitico (Jurassique moyen et supérieur)



Cavité D=E - Roche encaissante (calcaire oolithique de San Vigilio) et remplissage (> 1 m d paisseur) riche en Fe.  
Auteur de la photographie : Hélène Salomon

Point de collecte (position secondaire) :



Roche encaissante

Calcaire Oolithique de San Vigilio (Jurassique moyen)

Blocs de remplissage de la cavité

Blocs microlamin s riches en hydroxydes de fer (goethite)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ; Cavallo, G., Rossi, G., Zorzin, R., 2016. Nuovi dati sul paleocarsismo del Ponte di Veja. La Lessinia - Ieri oggi domani, pp. 47-56. ; Gonzato, G., 2015. Geology of Ponte di Veja area. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4082.1282> Gonzato, G., Rossi, G., Chignola, R., 2017. Basalt Intrusions in Palaeokarst Caves in the Central Lessini Mountains (Venetian Prealps, Italy). Acta Carsologica 46/1, pp. 33-45. <https://doi.org/10.3986/ac.v46i1.4564> ; Rossi, G., Zorzin, R., 1993. Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja (M.ti Lessini, VR). In: Le Grotte Di Italia XVI. Presented at the Congresso Nazionale Speleologia, 1990-1991, pp. 41-49.

# SANT'ANDREA (SA)

n° PIG\_0322

Site : Sant'Andrea

Type de site : ancienne mine

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Badia Calavena

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 11/12/2020

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, F. Fontana

## Localisation et vue générale du site :



Formation  
géologique :

Complesso  
Dolomitico  
Indifferenziato  
(Calcaires  
dolomitisés ;  
Jurassique inférieur  
- Crétacé inférieur)



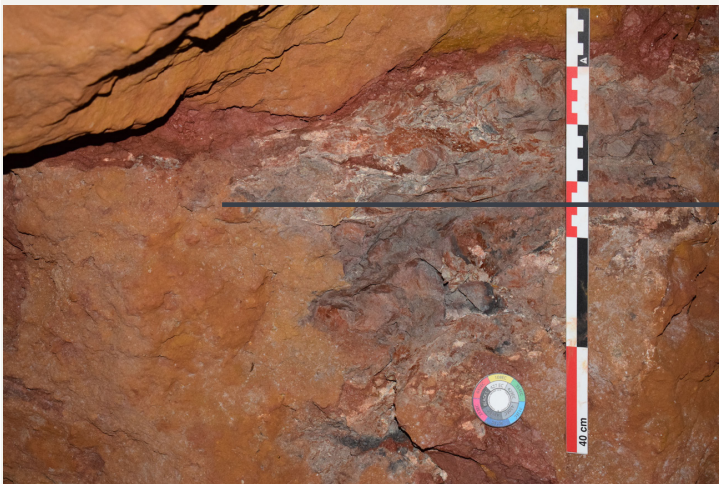
Sant'Andrea - Vue générale du lieu où se trouve la cavité.

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Entrée de la cavité

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

## Point de collecte (position primaire) :



Remplissage de la cavité karstique

Remplissage riches en  
hydroxydes et oxydes de fer (goethite  
et hématite)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale, pp. 66-98. ;



# SANT'ANDREA (SA)

n° PIG\_0323

Site : Sant'Andrea

Type de site : ancienne mine

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Badia Calavena

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 11/12/2020

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, F. Fontana

## Localisation et vue générale du site :



Formation  
géologique :

Complesso  
Dolomitico  
Indifferenziato  
(Calcaires  
dolomitisés ;  
Jurassique inférieur  
- Crétacé inférieur)



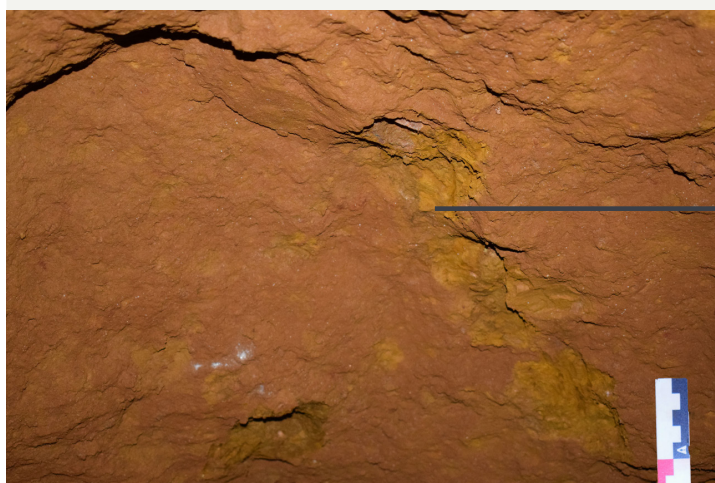
Sant'Andrea - Vue générale du lieu où se trouve la cavité.

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Entrée de la cavité

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

## Point de collecte (position primaire) :



Remplissage de la cavité karstique

Remplissage massif riches en  
hydroxydes de fer (goethite)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale, pp. 66-98. ;

# SANT'ANDREA (SA)

n° PIG\_0324

Site : Sant'Andrea

Type de site : ancienne mine

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Badia Calavena

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 11/12/2020

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, F. Fontana

## Localisation et vue générale du site :



Formation  
géologique :

Complesso  
Dolomitico  
Indifferenziato  
(Calcaires  
dolomitisés ;  
Jurassique inférieur  
- Crétacé inférieur)



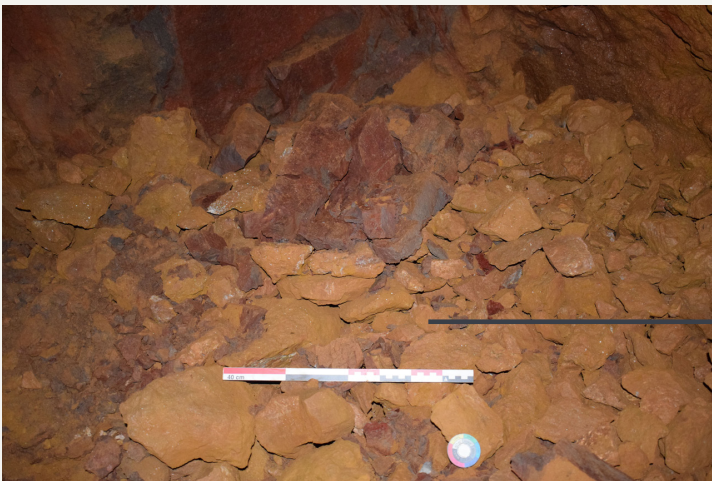
Sant'Andrea - Vue générale du lieu où se trouve la cavité.

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Entrée de la cavité

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

## Point de collecte (position secondaire) :



Remplissage de la cavité karstique

Blocs/fragments de remplissage riches  
en hydroxydes et oxydes de fer  
(goethite et hématite)  
(position secondaire)

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ;



# SANT'ANDREA (SA)

n° PIG\_0325

Site : Sant'Andrea

Type de site : ancienne mine

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Badia Calavena

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 11/12/2020

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, F. Fontana

## Localisation et vue générale du site :



Sant'Andrea - Vue générale du lieu où se trouve la cavité.

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Formation géologique :

Complesso Dolomitico Indifferenziato (Calcaires dolomitisés ; Jurassique inférieur - Crétacé inférieur)



Entrée de la cavité

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

## Point de collecte (position secondaire) :



Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Remplissage de la cavité karstique

Blocs/fragments de remplissage riches en hydroxydes et oxydes de fer (goethite et hématite) (position secondaire)



# SAN BORTOLO (SB)

n° PIG\_0326

Site : Sant'Andrea

Type de site : coupe bord de route

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Selva di Progno

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 11/12/2020

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin, F. Fontana

## Localisation et vue générale du site :



Formation géologique :

Complesso Dolomitico Indifferenziato (Calcaires dolomitisés ; Jurassique inférieur - Crétacé inférieur)



Sant'Andrea - Vue générale du lieu où se trouve la coupe.

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Coupe San Bortolo.

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

## Point de collecte (position primaire) :



Pli de déformation plastique

Remplissage de la fracture karstique

Lamines riche en hydroxydes de fer (goethite)

Roche encassante

Calcaires mésozoïques dolomitisés

Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli

Bibliographie : Cavallo, G., 2020. Analisi petrografica delle terre gialle e rosse della Lessinia, in: Le Terre Gialle e Rosse Della Lessinia, Museo Di Storia Naturale. pp. 66-98. ;

## CA' VECCHI (CV) MS1, MS2, MS3

Site : Ca' Vecchi

Type de site : ancienne mine

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Badia Calavena

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 30/09/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin,  
F. Fontana, H. Salomon

Vie générale du site et points de collecte :



Entrée de la mine.

Auteur de la photographie : Hélène Salomon



Coupe du dépôt de pente au-dessus de la mine (colluvions) avec nodules riches en fer.

Auteur de la photographie : Hélène Salomon



Remplissage riche en oxydes et hydroxydes de fer.

Auteur de la photographie : Hélène Salomon



## MONTE SEREA (MS)

### MS1, MS2, MS3

Site : Monte Serea

Type de site : terrassement ; sondages

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : San Giovanni Ilarione

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 30/09/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin,  
F. Fontana, H. Salomon

Vue générale du site et points de collecte :



MS1

Terrassement - champs de Monte Serea pour la culture de la vigne. Auteur de la photographie : Giorgia Sardelli.



MS2

Sondage de R. Zorzin - volcanites en position secondaire. Auteur de la photographie : Hélène Salomon.



MS3

Dépôt de l'Eocène inférieur - Calcaires micritiques caractérisés par microlaminations jaunes/orangées riches en Fe  
Auteur de la photographie : Hélène Salomon

## PONTE DI VEJA (PV)

### Cavités A-D=E-G-G1

Site : Ponte di Veja

Type de site : cavité karstique

Pays : Italie

Région : Vénétie (Vérone)

Commune : Satn'Anna d'Alfaedo

Site archéologique lié : Riparo Tagliente

Date de la collecte : 29/09/2021

Auteurs : G. Sardelli, R. Zorzin,  
F. Fontana, H. Salomon





## **ANNEXE 12 – Échantillons des Monts Lessini, Italie**

Ponte di Veja - Cavité A  
Position primaire



FIG\_0312\_A\_201  
avant coupe

FIG\_0312\_A\_401  
Plot poli

Ponte di Veja - Cavité G  
Position primaire



FIG\_0312\_A\_201  
avant coupe

FIG\_0312\_A\_401  
Plot poli

Ponte di Veja - Cavité G1  
Position primaire



FIG\_0314\_B\_201  
avant coupe

FIG\_0314\_B\_401  
Plot poli

Ponte di Veja - Cavité D=E  
Position primaire



FIG\_0320\_B\_201  
avant coupe



FIG\_0320\_B\_401  
Plot poli

Sant' Andrea - Cavité  
Position primaire



FIG\_0322\_A\_201  
avant coupe



FIG\_0322\_A\_401  
Plot poli

San Bortolo - Coupe bord de route  
Position primaire



FIG\_0314\_B\_201  
avant coupe



FIG\_0314\_B\_401  
Plot poli



## **ANNEXE 13 – Analyses complémentaires des standards en PIXE**




Sample info	Deposit	prepa	analyse	dose	Nazo	% w.	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Ba	La	Ce	W	Pb	Th																
PIG.0020_A.801	PIERREMORTIE 2019	2020	1Mio	0.06	0.13	24.13	28.24	0.09	0.02	0.00	0.11	0.17	0.68	0.07	0.06	0.03	45.36	99.15	<307	55	<122	<155	158	<2030	501	21	50	29																	
PIG.0020_A.801	PIERREMORTIE 2019	2020	1Mio	0.06	<0.10	23.00	26.87	0.06	0.02	0.12	0.38	0.64	0.07	0.06	0.03	47.86	99.20	<323	50	78	36	9	66	<13	2	3	100	23	62	23															
PIG.0020_A.801	PIERREMORTIE 2019	2020	1Mio	0.06	<0.11	23.22	28.19	0.09	0.03	0.00	0.12	0.22	0.74	0.07	0.06	0.03	45.60	99.05	<317	57	13	70	36	8	4	5	3	94	28	312	69	25													
PIG.0020_A.801	PIERREMORTIE 2020	2019	1Mio	0.04	<0.11	23.29	27.49	0.09	0.03	0.00	0.11	0.21	0.79	0.07	0.06	0.03	46.86	99.08	<343	55	21	83	41	2	6	10	4	26	<257	317	258	18	40	<43											
PIG.0020_B.802	PIERREMORTIE 2020	2019	1Mio	<0.19	0.58	28.3	31.1	<0.14	0.23	0.02	0.76	43.43	0.11	0.02	<0.15	0.52	42.36	56.62	<304	14	<23	114	4	37	254	25	<13	14	<99	32	<535	249	274	15	6	<34									
PIG.0020_A.801	PIERREMORTIE 2019	2019	1Mio	0.01	0.09	23.68	27.34	0.08	0.03	0.00	0.14	0.42	1.43	0.13	0.06	0.03	46.25	99.68	<100	54	18	96	54	4	136	31	733	47	19	<100	<100	<100	<100	<100	5	64	43								
PIG.0020_A.801	PIERREMORTIE 2019	500K	2020	<1.00	0.06	23.60	27.41	0.05	0.03	0.01	0.12	0.46	1.23	0.13	0.06	0.05	46.51	99.70	<100	41	<100	0	372	164	157	5	64	43	27	309	<59														
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2020	1Mio	0.06	0.44	12.33	19.86	0.06	0.29	0.03	0.88	1.12	0.12	0.02	0.00	0.05	63.48	98.76	<308	<155	<36	35	12	4	85	<10	8	89	81	32	81	9	<40	39	307	1662	<1383	483	27	309	<59				
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2020	1Mio	0.11	0.41	10.51	17.14	0.09	0.03	0.02	2.45	0.08	0.12	0.02	0.00	0.06	67.05	98.87	<356	10	<40	16	6	68	79	25	71	8	68	79	25	71	8	<36	42	314	681	<1409	411	22	234	<53			
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2020	1Mio	0.12	0.37	9.46	15.67	0.08	0.03	0.02	2.15	0.03	0.11	0.02	0.00	0.05	70.85	98.91	<356	44	<40	15	6	70	65	31	124	<3	70	65	31	124	<3	40	106	280	248	<1412	90	15	233	<63			
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2020	1Mio	0.09	0.35	10.04	15.93	0.07	0.02	0.04	2.89	0.05	0.12	0.02	0.00	0.06	69.75	98.93	<388	16	<43	14	10	4	30	<20	9	73	66	31	117	6	<33	<129	315	324	<1462	88	12	266	<59				
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2020	1Mio	0.08	0.37	9.48	15.69	0.08	0.02	0.04	2.08	0.06	0.12	0.02	0.00	0.05	70.76	98.86	<388	15	6	14	8	7	26	<20	2	66	66	26	61	3	96	31	362	360	<1313	88	22	259	<53				
PIG.0160_D.802	BORDEZAC 2020	2020	1Mio	0.13	0.34	9.24	14.76	0.07	0.02	0.03	2.24	0.05	0.12	0.02	0.00	0.06	71.77	98.86	<399	15	6	14	8	7	26	<20	2	61	61	73	26	69	16	<38	<132	404	494	215	381	23	269	<59			
PIG.0160_D.802	BORDEZAC 2020	2020	1Mio	0.11	0.38	10.08	15.51	0.07	0.06	0.03	2.16	0.08	0.18	0.03	0.00	0.07	71.80	98.89	<376	36	9	18	8	7	26	<20	6	67	62	23	69	7	92	<102	357	413	178	106	15	245	<63				
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2019	1Mio	0.10	0.37	9.42	14.75	0.08	0.03	0.03	2.24	0.08	0.19	0.03	0.00	0.07	70.84	99.61	<100	0	4	18	10	4	38	<100	8	78	89	29	66	8	5	27	527	969	<1000	196	23	300	1				
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2019	500K	0.10	0.34	9.15	14.86	0.07	0.03	0.02	2.12	0.09	0.25	0.03	0.00	0.09	72.49	99.65	<100	0	18	12	6	26	3	11	89	107	26	93	14	7	39	593	536	<1000	153	30	243	<100					
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2019	500K	0.08	0.33	8.57	14.53	0.08	0.03	0.02	2.07	0.08	0.19	0.03	0.00	0.08	73.43	99.54	<100	0	16	12	6	28	2	3	24	446	358	<1000	242	30	243	<100	6	261	2								
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2019	500K	0.05	0.31	8.91	14.52	0.07	0.03	0.03	2.05	0.08	0.18	0.03	0.00	0.08	73.25	99.59	<100	0	17	4	5	33	1	11	69	69	32	382	3	<100	21	399	1159	<1000	242	24	283	5					
PIG.0160_D.801	BORDEZAC 2019	2019	400K	0.09	0.27	8.53	14.05	0.10	0.02	0.02	2.03	0.09	0.19	0.03	0.00	0.08	73.98	99.51	<100	14	0	12	7	7	47	7	47	7	47	7	47	601	494	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000
PIG.0172_A.801	HUY 2019	2020	1Mio	0.04	1.37	6.24	17.77	1.72	0.08	0.01	1.39	6.30	0.20	0.04	0.01	0.29	63.33	98.79	<386	35	28	51	10	3	41	<13	4	51	87	106	116	20	6	29	<182	138	<636	298	22	44	41				
PIG.0172_A.801	HUY 2019	2020	1Mio	0.02	1.29	6.68	18.13	1.46	0.05	0.00	1.54	5.57	0.19	0.04	0.01	0.31	63.45	98.74	<406	38	29	54	7	5	37	<20	7	58	63	67	127	16	4	31	<139	115	<1317	491	19	36	27				
PIG.0172_A.801	HUY 2019	2020	1Mio	0.08	1.42	6.22	17.45	1.62	0.08	0.01	1.48	5.04	0.05	0.01	0.28	64.71	98.65	160	13	16	52	7	3	34	<20	11	53	73	80	117	12	5	31	<152	112	474	221	36	51	48					
PIG.0172_A.801	HUY 2019	2020	1Mio	0.06	1.38	6.45	19.18	1.36	0.02	0.01	1.56	5.38	0.20	0.04	0.01	0.29	62.75	98.68	<422	30	16	49	5	3	30	<20	11	53	73	80	117	12	5	31	<152	112	474	221	36	51	48				
PIG.0172_A.802	HUY 2019	2019	1Mio	0.07	1.36	6.34	18.14	1.64	0.08	0.00	1.39	5.63	0.19	0.04	0.01	0.31	63.47	98.67	<323	30	26	55	11	3	34	7	2	52	63	97	107	13	6	<99	23	926	<604	186	16	33	34				
PIG.0172_A.801	HUY 2019	2019	1Mio	0.05	1.23	5.99	17.13	1.54	0.07	0.01	1.53	8.49	0.31	0.08	0.01	0.40	62.58	99.09	<100	39	26	70	8	3	65	0	3	73	95	126	209	24	8	39	35	176	<1000	453	13	24	39				
PIG.0173_A.801	ROUSSILLON 2019	2020	1Mio	<0.18	<0.10	8.47	26.98	0.67	0.04	<0.03	0.07	0.02	0.15	0.11	0.20	0.01	62.95	99.09	<380	14	6	48	31	8	76	<20	27	<26	89	13	274	10	<119	<69	<1498	318	379	17	71	45					
PIG.0173_A.801	ROUSSILLON 2019	2020	1Mio	0.06	0.09	2.42	12.98	0.51	0.32	<0.02	0.32	2.23	0.09	0.07	0.01	2.53	77.04	98.67	<459	96	42	223	7	10	384	<33	34	33	75	28	50	3	140	<142	118	10054	<1634	3035	120	221	<92				
PIG.0173_A.801	ROUSSILLON 2019	2020	1Mio	0.03	0.10	2.46	12.49	0.48	0.32	0.01	0.33	1.74	0.09	0.08	0.01	2.23	77.90	98.27	<462	52	42	191	5	14	368	<33	6	31	63	34	56	<30	12	29	113	13776	412	1078	127	214	<92				
PIG.0174_A.801	BEAUREGARD 2019	2020	1Mio	0.02	0.09	2.46	12.89	0.52	0.29	<0.02	0.30	2.16	0.09	0.08	0.01	2.80	75.66	97.56	<446	56	33	192	2	8	351	<33	5	24	70	32	45	<30	12	32	41	11219	227	1001	109	286	<86				
PIG.0174_A.802	BEAUREGARD 2020	2020	1Mio	0.03	0.11	2.69	11.92	0.57	0.38	0.00	0.34	1.42	0.09	0.09	0.01	2.14	76.63	98.41	<508	65	43	192	4	16	355	<33	4	27	100	29	53	4	<30	80	74	13025	<1759	1168	149	195	<89				
PIG.0174_A.801	BEAUREGARD 2019	2019	500K	0.03	0.09	2.24	11.73	0.52	0.24	0.00	0.28	2.18	0.14	0.13	0.01	3.36	77.37	98.42																											

## **ANNEXE 14 – Poster**

# SOURCING OF IRON-RICH COLOURING MATERIALS: EVIDENCE FROM THE EPIGRAVETTIAN LAYERS OF RIPARO TAGLIENTE (VERONA, ITALY)

Giorgia Sardelli <sup>a,b</sup>, Hélène Salomon <sup>b</sup>, Roberto Zorzin <sup>c</sup>, Aurélie Chassin de Kergommeaux <sup>b</sup>,  
Federica Fontana <sup>a</sup>



<sup>a</sup> Università Degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Studi Umanistici, Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche, Corso Ercole I D'Este, 32, I-44121, Italy  
<sup>b</sup> Université Savoie Mont Blanc, EDYTEM-UMR 5204 CNRS, Bâtiment « Pôle Montagne », 5 boulevard de la mer Caspienne, 73376, Le Bourget-du-Lac, Cedex, France  
<sup>c</sup> Museo Civico di Storia Naturale, Lungadige Porta Vittoria, 9, 37129, Verona, Italy.

A large amount of iron oxide/hydroxide-rich colouring materials have been detected in the shape of blocks/fragments, residues, and painting on different supports in the Late Epigravettian (from 17,219-16,687 cal BP to 14,535-13,472 cal BP) layers of Riparo Tagliente site (Lessini pre-Alpine massif, NE Italy), which represent the first evidence of human settlement on the Southern Alps during the Early Lateglacial (GS-2.1a) (Fontana et al., 2018) (1).

In order to identify the supply sources and the selection criteria of the colouring materials exploited by the Epigravettian groups of Riparo Tagliente:

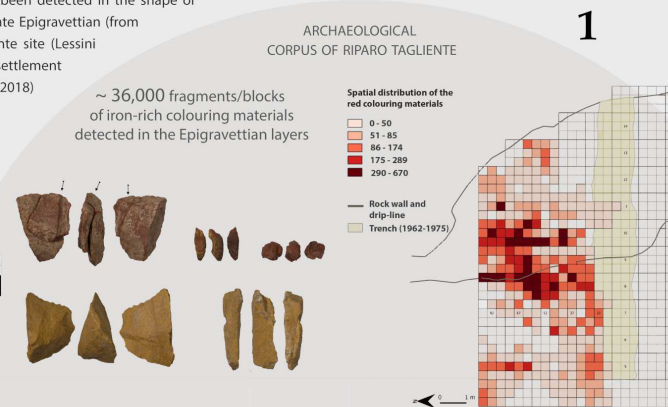
- recent geological surveys in the Lessini calcareous massif have been carried out (2);
- interdisciplinary and multiscale observations and analyses have been performed with the aim to define the mineralogical and geochemical (major, minor, and trace elements) fingerprint of the geological and archaeological corpuses (3).

Taking into account the entire archaeological corpus of iron-rich rocks, this first investigation has revealed the wide diversity of the material exploited at Riparo Tagliente during the Late Epigravettian. The 5 geological outcrops which have been sampled so far document a comparable diversity and variability. The systematic geological surveys will be extended to the whole region of the Lessini Mountains, and the analyses will be continued.

**1**

ARCHAEOLOGICAL CORPUS OF RIPARO TAGLIENTE

~ 36,000 fragments/blocks of iron-rich colouring materials detected in the Epigravettian layers



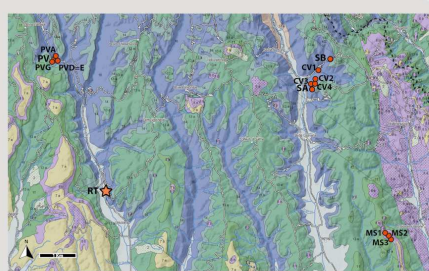
Spatial distribution of the red colouring materials

- 0 - 50
- 51 - 85
- 86 - 174
- 175 - 289
- 290 - 670

— Rock wall and drip-line  
— Trench (1962-1975)

**2**

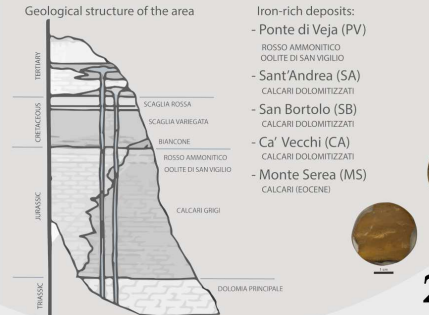
GEOLOGICAL SURVEYS LESSINI PRE-ALPINE MASSIF



Iron-rich deposits:

- Ponte di Veja (PV)
- ROSSO AMMONITICO OOLITE DI SAN VIGILIO
- Sant'Andrea (SA)
- CALCARI DOLOMITIZZATI
- San Bortolo (SB)
- CALCARI DOLOMITIZZATI
- Ca' Vecchi (CA)
- CALCARI DOLOMITIZZATI
- Monte Serea (MS)
- CALCARI (EODENE)

Geological structure of the area



DOLOMITA PRINCIPALE

**3**

MACROSCOPIC OBSERVATIONS

Database  
Classification on the basis of macroscopic parameters  
Spatial distribution

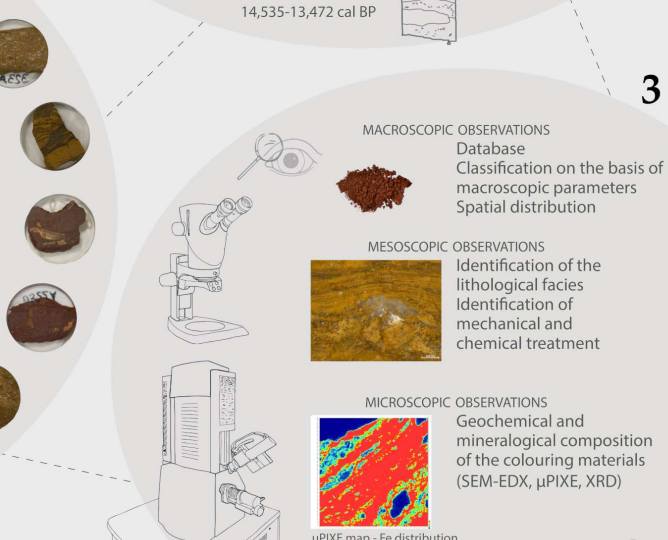
MESOSCOPIC OBSERVATIONS

Identification of the lithological facies  
Identification of mechanical and chemical treatment


MICROSCOPIC OBSERVATIONS

Geochemical and mineralogical composition of the colouring materials (SEM-EDX,  $\mu$ PIXE, XRD)

$\mu$ PIXE map - Fe distribution



REFERENCES: Fontana F., Falceri L., Gajardo A., Bertola S., Cremona M-G., Cavulli F., Guerreschi A., Visentin D., 2018. "Re-colonising the Southern Alpine fringe Diachronic data on the use of sheltered space in the Late Epigravettian site of Riparo Tagliente (Verona, Italy)". In: Borgia, V., and E. Cristiani (eds.) 2018: Palaeolithic Italy, Advanced studies on early human adaptations in the Apennine peninsula, Sidestone Press Academic (Leiden), 287-310.

THANKS: 

Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria  
56<sup>th</sup> SCIENTIFIC CONFERENCE  
FERRARA, 20-23 OCTOBER 2021

Figure 11.3 : Poster présenté à la 56e conférence de l'institut italien de Préhistoire et de Protohistoire, Ferrara, 20-23/10/2021.

## **ANNEXE 15 – RAPPORT CTRA**



Direction régionale des affaires culturelles  
Auvergne Rhône-Alpes

Pôle architecture et patrimoines  
Service archéologie

Affaire suivie par : Laure DEVILLARD  
Tél. 04 72 00 44 66  
[laure.devillard@culture.gouv.fr](mailto:laure.devillard@culture.gouv.fr)

**Commission territoriale de la  
recherche archéologie**

Réf. : 2021/4481/KG/LD

Objet : **opérations programmées 2021**  
Constitution d'une pigmentothèque  
(Ardèche, Savoie) (2021/653, code  
opération Patriarche : 2213729)

PJ : Extrait du PV

Madame,

Vous êtes titulaire d'une autorisation de projet collectif de recherche (2020-2022) concernant la constitution d'une pigmentothèque en Ardèche et en Savoie J'ai l'honneur de vous faire connaître qu'après avis de la commission territoriale de la recherche archéologique sud-est (CTRA) en date des 6 et 7 avril 2021, je suis favorable à la poursuite de ce projet.  
Vous trouverez, ci-joint, l'extrait du procès-verbal concernant votre dossier, vous voudrez bien prendre en compte les remarques qui vous sont faites et auxquelles je souscris.

Le n° d'arrêté 2021 pour la poursuite de votre opération est le suivant : 2021/653 (code opération 2213729)

Une somme de 14.670€ vous a été réservée (6.992€ de fonctionnement et 7 ;678€ d'analyses). Ces crédits seront versés à l'association gestionnaire : AVDPA.

Je vous prie d'agréer, Madame, l'assurance de ma considération distinguée.

Pour le Préfet de Région, par délégation,  
le Directeur régional des affaires culturelles  
et par subdélégation  
Le Conservateur régional de l'archéologie

Karim GERNIGON

Direction régionale des affaires culturelles Auvergne-Rhône-Alpes  
Le Grenier d'Abondance - 6, quai Saint-Vincent  
69283 Lyon cedex 01  
Tél. 04.72.00.44.00  
[www.culture.gouv.fr/Regions/Drac-Auvergne-Rhone-Alpes](http://www.culture.gouv.fr/Regions/Drac-Auvergne-Rhone-Alpes)



\*\*