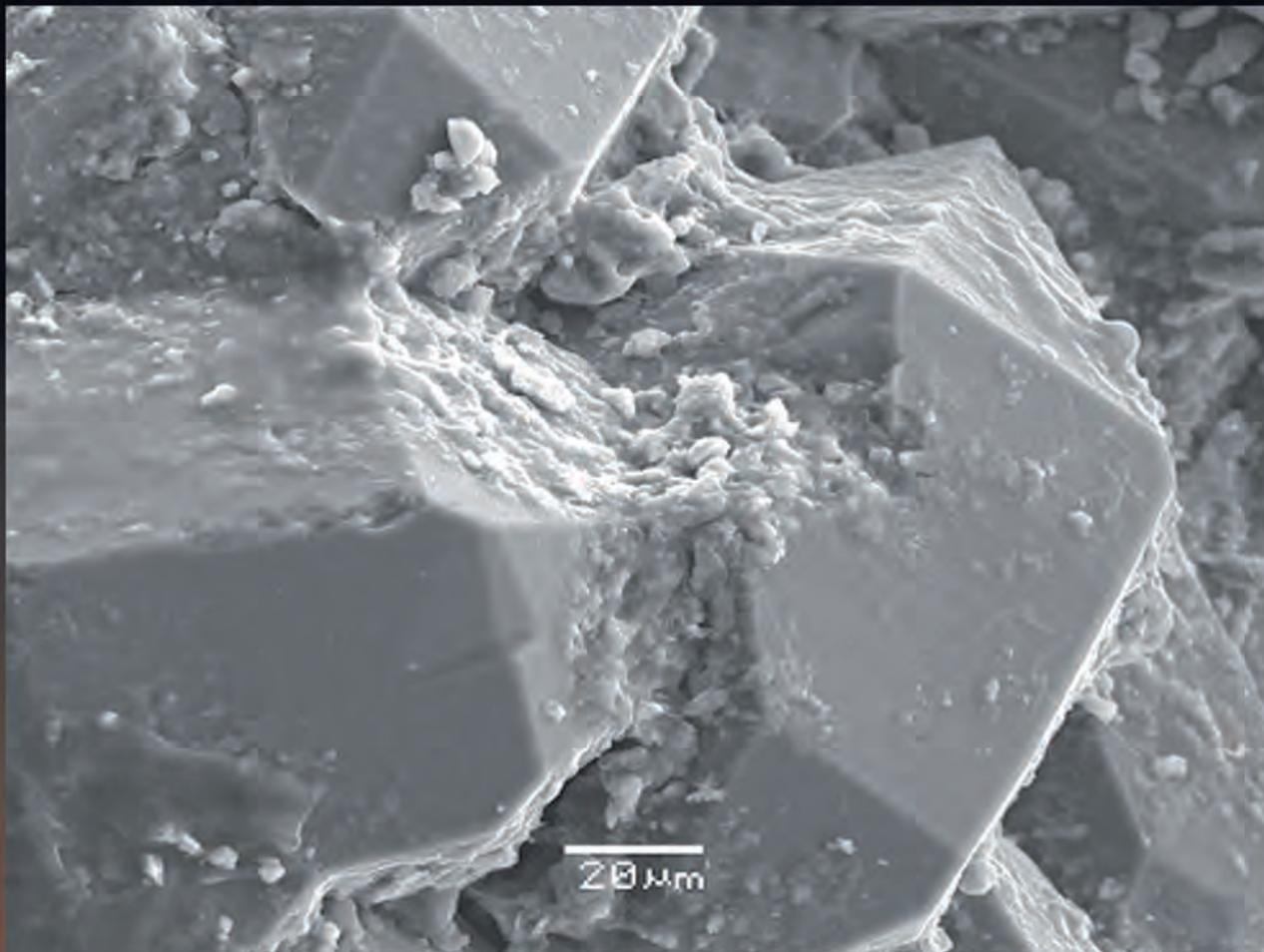


Projet Collectif de Recherche Rapport d'activité 2017



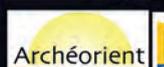
Réseau de lithothèques en Auvergne - Rhône - Alpes

Coordinateur : Paul Fernandes

Référent : Vincent Delvigne

Equipe scientifique: Tuffery C., Beeching, A., Bressy-Léandri C., Binder D., Le Bourdonnec F.-X., Queffelec A., Dubernet S., Schmidt P., Platel J.-P., Guibert P., Morala A., Turq A., Querré G., Marchand G., Guiavarc'h M., Léa V., Langlais M., Gibaud A., Jacquier J., Delpuech A., Perrin T., Tomasso A., Moreau L., Vaissié E., Robbe J., Piboule M., Tallet P., Deparnay X., Lafarge A., Cousseran-Néré S., Morin E., Chesnaux L., Guillermin P., V., Raynal J.-P.

PALEOTIME
archéologie préventive



Légende des illustrations de la page de couverture :

Vue au microscope électronique à balayage d'un remplissage de bioclaste par des macroquartz recouvert de silice.

PAO : A. Lafarge.

NOTICE AU BULLETIN SCIENTIFIQUE RÉGIONAL 2017

Nom d'auteur : Paul Fernandes¹⁻², Vincent Delvigne¹⁻³

1. UMR 5199 PACEA, Université de Bordeaux, bâtiment B8, allée Geoffroy Saint Hilaire, 33615 Pessac Cedex, France

2. SARL Paléotime, 6173 rue Jean Séraphin Achard Picard, 38350 Villard-de-Lans, France.

3. Fondation Fyssen, Service de Préhistoire, Université de Liège, place du XX août, Liège, Belgique

Numéro d'OA : 2017/523

Responsable d'opération : Paul Fernandes (UMR 5199 PACEA, Paléotime)

Nature de l'opération : Projet collectif de recherche (PCR), du 01-06-2017 au 30-12-2017

Couverture géographique : région Auvergne-Rhône-Alpes

Mots-clés du thésaurus : matière première, méthodologie, silex, extraction du silex, cartographie, territoire, comportement social

Chronologie : Préhistoire, Paléolithique, Paléolithique inférieur, Paléolithique moyen, Paléolithique supérieur, Epipaléolithique et Mésolithique, Mésolithique ancien, Mésolithique récent, Mésolithique final, Néolithique, Néolithique ancien, Néolithique moyen, Néolithique final, Néolithique récent, Chalcolithique, Protohistoire, âge du Bronze, Bronze ancien, Bronze récent, Bronze final, âge du Fer, Hallstatt, premier âge du Fer, La Tène, second âge du Fer

Peuples et citées : cultures du Paléolithique, cultures du Paléolithique moyen, cultures du Paléolithique supérieur, Néolithique-Chalcolithique

Keywords : raw material, methodology, flint, extraction of flint, cartography, territory, Prehistory, Lower Palaeolithic, Middle Palaeolithic, Upper Palaeolithic, Mesolithic, Neolithic, Early Neolithic, Middle Neolithic, Late Neolithic, Neolithic-Chalcolithic, Protohistory, Bronze Age, Early Bronze Age, Late Bronze Age, Late Bronze Age I, Late Bronze Age II, Late Bronze Age III, Iron Age, Hallstatt, Iron Age (first period), La Tène, Iron Age (second period), Palaeolithic cultures, Middle Palaeolithic cultures, Upper Palaeolithic cultures, Neolithic-Chalcolithic

Titre : Réseau de lithothèques

Sous-titre : Auvergne-Rhône-Alpes

Résumé : Ce rapport vient conclure un programme triennal (2015-2017) riche en regroupements et résultats. Il s'inscrit dans une volonté de faire progresser la recherche sur les modes d'exploitation des ressources minérales et sur la territorialité des groupes humains préhistoriques. Le PCR est étroitement associé aux autres programmes déjà en place (Nouvelle Aquitaine, Centre Val-de-Loire) et participe à la création de nouveaux programmes plus ou moins aboutis (en Ile de France, PACA et Bretagne). La démarche commune poursuivie au cours de ces trois années est soutenue par les deux instituts du CNRS (InEE et InSHS), plusieurs Universités (Bordeaux, Bordeaux Montaigne, Nice, Rennes 1, Savoie Mont-Blanc), la Sous-direction de l'Archéologie, les directions régionales des affaires culturelles (DRAC) concernées, le Centre National de Préhistoire de Périgueux (CNP), plusieurs musées nationaux ou départementaux, la direction scientifique de l'Inrap et la Société Paléotime. L'enquête nationale diffusée à partir de 2016 dans tous les UMR d'archéologie à l'initiative de C. Bressy-Léandri, Paul Fernandes, Didier Binder et Jean-Paul Raynal qui avait pour but d'identifier les personnels impliqués dans la recherche sur les géomatériaux a confirmé l'adhésion d'une très large communauté au renouvellement conceptuel et méthodologique initié par les membres du PCR. Cette synergie constitue un des principaux enjeux des études actuelles concernant les sociétés paléolithiques et néolithiques.

En 2017, grâce à l'investissement bénévole, de nos membres, nous avons obtenu un progrès significatif au niveau régional pour plusieurs thématiques déjà bien avancées : inventaire des lithothèques, travaux menés sur le mobilier archéologique, caractérisation fine des types marqueurs, constitution de cartes SIG des gîtes.

Ce travail a permis la consolidation d'une structure coopérative de recherche à l'échelle régionale sur la caractérisation de la provenance des silex et leur évolution post-dépositionnelle. Désormais, la perspective de participer à la structuration d'une communauté nationale peut devenir une réalité (un projet de GDR coordonné par C. Bressy-Léandri (membre du PCR) sera déposé en 2018). Ce groupement de recherche aura vocation à articuler à l'échelon national de nombreuses initiatives, anciennes ou récentes, jusqu'à présent diversement connectées les unes aux autres. Ces deux démarches complémentaires se fondent sur des modes d'action similaires :

- Axe 1 : prospections, inventaires et développement de l'outil lithothèque ;
- Axe 2 : sur une vision renouvelée de la caractérisation des silex, développements méthodologiques et cas d'étude, vers une meilleure dissémination de l'état de l'art et des méthodes de caractérisation au moyen de différentes actions ;
- Axe 3 : sur une harmonisation des fiches d'inventaire, de caractérisations pétrologiques et géochimiques au service du développement de l'outil cartographique ;
- Axe 4 : vers les applications, travaux menés sur le mobilier archéologique régional et extra régional,
- Axe 5 : sur une valorisation des résultats, vers une mise en réseau et une mutualisation des bases de connaissance afin de créer un pôle de compétences pluridisciplinaire régional intégrable au projet national.

Ce programme est à la fois bien positionné sur une démarche novatrice et en interaction forte avec des thématiques portées par plusieurs laboratoires représentant plusieurs disciplines. Son originalité est de présenter des qualités dans les domaines de l'expérimentation, de la mise en réseau et la mutualisation des bases de connaissance. Grâce à nos contributions et nos collaborations, la pétroarchéologie bénéficie d'une avancée significative. Nous avons mis en place une approche multi-technique et multi-échelle consacrée à l'analyse de l'évolution des propriétés des silex. La mise en corrélation des résultats obtenus permet d'avancer dans la compréhension des mécanismes à l'origine de la variabilité ou de l'immutabilité des silex archéologiques. On a ainsi commencé à constituer un procédé de quantification de la transformation de la structure et de la composition initiale afin de déterminer plus précisément leur provenance et leur évolution dans le site archéologique. En matière de diffusion et d'homogénéisation des données entre les chercheurs, l'utilisation de la plate-forme ArcGIS Online (AGOL) permet de démontrer les possibilités techniques d'une mise en ligne aisée de données provenant soit de la fiche de terrain harmonisée soit d'une BDD sur les silex soit de données géoréférencées comme celles numérisées depuis plusieurs années. En cette fin de l'année 2017 l'ambition fédératrice reste donc la composante fondamentale du projet.

Les données acquises entre 2015 et 2017 ouvrent de nouvelles perspectives interdisciplinaires de recherche dans le domaine de l'origine des matériaux, des comportements techno-économiques et de l'intégrité des sites. Tous ces efforts mettent l'accent sur la nécessité de maintenir cette synergie dans les années à venir.

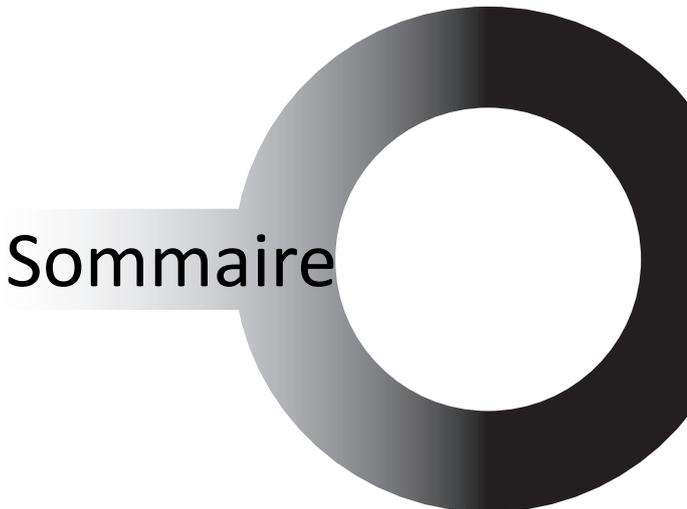
Paul Fernandes et Vincent Delvigne
Le 15/01/2017

Avertissement

Les rapports de fouille constituent des documents administratifs communicables au public dès leur remise au Service régional de l'archéologie, suivant les prescriptions de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 modifiée, relative à l'amélioration des relations entre l'administration et le public. Aux termes de la circulaire du 26 mars 1993, ils pourront être consultés ; les agents des Services régionaux de l'archéologie rappelleront à tout demandeur les droits de propriété littéraire et artistique possédés par les auteurs et les contraintes qui en résultent pour tout consultant. Les prises de notes et les photocopies sont utilisées pour un usage exclusivement privé et non destiné à une utilisation collective (article L122-5 du code de la propriété intellectuelle). Toute reproduction du texte accompagnée ou non de photographies, cartes ou schémas, n'est possible que dans le cadre du droit de courte utilisation, avec les références exactes et complètes de l'auteur et de l'ouvrage. Par ailleurs, l'exercice du droit à la communication exclut, pour ses bénéficiaires ou pour les tiers, la possibilité de reproduire, de diffuser ou d'utiliser à des fins commerciales les documents communiqués (Loi n° 78-753 du 17 juillet 1978, art. 10).

Le non respect de ces règles constitue un délit de contrefaçon puni par l'article 425 du code pénal.

Fernandes, P. et al. 2017 : Fernandes, P., Delvigne, Tuffery C., Beeching, A., Bressy-Léandri C., Binder D., Le Bourdonnec F.-X., Queffelec A., Dubernet S., Schmidt P., Platel J.-P., Guibert P., Morala A., Turq A., Querré G., Marchand G., Guiavarc'h M., Léa V., Langlais M., Gibaud A., Jacquier J., Delpuech A., Perrin T., Tomasso A., Moreau L., Vaissié E., Robbe J., Piboule M., Tallet P., Deparnay X., Lafarge A., Cousseran-Néré S., Morin E., Chesnaux L., Guillermin P., V., Raynal J.-P. (2017) - *Réseau de lithothèques en Auvergne Rhône-Alpes*. Rapport d'opération, Drac Lyon-Clermont-Ferrand, 297 p.



Sommaire

Notice au Bulletin scientifique régional 2017.....	3
Sommaire	7
Documentation administrative.....	13
Remerciements	19
1. Présentation de l'opération	23
1.1. État de l'art	23
1.2. Historique	24
2. Bilan d'activité	29
2.1. Axe 1 : prospections, inventaires et développement de l'outil lithothèque.....	29
2.1.1. Prospections dans la vallée du Furon (Vercors Nord). Archéologie et géologie	29
2.1.2. Matériaux siliceux de quatre sites ateliers du Bourbonnais entre Cher et Allier	33
2.1.3. Participation à l'enquête nationale sur les lithothèques	52
2.1.4. Inventaire des lithothèques régionales, caractérisation fine des types marqueurs, constitution d'un catalogue régional.....	52
2.1.5. Constitution et publication d'un atlas des types marqueurs en Auvergne Rhône-Alpes	52
2.2. Axe 2 : caractérisation des silex développements méthodologiques et cas d'étude	54
2.2.1. Projet "Chaîne Evolutive des Silex"	55
2.3 Axe 3 : développement fiches d'inventaire, de caractérisation et d'un SIG des formations à silex	56
2.3.1. Finalisation de la fiche de données de terrain au format .xls.....	56
2.3.2. Création d'une base de données (BDD) sous MSAccess.....	58
2.3.3. Etablissement des liens entre la fiche de terrain et la BDD Access avec un logiciel de SIG ...	59
2.3.4. Développement d'applications de consultation et modification de données sur les formations et les gîtes à silex sur AGOL	60

2.3.5. Tests sur des applications de consultation et de modification des données en situation de mobilité	62
2.3.6 Exploration des possibilités d'utilisation de l'approche multi-agents pour la modélisation des parcours du silex (formation MAPS10).....	64
2.3.7. Conclusion et perspectives.....	68
2.4 Axe 4 : travaux menés sur les mobiliers archéologiques	69
2.4.1. Matériel lithique de la station d'altitude de Alp2 (Hauts de Chartreuse). Bilans et perspectives	69
2.4.2. La séquence stratigraphique du Cuze de Sainte-Anastasie (Cantal) : nouvelle approche des industries lithiques du Paléolithique final au Mésolithique.....	71
2.4.3. Étude pétroarchéologique d'une série de silex du site des Baigneurs à Charavines (Isère, France).....	74
2.4.4. Pétrographie, technologie, quels enjeux pour le Néolithique moyen chasséen du Gournier à à Montélimar (Drôme) ?	107
2.5 Axe 5 : valorisation et diffusion des résultats	108
2.5.1. Séminaire caractérisation des silex -Citée de la préhistoire Musée d'Ornac -15-17 février 2017	109
2.5.2. École de terrain PCR à Saint-Cyr-en-Val, Inrap les 21 et 22 septembre 2017	110
2.5.3. Participations à colloque	111
<u>3. Nouvelles des autres PCR «Réseau de lithothèques»</u>	<u>113</u>
3.1 Réseau de lithothèques en région Nouvelle Aquitaine	113
3.2 Réseau de lithothèques en région Centre-Val-de-Loire	114
<u>4. Conclusions et perspectives</u>	<u>117</u>
<u>5. Publications</u>	<u>121</u>
Bibliographie	263
Table des illustrations	271
Table des matières.....	275
Annexes	279

Réseau de lithothèques en Auvergne - Rhône-Alpes



Documentation administrative

FICHE SIGNALÉTIQUE

L'identité du lieu d'intervention

Région : Auvergne-Rhône-Alpes
 Départements : Ain, Allier, Ardèche, Cantal, Drôme, Isère, Loire, Haute-Loire, Puy-de-Dôme, Rhône, Savoie, Haute-Savoie.

Nature de l'opération

Le projet : Projet Collectif de Recherche «Réseau de lithothèques en Auvergne Rhône-Alpes»

Programme de rattachement : 12, le Néolithique : habitats, sépultures, productions, échanges

Arrêté d'autorisation : 2017/523 (Code d'opération PATRIARCHE 22 11841)

Responsable d'opération : Paul Fernandes

Dates de l'intervention : 01/06/2017 au 30/12/2017

Chronologie : Préhistoire

Lieux de dépôts : locaux de la société Paléotime, 6173 rue Jean Séraphin Achard Picard 38250 Villard-de- Lans, pour la lithothèque de Dolomieu et celle de Paléotime. Capra Valence : qui conserve des silex de l'Ardèche et de la Drôme. Le Musée d'Orgnac : qui possède des silex de l'Ardèche et du Gard. Neuchâtel : qui conserve les collections d'échantillons provenant des Alpes françaises. Laussonne (Haute-Loire) : où sont stockés des échantillons auvergnats mais aussi de la Loire de l'Ardèche, de la Drôme et du Gard. Lyon et Bron où sont stockés des échantillons de la zone autour de Lyon dans le bureau de Jérémie Liagre.

FICHE GÉNÉRIQUE

Responsables scientifiques

Les travaux sont coordonnés par Paul Fernandes, Paléotime et UMR 5199 PACEA, Michel Piboule, Professeur retraité de Pétrologie-Géochimie, Institut Dolomieu de Grenoble, Didier Binder, CEPAM - UMR 7264, Jean-Paul Raynal, PACEA - UMR 5199, Bordeaux, Jean-Pierre Bracco, LAMPEA - UMR 5594, Antonin Tomasso, CEPAM - UMR 7264 et Université de Liège, Vincent Delvigne, UMR 5199 PACEA et Université de Liège, et Céline Léandri SRA Corse et Traces – UMR 5608.

FINANCEMENT

Le financement de cette campagne a été assuré par le Ministère de la Culture et de la Communication dans le cadre des Opérations Programmées 2017/523, code opération Patriarche 2211841, les Conseils Généraux de l'Ain, de l'Isère, de la Savoie et par la société Paléotime.

Financeurs	Fonctionnement
Ministère de la culture	9500 €
CG Ain	5000 €
CG Savoie	1200 €
CG Isère	1000 €
Autre : Paléotime	5000 €
TOTAL	21700

La gestion financière est assurée par les associations suivantes :

- l'AVDPA (Association pour la Valorisation et la Diffusion de la Préhistoire Alpine),: 13 allée des Cottages, 38240 Meylan ;
- l'ALPARA (Association de liaison pour le patrimoine et l'archéologie en Rhône-Alpes et en Auvergne), 25 rue Roger Radisson, 69005 Lyon ;

- l'ADRAS (Association Départementale pour la Recherche Archéologique en Savoie), 895 route de la Batie, 73230 St-Alban-Leysse.

ÉQUIPE D'INTERVENTION SUR LE TERRAIN

VINCENT DELVIGNE, Service de Préhistoire de l'Université de Liège et UMR 5199 - PACEA ;
Stéphane Gaillot, Service Archéologique de la Ville de Lyon ;

AUDREY LAFARGE, UMR 5140 – archéologie des sociétés méditerranéenne ;

HAROLD LETHROSNE, Sarl Paléotime et UMR 8215 - Trajectoire ;

JÉRÉMIE LIAGRE, Service archéologique de la Ville de Lyon ;

MICHEL PIBOULE, sans rattachement ;

ANTONIN TOMASSO, CEPAM - UMR 7264 et Tracéolab de l'Université de Liège ;

SYLVIE COUSSERAN-NÉRÉ, INRAP Rhône-Alpes-Auvergne et UMR 8215 - Trajectoire ;

EYMERIC MORIN, INRAP Rhône-Alpes-Auvergne et UMR 7324 - CITERES ;

JOCELYN ROBBE, Sarl Paléotime et UMR 5608 – TRACES ;

PAUL FERNANDES, Sarl Paléotime et UMR 5199 – PACEA ;

CÉLINE BRESSY-LÉANDRI, Service régional de l'archéologie de Corse et UMR 5608 – TRACES ;

XAVIER DEPARNAY, Sarl Paléotime ;

ERWAN VAISSIÉ, UMR 5199 – PACEA ;

JEHANNE AFFOLTER, Université de Neuchâtel,

JEAN-PIERRE PLATEL, sans rattachement.

REBECCA WRAGG-SYKES, UMR 5199 - PACEA

EMANUELLE DEFIVE, UMR 6042 - GEOLAB

RENÉ LIABEUF, sans rattachement

ÉQUIPE D'INTERVENTION EN LABORATOIRE

PATRICK SCHMIDT, Muséum national d'Histoire naturelle et Université de Tübingen ;

FRANÇOIS FRÖHLICH, Muséum national d'Histoire naturelle ;

FRANÇOIS-XAVIER LE BOURDONNEC, UMR 5060 - IRAMAT – CRP2A ;

STEPHAN DUBERNET, UMR 5060 - IRAMAT – CRP2A ;

Médard Thiry, sans rattachement ;

CHRISTOPHE TUFFÉRY, INRAP Île de France ;

PASCAL TALLET, Sarl Paléotime ;

ALAIN QUEFFELEC UMR 5199 - PACEA ;

JÉRÉMIE JACQUIER, UMR 6566 – CreeAH ;

GUIREC QUERRÉ, UMR 6566 – CreeAH ;

PIERRE GUIBERT, UMR 5060 - IRAMAT – CRP2A

LUC MOREAU, Université de Cambridge ;

MICKAËL GUIAVARC'H, UMR 6566 – CreeAH.

STÉPHANE RENAULT, UMR 5594 - LAMPEA

CONSULTANTS ARCHÉOLOGUES

MARIE-HÉLÈNE MONCEL, Musée National d'Histoire Naturelle ;

JEAN-PAUL RAYNAL, UMR 5199 - PACEA et Max Planck Institut de Leipzig ;

ALAIN TURQ, UMR 5199 - PACEA ;

DIDIER BINDER, UMR 7264 - CEPAM ;

ANNE DELAGNES, UMR 5199 PACEA ;

ANDRÉ MORALA, UMR 5199 – PACEA ;

PASCAL FOUCHER, Service régional de l'archéologie de Midi-Pyrénées et UMR 5608 – TRACES ;

FRÉDÉRIC BAZILE, UMR 5140 – archéologie des sociétés méditerranéenne ;

PIERRE-JEAN TEXIER, UMR 5594 - LAMPEA ;

RÉGIS PICAVET, Sarl Paléotime et UMR 5594 – LAMPEA ;

MATHIEU LANGLAIS, UMR - 5199 PACEA ;

SANTAGATA CARMEN, UMR - 5199 PACEA

ALIX GIBAUD, UMR - 5199 PACEA ;
GRÉGOR MARCHAND, UMR 6566 – CreeAH ;

THOMAS PERRIN, UMR 5608 – TRACES ;

ANDRÉ DELPUECH, Musée de l'Homme ;

VANESSA LÉA, UMR 5608 – TRACES ;

PIERRE BINTZ, sans rattachement ;

ALAIN BEECHING, UMR 5133 – Archéorient ;

PATRICIA GUILLERMIN, Musée de Préhistoire
d'Ornac et UMR 5608 – TRACES ;

LORÈNE CHESNAUX, UMR 5608 – TRACES.

CAROLINE RICHE, UMR 7055 - PréTech

ADRESSES MAIL DES MEMBRES ET ACTEURS DU

affolterjs@bluewin.ch
celine.leandri@culture.gouv.fr
alain.beeching@univ-lyon2.fr
alain.queffelec@u-bordeaux.fr
alain.turq@culture.gouv.fr
andre.delpuech@mnhn.fr.
santagata.carmen@gmail.com
andre.morala@culture.gouv.fr
antonin.tomasso@cepam.cnrs.fr
caroline.riche@inrap.fr
christophe.Tuffery@inrap.fr
didier.binder@cepam.cnrs.fr
evaissie77@gmail.com.
eymeric.morin@univ-tours.fr.
fredericbazile2@gmail.com
frohlich@mnhn.fr
gregor.marchand@univ-rennes1.fr
guibert@u-bordeaux-montaigne.fr
guirec.querre@univ-rennes1.fr
harold.lethrosne@inrap.fr
jacquier.jeremie@gmail.com
jeremie.liagre@mairie-lyon.fr
Jocelyn.robbe@paleotime.fr
jpraynal@wanadoo.fr
medard.thiry@mines-paristech.fr
moncel@mnhn.fr
mouf331@gmail.com
pascal.tallet@paleotime.fr
patrick.schmidt@uni-tuebingen.de
pbintz@wanadoo.fr
piboulemichel@gmail.com
platel.expert@orange.fr
renault@msh.univ-aix.fr
stephane.gaillot@mairie-lyon.fr
tperrin@univ-tlse2.fr
vanessa.lea@univ-tlse2.fr
vincent.delvigne@hotmail.fr
lm704@cam.ac.uk
rwragsykes@gmail.com
emmanuelle.defive@orange.fr
maufhisti@gmail.com
caroline.riche@inrap.fr.
xavierdeparnay@hotmail.com.



PRÉFET DE LA RÉGION AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Direction régionale
des affaires culturelles

Pôle *Architecture et patrimoines*
Service régional de l'archéologie
Affaire suivie par : Laure DEVILLARD
☎ : 04 72 00 44 66
✉ : laure.devillard@culture.gouv.fr

Lyon, le 12 avril 2017

Le Préfet de la région Auvergne - Rhône-Alpes
à
Monsieur Paul FERNANDES
28, place des Martyrs
38250 VILLARD-DE-LANS

Commission interrégionale de la recherche archéologique

Objet : **opérations programmées 2017**
PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne-Rhône-Alpes »
(2017/523 code opération PATRIARCHE 2211841)

Réf : 2017/3493/FL/LD

P.J. : extrait du PV

Monsieur,

Vous êtes titulaire d'une autorisation programmée pluriannuelle (2015 - 2017) concernant le PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne-Rhône-Alpes ».

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 4, 5 et 6 avril 2017, je suis favorable à la poursuite de ce projet.

L'extrait du procès-verbal concernant votre dossier vous sera transmis ultérieurement.

En ce qui concerne les crédits une somme de **9.500€** vous a été réservée pour le fonctionnement. Vous voudrez bien ne faire aucune dépense tant que cette somme n'aura pas été notifiée au gestionnaire de la subvention.

Je reste à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Je vous prie d'agréer, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

Pour le préfet de région, le directeur régional des affaires culturelles,
et par délégation,
Le Conservateur régional de l'archéologie

Frédéric LETTERLÉ

Remerciements

Ce rapport est la suite logique du travail collectif initié par Pierre Bintz dès les années soixante-dix. Il présente un état de l'art des quatre principaux objectifs du PCR : i) réaliser un inventaire du domaine minéral exploitable à l'échelle suprarégionale, ii) innover dans l'approche dynamique des propriétés des matériaux silicifiés, iii) diffuser et harmoniser les méthodes de caractérisation et iv) aider à l'expertise du mobilier archéologique.

J'adresse mes remerciements au Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne - Rhône-Alpes (Ministère de la Culture et de la Communication) incarné en la personne de M. le Conservateur Frédérik Letterlé pour le soutien constant accordé au projet depuis sa création en 2006. Je tiens à adresser toute ma reconnaissance aux Conseils généraux de l'Ain, de l'Isère et de la Savoie et à la SARL Paléotime pour les subventions qu'ils ont attribué au fonctionnement et ce malgré leurs difficultés actuelles. Ce programme a tiré avantage des supports scientifiques et logistique des laboratoires CEPAM - UMR 7264 de l'Université Nice, PACEA - UMR 5199 et l'IRAMAT CRP2A - UMR 5060 de l'Université de Bordeaux, LAMPEA - UMR 7269 de l'Université d'Aix-Marseille et du CReAAH - UMR 6566 de l'Université de Rennes.

J'exprime toute ma gratitude à tous les membres du PCR qui œuvrent à l'élaboration d'un outil de travail méthodologique d'inventaire et de cartographique à l'échelle du sud de la France. Je remercie l'ensemble des intervenants archéologues, géologues, minéralogistes et géographes qui ont fait bénéficier, une fois de plus, à ce PCR, désormais élargi, leurs compétences respectives. Je tiens ainsi à exprimer toute ma gratitude à Jean-Paul Raynal, Pierre Bintz, Vincent Delvigne, Christophe Tuffery, Céline Bressy-Leandri, François-Xavier Le Bourdonnec, Patrick Schmidt, Alain Queffelec, Stephan Dubernet, Mathieu Langlais, Alix Gibaud, Jérémie Jacquier, Thomas Perrin, Jérémie Liagre, Jean-Pierre Platel,

Xavier Deparnay, Sylvie Coussran-Neret, Eyméric Morin, Alain Turq, André Delpuech, André Morala, Frédéric Bazile, Catherine Grünwald, Jehanne Affolter, Jocelyn Robbe, Caroline Riche, Sébastien Bernard-Guelle, Stéphane Gaillot, Philippe Dessaint, Régis Picavet, Michel Piboule, Alain Beeching, Antonin Tomasso, Jacques-Léopold Brochier, Marie-Hélène Moncel, Pascal Tallet, Jean-Baptiste Caverne et René Liabeuf, qui par leurs travaux, leurs conseils ou leurs participations ont facilité la réalisation de ce rapport. Les données ainsi obtenues doivent autant à cette approche collective et harmonisée qu'aux soutiens des diverses institutions déjà citées. Ceux de Vincent Berjot (DGP), de Benoit Kaplan, Bernard Randoïn et Geneviève Pinçon (Sous-direction de l'archéologie), de Frédérik Letterlé, Franck Leandri, Nathalie Fourment, Christian Verjux, (conservateurs régionaux de l'archéologie), de Didier Binder (CEPAM, UMR 7264), Jean-Pierre Bracco (LAMPEA, UMR 7269), d'Anne Delagnes (PACEA - UMR 5199), de Guirec Querré et Grégor Marchand (CReAAH, UMR 6566), de Patricia Guillermin (conservatrice du Musée de la Cité de la Préhistoire à Orignac), de Jean-Jacques Cleyet Merle (conservateur du Musée national de la Préhistoire Les Eyzies-de-Tayac-Sireuil) ont été décisifs dans la concrétisation d'un tel projet. Les résultats obtenus doivent beaucoup aux conseils prodigués par Christophe Tufféry, Davtian Gourguen, Marie-Hélène Moncel, Jean-Paul Raynal et Michel Piboule. Il a aussi fallu toute l'attention et l'ingéniosité d'Audrey Lafarge, de Pascal Tallet et de Jean-Baptiste Caverne pour trouver des solutions à tous les problèmes techniques et informatiques.

Enfin je remercie vivement les équipes de l'ADRAS, l'AVDPA et de l'ALPARA qui ont assuré la gestion des crédits. Ma gratitude va en particulier à Michel Chevrier, Pierre Bintz et Gilbert Pion.

Paul Fernandes



Rapport d'opération :
Réseau de lithothèques en
Auvergne - Rhône-Alpes

1. Présentation de l'opération

1.1. ÉTAT DE L'ART

Ce rapport vient conclure un programme triennal (2015-2017) riche en regroupements et résultats. Il s'inscrit dans une volonté de faire progresser la recherche sur les modes d'exploitation des ressources minérales et sur la territorialité des groupes humains préhistoriques. Le PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne Rhône-Alpes » est étroitement associé aux autres programmes déjà en place (Nouvelle Aquitaine, Centre Val-de-Loire) et participe à la création de nouveaux programmes plus ou moins aboutis (en Île de France, PACA et Bretagne). La démarche commune poursuivie au cours de ces trois années est soutenue par les deux instituts du CNRS (InEE et InSHS), plusieurs Universités (Bordeaux, Bordeaux Montaigne, Nice, Rennes 1, Savoie-Mont-Blanc), la Sous-direction de l'Archéologie, les directions régionales des affaires culturelles (DRAC) concernées, le Centre National de Préhistoire de Périgueux (CNP), plusieurs musées nationaux ou départementaux, la direction scientifique de l'Inrap et la Société Paléotime. L'enquête nationale diffusée à partir de 2016 dans tous les UMR d'archéologie à l'initiative de C. Bressy-Léandri, Paul Fernandes, Didier Binder et Jean-Paul Raynal, qui avait pour but d'identifier les personnels impliqués dans la recherche sur les géomatériaux a confirmé l'adhésion d'une très large communauté au renouvellement conceptuel et méthodologique induite par "la chaîne évolutive". Cette synergie constitue un des principaux enjeux des études actuelles concernant les sociétés paléolithiques et néolithiques. La caractérisation précise des ressources fixes et notamment des roches siliceuses qui forment l'essentiel des équipements préhistoriques parvenus jusqu'à nous, revêt un intérêt de plus en plus prégnant en ce qu'elle permet de dessiner des espaces parcourus et, couplée à la technologie lithique, d'identifier des

modes de transport des artefacts. Ces réalités renseignent sur les formes sociales et les régimes de mobilité des groupes humains, permettant de matérialiser des processus d'interaction qui mettent parfois en jeu des entités culturelles perçues comme distinctes.

Le travail des membres du programme a permis la consolidation d'une structure coopérative de recherche à l'échelle régionale sur la caractérisation de la provenance des silex et leur évolution postdépositionnelle. Désormais, la perspective de participer à la structuration d'une communauté nationale peut devenir une réalité. A ce titre, un projet de GDR coordonné par C. Bressy-Léandri (membre du PCR) sera déposé en 2018. Ce groupement de recherche aura vocation à articuler à l'échelon national de nombreuses initiatives, anciennes ou récentes, jusqu'à présent diversement connectées les unes aux autres. Ces deux démarches complémentaires se fondent sur plusieurs modes d'action (cf. *infra*) :

- Axe 1 : prospections, inventaires et développement de l'outil lithothèque ;
- Axe 2 : pour une vision renouvelée de la caractérisation des silex : développements méthodologiques et cas d'étude ;
- Axe 3 : Harmonisation des fiches d'inventaire, de caractérisations pétrologiques et géochimiques au service du développement de l'outil cartographique ;
- Axe 4 : Applications : travaux menés sur le mobilier archéologique régional et extra régional ;
- Axe 5 : Valorisation des résultats : mise en réseau et mutualisation des bases de connaissance afin de créer un pôle de compétences pluridisciplinaire régional intégrable au projet national.

1.2. HISTORIQUE

La volonté de déterminer l'origine des matières premières est aussi ancienne que les premières recherches des préhistoriens, en sont pour preuve les déterminations pertinentes des fondateurs : Damour (1865), de Chasteigner (1868), Vinay (1867), Lartet et Christy, (1864), Boule (1892).

Une mise au point méthodologique vient ensuite d'Allemagne et d'Europe de l'est dès les années trente avec comme aboutissement la création du premier *Flint Symposium* à Maastricht en 1969. En France, le mouvement s'organise à partir des années cinquante (Bordes et Sonneville-Bordes, 1954). Depuis la fin des années 1970, un ensemble de travaux internationaux a jeté les bases d'une néo-discipline baptisée pétroarchéologie (Stelcl et Malina, 1970), terme repris par Masson (1981) dans l'intitulé de sa thèse. De nouvelles bases méthodologiques sont ainsi posées et la discipline, devient l'une des branches de l'archéologie préhistorique sans pourtant qu'aucun réel consensus ne s'établisse entre les différents acteurs.

A la même époque, en parallèle - ou de manière croisée - sous l'impulsion de l'école Anglo-saxonne, les recherches se sont concentrées sur la caractérisation géochimique des silex (Sieveking et al. 1972). Cependant, nombres de ces études ont donné des résultats mitigés et il n'est pas toujours facile, à quelques exceptions (Bressy, 2002 ; Sanchez de la Torre et al. 2017), d'identifier un marqueur géochimique propre à une aire géographique restreinte. Malgré le développement des analyses bivariées et des techniques peu ou pas destructives ces études restent dans une phase exploratoire (Fernandes et al. soumis), car jusqu'à présent aucune anomalie discriminante n'a pu être réutilisée dans le cadre d'une autre étude.

Dans ce climat scientifique global où la pétroarchéologie dérive souvent vers le tout géochimique, il est nécessaire de rappeler que l'approche naturaliste est un pré-requis obligatoire. Un groupe de chercheurs fut donc créé sur la base d'une cooptation libre. Dans le but d'améliorer l'approche classique élaborée par M. et MR. Séronie-Vivien (1987), cette équipe a entrepris d'initier un nouveau mouvement en y ajoutant le concept de chaîne évolutive (Fernandes et Raynal, 2006).

Depuis 2000, ce renouvellement méthodologique a permis d'accroître nos connaissances sur le positionnement et la nature des silex en utilisant leur capacité à enregistrer les processus pédologiques et climatiques. Les travaux

traitant de l'évolution postgénétique des silex aboutissent au constat suivant : la variété des stades de transformation n'est pas aléatoire. Chaque type d'environnement impose une série de traits communs. On observe ainsi des polarités dynamiques dans la distribution entre les types génétiques et les faciès gîtologiques issus des formations secondaires. Ces dernières représentent autant de gîtes potentiels de collecte pour un même type de silex et sont considérées comme le maillon d'une chaîne évolutive (Fernandes, 2006, 2012 ; Thiry et al. 2014).

En 2006 le groupe s'associe au PCR « Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes » (coordonné par C. Bressy puis P. Fernandes à partir de 2009). Cette union déterminante, fut la première étape, le terrain d'essai, de la démarche engagée à l'heure actuelle en permettant notamment d'améliorer les connaissances sur les formations à silex, de refonder les méthodes de caractérisation, d'harmoniser les systèmes de bases de données et d'optimiser les dispositifs d'accès à la documentation. Concrètement, ce travail s'exprime dès 2009 par l'amélioration du mode de géoréférencement des gîtes, non plus sous la forme d'affleurements ponctuels, mais sous celle de polygones représentant l'ensemble de la formation contenant des silicifications. Cette démarche, qui a fusionné des données accumulées durant une dizaine d'années par différents chercheurs permet aujourd'hui de visualiser la dispersion théorique de chaque type de silex dans les gîtes secondaires.

En 2010, pour des raisons propres à l'étude de certaines séries archéologiques, le projet a progressivement débordé le cadre régional de départ sur plusieurs anciennes régions périphériques (Auvergne, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Aquitaine, Centre). Outre l'optimisation de différentes lithothèques avec cette méthode d'analyse renouvelée et leur mise en réseau progressive dans le cadre d'un SIG suprarégional, notre démarche a abouti à la constitution d'un atlas des microfaciès comprenant aujourd'hui plus de 500 types et d'une base de données géoréférencées des formations à silex du sud de la France comprenant plus de 3800 polygones. Cette base harmonisée et cet atlas, fruit d'une collaboration intense entre acteurs impliqués dans la problématique de caractérisation des provenances des silex, sont nécessaires au développement d'études interrégionales sur la circulation des silex à longue distance. Ils regroupent les résultats de leurs prospections systématiques ou ciblées dans cinq régions : Nouvelle Aquitaine, Provence - Alpes - Côte d'Azur, Auvergne-Rhône-Alpes, Île-de-France et Centre-Val de-Loire. Cet inventaire

intègre en outre le dépouillement d'un grand nombre de documents : i) les principaux articles et thèses traitant des formations à silex du sud de la France ; ii) plus de 1250 fiches issues de la base de données du sous-sol BSS du BRGM permettant de visualiser des logs ou des documents scannés et iii) 529 cartes géologiques à 1/50 000 et leurs notices.

A partir de 2012, les membres du PCR ont fait le choix de renforcer les collaborations (géologues, archéologues, prospecteurs) en favorisant les occasions de rencontre entre membres des autres projets en place dans diverses régions. La réunion de travail organisée par D. Binder lors d'une séance internationale de la Société préhistorique de France à Nice en mars 2013 fait partie de cette démarche. À la suite de celle-ci, une série de réunions de travail a été organisée au Musée national de Préhistoire (les Eyzies-de-Tayac, Dordogne) afin de présenter le bilan et les perspectives du projet de création d'un outil commun de cartographie et de caractérisation des silex aquitains aux acteurs de la recherche en pétroarchéologie dans le sud-ouest de la France. Actuellement, ce projet dispose d'une carte numérique, d'une base de données des formations à silex et d'un catalogue des principaux types de silex pour la Dordogne. Ce dernier est constitué de notices descriptives intégrant les différentes caractéristiques permettant la discrimination des types (minéralogie, pétrographie, micropaléontologie et micromorphologie des surfaces).

Tous ces efforts ont permis d'établir un inventaire des silex présents en Auvergne-Rhône-Alpes et d'améliorer le protocole de caractérisation au fil des problèmes rencontrés. Avec les travaux de thèse de Fernandes (2012), Tomasso (2014) et Delvigne (2016) de nouvelles démarches sont disséminés. L'altération et les éléments détritiques des silex sont utilisés pour dépasser la simple gîtologie de la formation géologique d'origine et ainsi aboutir à une gîtologie des formations superficielles. Le silex est dès lors inscrit dans un itinéraire propre qui permet de mieux appréhender les lieux précis et les modalités de prélèvement par les hommes. À l'heure actuelle, nous considérerons que la phase d'inventaire des ressources sur le terrain doit désormais être ralentie pour privilégier l'étude des matériaux géologiques et archéologique déjà disponibles.

En parallèle, nous avons décidé à partir de 2013 de structurer le projet à l'échelle nationale (puisque nous travaillons sur une grande partie du sud de la France) tout en poursuivant les objectifs des années précédentes : élaboration des atlas régionaux ; amélioration du géoréférencement

des formations à silex dans le sud de la France ; diffusion à tous les acteurs intéressés des bases de données et cartes existantes.

Ce souhait d'une ouverture de la démarche à d'autres domaines et d'harmonisation des méthodes d'études prenant place dans un cadre plus formel à commencer à prendre forme au cours de l'année 2014. Il s'exprime notamment au travers de la tenue de deux réunions à la Sous-direction de l'Archéologie (voir rapport 2014) ayant conclu à la possibilité de créer divers PCR dans les régions intéressées sous l'appellation générique « Réseau de lithothèques » en se fondant sur le retour d'expérience du PCR déjà en place depuis une dizaine d'année en Rhône-Alpes. Dans cette optique et suite à des réunions avec les partis concernés, l'équipe a proposé la création de plusieurs PCR en s'appuyant sur des référents ad hoc dans chaque région (Auvergne, Centre et Aquitaine).

Cette même année, le PCR « Réseau de lithothèque en Rhône-Alpes » a encadré un diplôme d'ingénieur du CNAM en collaboration avec l'ESGT du Mans (Dalphinnet, 2014). Ce travail a permis de visualiser, dans la zone du Mont Ventoux, les potentiels parcours que peuvent prendre les silex lors de leur transport dans les différents cours d'eau.

Depuis 2014, le projet fédère le MCC (la Sous-direction de l'Archéologie, le CNP, les SRA : Rhône-Alpes, Auvergne) plusieurs laboratoires du CNRS (CEPAM, PACEA, LAMPEA, MINES - PARIS Tech, GEOLAB), des universités (Nice, Bordeaux I, Bordeaux-Montaigne et Aix-Marseille), plusieurs programmes collectifs de recherches (« Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes », « Espaces et subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central » et « ETICALP : Evolutions, transferts, inter-culturalités dans l'arc liguro-provençal. Matières premières, productions et usages, du Paléolithique supérieur à l'âge du Bronze ancien »), la société Paléotime et l'INRAP.

En 2015, le projet de constitution d'un PCR Réseau de lithothèque en Auvergne a obtenu un avis favorable. Il a été dirigé par P. Fernandes avec V. Delvigne comme référent. La même année une convention a été signée entre le laboratoire bordelais IRAMAT-CRP2A et la société Paléotime, sur l'ensemble des champs de recherche communs aux deux parties et plus précisément sur l'axe de recherche « de la source à l'objet ».

Toujours en 2015 les membres du PCR ont participé à d'autres opérations : participation à la demande de PCR « Constitution d'une "pigmentoθήque" » (sous la direction de H. Salomon), au projet

« Traceterre - Tracing Neanderthal Territories » (sous la direction de R. Wragg-Sykes), ainsi qu'au projet « Datation grottes ornées (la Grotte aux Points sur la commune d'Aiguèze) » (sous la direction de Julien Monney).

Le projet de constituer un maillage de PCR « Réseau de Lithothèques » pour chaque région, dirigé par un représentant reconnu localement et coordonné par un groupement de recherche national est apparu après plusieurs réunions comme étant la solution idoine. Fin 2015, l'intensification des collaborations interdisciplinaires a conduit à la création de deux nouveaux PCR l'un en région Nouvelle Aquitaine et l'autre en région Centre-Val de Loire, ainsi qu'à la promotion de rencontres scientifiques autour de questions novatrices et extrêmement stimulantes qui ont suscité une large adhésion au sein de la communauté des préhistoriens (voir Ecole thématique du CNRS de Nice). En Nouvelle Aquitaine le PCR est coordonné par André Morala avec Paul Fernandes, Alain Turq et Vincent Delvigne comme référents (tous, membres du PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne Rhône-Alpes ») et en région Centre-Val de Loire, il est coordonné par Vincent Delvigne avec Raphaël Angevin, Paul Fernandes et Harold Lethrosne comme référents.

Toutes ces actions ont permis d'organiser une École Thématique intitulée « SILEX- Nouvelle méthode de caractérisation des silex et silcrètes fondée sur leurs interactions avec l'environnement » tenue à Nice du 21 au 25 novembre 2016, organisée par Didier Binder et Paul Fernandes. Certains membres du PCR y ont participé en tant qu'intervenant (Vincent Delvigne, Jean-Paul Raynal, Michel Piboule, Médard Thiry, Patrick Schmidt). L'école portait sur l'initiation et la mise à jour des connaissances en matière de caractérisation des silex utilisés, avec pour objectif de faire connaître les avancées conceptuelles et les méthodes de caractérisation récemment élaborées, d'en favoriser la diffusion dans la perspective d'une harmonisation, d'une mise en réseau puis d'une mutualisation des référentiels de géomatères lithiques. Ce mode de transmission des savoirs a fait des émules puisque des écoles et séminaires ayant trait à la caractérisation des silicites se sont tenus en février 2017 à Orgnac-l'Aven, en septembre 2017 à la base INRAP de St-Cyr-en-Val et une nouvelle formation est prévue en mars 2018 à la base CNRS de Cuiry-les-Chaudardes.

L'outil de diagnose ainsi disséminé auprès des personnels concernés et utilisé par certains membres des PCR a fait ces preuves au cours des trois années écoulées. Il élargit à la préhistoire les raisonnements sur le rapport entre silex et environnements et paraît être le moyen de réunir

de façon raisonnée les différentes approches. En effet, que les diagnostics soient pétrologiques ou physico-chimiques, ils nécessitent une prise en compte à haut niveau des processus d'altération générés par la redistribution des matériaux dans l'environnement et susceptibles de modifier radicalement certains aspects des géomatères comme des objets archéologiques (Burke, 2008). Cette avancée méthodologique, construite par les membres du PCR permet de sortir de nombreuses impasses en termes de caractérisation de la provenance des matériaux siliceux.

Ce programme est à la fois bien positionné sur une démarche novatrice et en interaction forte avec des thématiques portées par plusieurs laboratoires représentant plusieurs disciplines. Son originalité est de présenter des qualités dans les domaines de l'expérimentation, de la mise en réseau et de la mutualisation des bases de connaissance. Grâce à nos contributions et nos collaborations, la pétroarchéologie bénéficie d'une avancée significative fondée sur l'étude des transformations des matériaux siliceux imposées par leurs différents environnements de résidence. L'étude des processus mécaniques et physico-chimiques responsables de l'altération des silicites permet d'affiner la détermination des origines stratigraphiques et gîtologiques. Les séries lithiques participent ainsi à la reconstitution des comportements et à l'étude taphonomique des sites archéologiques. En outre, l'établissement d'une chronologie relative des phénomènes facilite l'étude technologique et l'analyse diacritique des états de surface permet de présélectionner des objets pour l'étude tracéologique. La mise en corrélation des résultats obtenus permet d'avancer dans la compréhension des mécanismes à l'origine de l'altération des silex en position naturelles et des objets archéologiques. Nous avons ainsi commencé à constituer un procédé de quantification de la transformation de la structure et de la composition initiale. A cet égard, les données acquises entre 2015 et 2017 ouvrent de nouvelles perspectives interdisciplinaires de recherche dans le domaine de l'origine des matériaux, des comportements techno-économiques et de l'intégrité des sites.

2. Bilan d'activité

Cette année le PCR a été financé par le Ministère de la Culture et de la communication, les Conseils généraux de l'Ain, de la Savoie, de l'Isère et la SARL Paléotime dans le cadre des opérations programmées. Grâce à ces financements et les contributions des membres du programme, nous pouvons présenter un bilan de fin de triennale riche en avancées. Cette opération s'inscrit dans une démarche qui atteint progressivement son plein développement. La maturité du groupe a permis de mettre en place un réseau régional et extrarégional robuste. On peut déjà avancer les points positifs suivants : i) des résultats significatifs au niveau régional pour plusieurs thématiques déjà bien avancées : inventaire des lithothèques, travaux menés sur les mobiliers archéologiques, sur la caractérisation fine des types marqueurs et la constitution de cartes SIG dynamiques ; ii) l'innovation dans l'approche pluridisciplinaire et multiscalair des propriétés des matériaux siliceux ; iii) l'adhésion d'une partie de la communauté scientifique concernée au projet développé au sein du PCR par une diffusion accrue des connaissances. En outre, la qualité des publications interdisciplinaires témoigne du dynamisme de l'activité (voir *infra*). Tous ces résultats mettent l'accent sur le fait qu'il est, à notre avis, souhaitable de maintenir cette synergie.

2.1. AXE 1 : PROSPECTIONS, INVENTAIRES ET DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL LITHOTHÈQUE

Depuis 2015, nous tentons de fédérer, harmoniser et restructurer certaines lithothèques du sud-est de la France. A la fin des trois prochaines années, elles devront, au moins pour les silex marqueurs, représenter fidèlement l'ensemble des chaînes évolutives. L'inventaire des sources de silex ne doit pas se résumer à un simple exemplaire

stratigraphique. Par l'archivage des matériaux d'une même séquence évolutive, témoignée en particulier par les états de surface, la lithothèque devient un référentiel paléogéographique au service de l'archéologue. Il y trouve pour chaque faciès génétique et gîtologique enregistré, un échantillon à chaque échelle (blocs, fragments métallisés ou non, lames minces à 30 et 300 µm, talons) témoignant des transformations successives. La lithothèque contient alors des données mieux adaptées à la résolution des problèmes de provenance. Elle n'est pas seulement une compilation de points géoréférencés, elle livre des informations précises sur les aires de dispersion propres à chaque silex présent dans le secteur étudié. Peu à peu les contributeurs sont informés sur la nécessité de mettre en place ce mode d'inventaire. Nous comptons fortement sur le futur GDR Silex qui aura pour vocation d'articuler à l'échelon national ce type de pratiques.

2.1.1. PROSPECTIONS DANS LA VALLÉE DU FURON (VERCORS NORD). ARCHÉOLOGIE ET GÉOLOGIE (JR)

En février 2010, la Commission Interrégionale de la Recherche Archéologique Centre-Est a manifesté le souhait que le site de la Grande Rivoire puisse être replacé dans un contexte archéologique, géologique et géographique élargi. Or, outre cet important gisement, seules quelques rares stations préhistoriques et protohistoriques étaient alors connues dans la vallée du Furon. Un accroissement du corpus des sites était donc nécessaire pour pouvoir appréhender les modes d'occupation et d'exploitation de ce territoire montagnard, principalement durant le Mésolithique, le Néolithique et les âges des Métaux, périodes bien représentées dans la séquence stratigraphique de la Grande Rivoire. Dans ce but, un programme de prospection a été

conduit de 2011 à 2013 dans la vallée du Furon, sous notre direction (Robbe, 2014).

L'ensemble du secteur de prospection a été exploré en trois campagnes entre 2011 et 2013. 44 sites potentiellement intéressants ont pu être recensés (figure 211.1). Les abris sous roche représentent 57% du corpus, les gisements de plein air 32% et les autres formations 11%. Les abris sous roche sont formés dans les bancs de calcaire à silex et de calcaire à lauzes grésoglaucioneuses (Notice géologique BRGM 3235). Lorsqu'ils sont formés dans les bancs de calcaire à lauzes grésoglaucioneuses les abris sont profonds et instables, car le calcaire se délite en plaquettes hétérométriques qui tombent du plafond et jonchent le sol. Certains abris offrent ainsi de bons remplissages exo-karstiques et diaclasiques enrichis par la chute régulière des plaquettes. Les abris formés dans les bancs de calcaire à silex - comme celui de la Grande Rivoire - ont des parois plus stables et bénéficient souvent d'un remplissage diaclasique latéral important. Il a été relevé que certains bénéficiaient d'un bourrelet formé par les dépôts gravitaires à l'aplomb du surplomb rocheux. Dans certains cas, les dépôts diaclasiques sont bien stabilisés par ce bourrelet ce qui évite leur dispersion dans la pente en contrebas de l'abri.

Étant donné l'interdiction de réaliser des sondages dans ce programme de prospection, fort peu de vestiges ont été découverts sous ces abris. S'ils renferment du matériel archéologique, ce dernier doit se trouver sous plusieurs mètres de sédiments comme c'est le cas à la Grande Rivoire. Un seul abri a révélé des traces d'occupations humaines : le « Goutte-à-Goutte » sur la commune d'Engins. Il s'agit d'un grand abri-sous-roche d'environ 200 mètres de long creusé dans les bancs de calcaire à lauzes grésoglaucioneuses. Une petite fouille clandestine signalée en 2000 par P.E. Biron est encore visible, on y lit une microstratigraphie de faible puissance. Nous y avons collecté deux tessons de céramique dont l'un à cordon digité à pâte fine, attribuable à l'âge du Bronze final ou à l'âge du Fer.

Les sites de plein air localisés sur des replats ont été paradoxalement plus difficiles à répertorier, car les phénomènes de dépôt et de recouvrement sont difficiles à caractériser sans effectuer de sondages. Nous avons néanmoins constaté que des sources étaient souvent associées à ces replats, les rendant particulièrement attractifs pour les hommes. Huit des 12 sites sur replat se situent à plus de 1000 m d'altitude et deux d'entre eux ont livrés des indices d'occupations humaines. Il s'agit des deux stations de Rochetières à Saint-Nizier-du-Moucherotte. Le premier site concerne

une parcelle de champ où 11 éclats bruts de silex ont été récoltés sur quelques mètres carrés. L'autre, situé en contrebas à proximité d'un petit étang, a livré dix éléments de silex taillés dans un talus emprunté par les troupeaux. Certains de ces éclats portent des traces d'utilisation. La formation morainique würmienne qui caractérise les sites pourrait assurer une datation holocène. Il y a donc manifestement sur ces plateaux un gisement de silex qui a été exploité durant la Préhistoire, selon des modalités qu'il reste à définir.

En dehors des abris et des replats, quelques sites particuliers ont également été répertoriés. Il s'agit d'une doline et de quelques diaclases qui auraient pu servir de lieux de sépultures ou de dépôts. Il est à noter finalement, la découverte d'un site d'art rupestre d'époque moderne étudié par Philippe Hameau. Les 44 sites (tableau 211.1) ont été recensés lors des campagnes de 2011 et 2012. Aucun site n'a été répertorié lors de la campagne de 2013 qui a concerné le secteur aval fortement urbanisé et occupé par les carrières Vica et Balthazard & Cotte.

Perspectives :

Concernant l'opération de prospection dans la vallée du Furon, il faudrait maintenant réaliser plusieurs opérations de sondages sur certains des sites recensés, en commençant par ceux qui ont livré des indices probants d'occupations. Nous pensons au plateau de Rochetière à Saint-Nizier-du-Moucherotte, où il faudrait préciser l'étendue et la chronologie de l'exploitation du silex ainsi que sa pétrologie et à l'abri du « Goutte-à-Goutte » à Engins qui pourrait présenter une séquence stratigraphique développée, comparable à celle de la Grande Rivoire. Par la suite, quelques sondages sur les replats associés à des sources devraient également fournir des résultats positifs. Les données fournies par ces sondages permettraient alors de préciser les modalités d'exploitations de la vallée du Furon durant la Préhistoire et la Protohistoire.

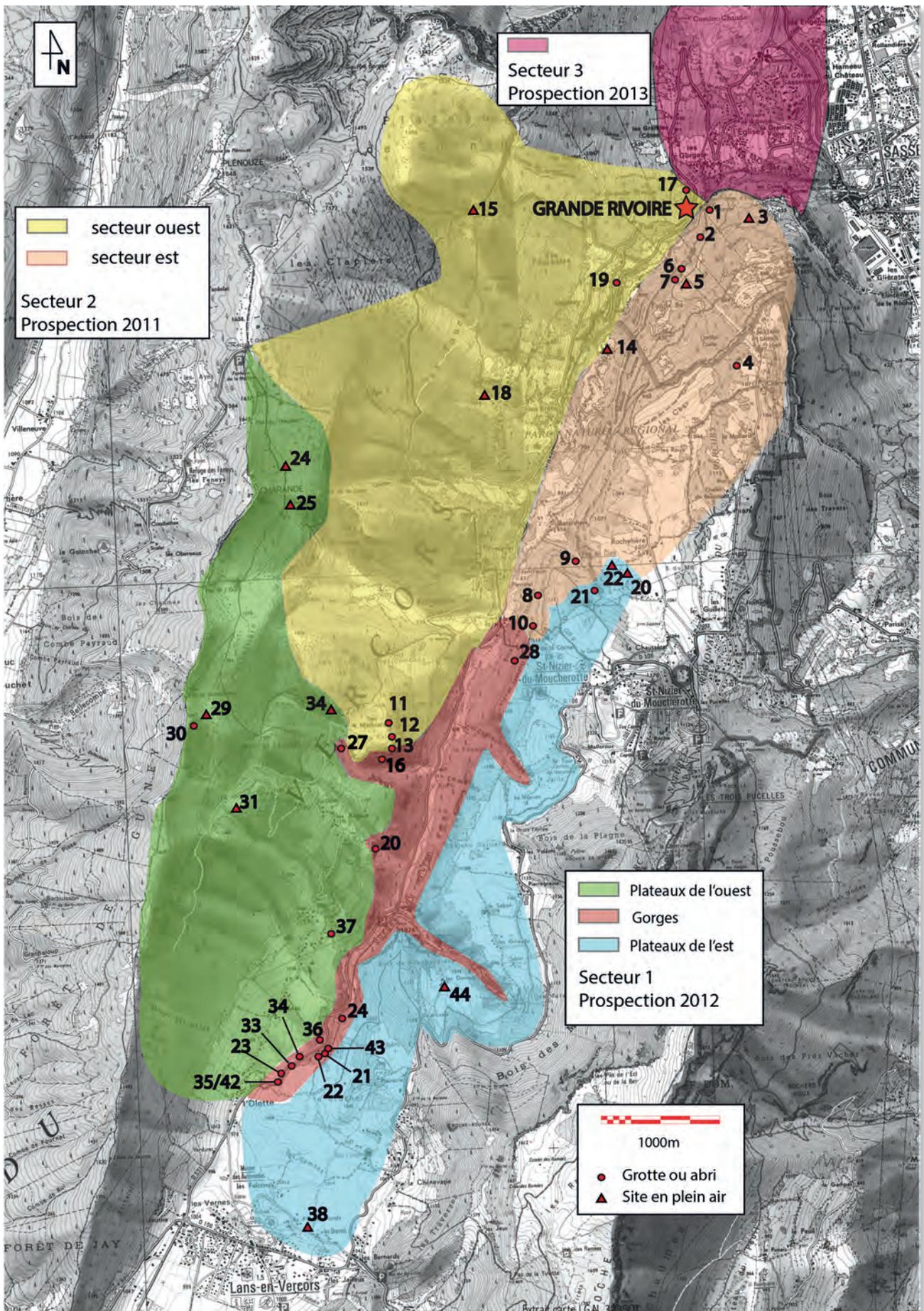


Figure 211.1 : Emprises des trois secteurs de prospection et numérotation des sites recensés de 2011 à 2013 ; les n° renvoient au tableau 211.1. DAO : J. Robbe et C. Bernard.

N° Sites	Nom du site	Communes	Type de site	latitude (décimale)	longitude (décimale)	altitude	Lambert II étendu : X	Lambert II étendu : Y
1	Au dessus du pont Charvet	Sassenage	Abri sous roche	45,206944	5,639722	521m	859497.75	2028384.67
2	Abri de la vache	Sassenage	Abri sous roche	45,203611	5,640556	600m	859578.8	2028017.24
3	Au dessus des côtes de Sassenage	Sassenage	Plein air	45,208056	5,6475	530m	860103.23	2028533.88
4	Barre rocheuse des Charvets	Saint-Nizier-du-Moucherotte	Abri sous roche	45,195556	5,645556	1060m	860009.07	2027139.12
5	Source du sanglier	Sassenage	Plein air	45,199167	5,6375	840m	859359.58	2027513.57
6	Abri Jumeau 1	Sassenage	Abri sous roche	45,200556	5,636389	810m	859265.86	2027664.18
7	Abri Jumeau 2	Sassenage	Abri sous roche	45,200556	5,636389	810m	859265.86	2027664.18
8	Diaclase 1	Saint-Nizier-du-Moucherotte	Diaclase	45,178333	5,623611	1100m	858365.76	2025153.84
9	Abri du Coulou	Saint-Nizier-du-Moucherotte	Abri sous roche	45,180278	5,6275	1100m	858662.21	2025382.65
10	Abri du Fangasset	Saint-Nizier-du-Moucherotte	Abri sous roche	45,171944	5,619722	1000m	858089.91	2024431.44
11	Sous les Merciers 1	Engins	Abri sous roche	45,169444	5,605456	1123m	856980.66	2024107.03
12	Sous les Merciers 2	Engins	Abri sous roche	45,169167	5,605833	1123m	857011.56	2024077.5
13	Diaclase 2	Engins	Diaclase	45,166667	5,606389	1156m	857066.8	2023801.64
14	Source de la ruine	Engins	Plein air	45,196667	5,630833	610m	858847.7	2027213.93
15	Hameau de Sornin	Engins	Plein air	45,207778	5,616944	1358m	857705.48	2028402.37
16	Figure de Chenevoye	Engins	Art rupestre	45,16664	5,611103	1000m	857431.58	2023813.82
17	Sous le Pylône	Sassenage	Abri sous roche	45,209444	5,639722	614m	859486.08	2028662.34
18	Ferme David	Engins	Plein air	45,193056	5,622778	800m	858231.92	2026786.37
19	L'usine	Engins	Abri sous roche	45,202778	5,632778	610m	858971.96	2027899.07
20	Abri du goutte-à-goutte	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,15897	5,60444	1072m	856849.22	2022940.35
21	L'Olette F	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14828	5,59989	957m	856640.98	2021738.14
22	L'Olette E	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14975	5,59972	1009m	856620.84	2021900.86
23	L'Olette B	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14786	5,59919	945m	856587.9	2021689.2
24	Grotte du Chamois	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14983	5,59981	990m	856627.54	2021910.04
25	La Molière 1	Engins	Plein air	45,18972	5,59472	1575m	856043.75	2026324.06
26	La Molière 2	Engins	Plein air	45,19986	5,59992	1567m	856405.38	2027467.26
27	Abri de la Buse	Engins	Abri sous roche	45,16661	5,60303	1100m	856803.14	2023784.33
28	Abri des torts	Engins	Abri sous roche	45,17417	5,62086	1080m	858168.98	2024682.42
29	La Molières 3	Engins	Plein air	45,17139	5,58803	1566m	856602.57	2024266.36
30	Abri Moly	Engins	Abri sous roche	45,17083	5,58628	1594m	856467.65	2024198.47
31	Au dessus des coins	Lans en Vercors	Plein air	45,16639	5,59239	1467m	855968.14	2023725.19
32	Les Merciers	Lans en Vercors	Plein air	45,17040	5,59529	1000m	856177.52	2024180.03
33	L'Olette C	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14236	5,59305	950m	856130.62	2021058.29
34	L'Olette D	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14264	5,59337	955m	856154.48	2021090.43
35	L'Olette A	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14139	5,59211	942m	856061.19	2020947.48
36	Fissure de la belleite	Lans en Vercors	Diaclase	45,14366	5,59628	949m	856378.53	2021213.21
37	Scolalet des Egrauds	Lans en Vercors	Doline	45,15333	5,59806	1000m	856473.86	2022293.08
38	Les petits Geymonds	Lans en Vercors	Plein air	45,13139	5,59500	1000m	856334.44	20219846.18
39	Rochetière Etang	Saint-Nizier-du-Moucherotte	Plein air	45,17982	5,63268	1037m	859071.24	2025348.84
40	Défilé du Coulou	Saint-Nizier-du-Moucherotte	Abri sous roche	45,17901	5,62815	1065m	858719.17	2025243.96
41	Rochetière Champ	Saint-Nizier-du-Moucherotte	Plein air	45,18017	5,63122	1047m	858954.92	2025382.9
42	L'Olette A'	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14139	5,59211	988m	856061.19	2020947.48
43	L'Olette G	Lans en Vercors	Abri sous roche	45,14953	5,59975	970m	856624.21	2021876.52
44	Les Donnets	Lans en Vercors	Plein air	45,14802	5,60972	1058m	857414.81	2021741.4

Tableau 211.1.1 : Noms et coordonnées des sites recensés lors des prospections de 2011 à 2013 qui présentent des caractéristiques propres aux occupations pré-ou protohistoriques. En gris : sites qui ont livré du mobilier.

2.1.2. MATÉRIAUX SILICEUX DE QUATRE SITES ATELIERS DU BOURBONNAIS ENTRE CHER ET ALLIER : PARTIE 1 : SINTERS, SILEX PERMIENS ET SILCRÈTES PALÉOGÈNES (MP, VD, PF, AL, JPR)

Les articles de V. Delvigne et *al.* (sous-presse) et de M. Piboule et *al.* (sous-presse) ont permis de présenter en 2016 lors du colloque de Préhistoire de Montluçon un inventaire des formations à silex au nord du Massif central et du sud du Bassin parisien. Il couvre quatre départements (Allier, Cher, Indre et Indre-et-Loire). Il repose sur des prospections de ces dernières années faites à la faveur de travaux effectués dans le cadre de thèses, de PCR et d'une collecte de matériaux siliceux pour alimenter une lithothèque basée à Laussonne. A la suite d'une réunion en 2017 et à la demande de certains chercheurs, il est apparu utile de compléter les deux publications par une documentation largement iconographique comportant des descriptifs des matières premières utilisées par les préhistoriques. Pour l'Allier, dans cette optique ce premier rapport présente quatre gîtes significatifs. Leurs matières siliceuses ont fait l'objet d'une exploitation et d'une utilisation parfois intensive par les hommes préhistoriques. Ces gîtes correspondent à des sites ateliers. Ce choix concerne les formations géologiques productrices de matériaux siliceux favorables à la taille et à la production d'outils. Pour ces raisons, les quatre gîtes ont été attractifs au Paléolithique moyen.

Pour ce rapport seules les formations géologiques du plateau bourbonnais - entre l'Allier et le Cher - ont été retenues pour le Moustérien en raison de la diffusion de certains de leurs matériaux. Elles concernent au Permien des matières premières rares issues de dépôts hydrothermaux de surface (sinters du gîte de Meillers) et des silex peu communs par leur histoire géologique du sud du Bassin Permo-Carbonifère de l'Aumance (chailles de Gipy). Les formations tertiaires offrent dans la région des silcrètes et des silex aux variétés multiples. Ces faciès significatifs du Bourbonnais central se différencient bien par leur genèse de ceux des bassins de la moyenne vallée du Cher (Montluçon-Domérat, Saulzais-le-Potier). L'abondance des matériaux sur ces ateliers - tant à Saint-Angel qu'à Saint-Bonnet-de-Fours - a permis aux Moustériens d'en privilégier certains. Dans cette optique de l'utilisation des silcrètes une typologie des matériaux s'est avérée utile ici dans un premier temps afin de les discriminer ensuite aux silex importés et abandonnés sur ces sites. Elle doit permettre en particulier de décrypter les choix et cerner les options concernant ces abandons.

Les sinters de Meillers

Les sinters ou geysérites sont des dépôts siliceux de sources chaudes et/ou de geysers liés à l'hydrothermalisme. Le gisement de Meillers (Allier) délivre des sinters d'âge permien consécutif à une décharge hydrothermale inféodée au sud du bassin de l'Aumance, bassin riche en sédiments détritiques et à dépôts volcano-détritiques subordonnés (Turland, 1990). Ces sinters ont été largement exploités au Moustérien en raison d'une assez bonne réponse mécanique à la taille.

La carrière de Meillers (située à La Bruyère-Chaumiaux) (X : 659.338 -Y : 2169.485) offre sur une vingtaine de mètres d'épaisseur des sinters variés. Deux niveaux d'épaisseurs sensiblement équivalentes ont été décrits. Le niveau supérieur comporte des faciès blancs à lamines construites par des stromatolithes et assimilés aux "quartzites" de Meillers (planche 1.1). Le niveau inférieur comporte des sinters plus sombres (planche 1.2, 1.7 à 1.12 et 2.1), souvent pyriteux, à structures hétérogènes, litées, bréchiques ou construites avec des encroutements stromatolitiques silicifiés (planche 1.11).

Latéralement à l'ensemble précédent et particulièrement au nord du gisement affleurent des sinters clastiques (planche 1.3), des grès et des brèches silicifiées. Ces matériaux sont riches en quartz détritiques et en débris de sinters. Malgré l'imprégnation par la silice hydrothermale, ils offrent des zones à très forte porosité. Les vides sont souvent partiellement colmatés à leur base par des dépôts siliceux lors de percolations hydrothermales tardives (dépôts géotropes : planche 1.4). Une silicification très invasive caractérise ces formations principalement gréseuses : ainsi le matériel détritique présente à la fois une composante terrigène (clastes de quartz) mais également une composante hydrothermale (fragments de sinters et ciment siliceux) liée à la proximité des sources d'eaux chaudes. Ces matériaux mixtes d'origine mixte sont interprétés comme les témoins latéraux d'une vallée largement occupée par des sources chaudes actives (Marcoux et *al.*, 2004). Des brèches et les grès sont également présents au toit de la formation (planche 1.3 à 1.6).

Les sinters de l'unité supérieure, principalement exploités dans la carrière de Meillers offrent de multiples faciès. Ils peuvent être classés simplement selon la proximité des sources chaudes en référence aux observations faites sur des geysers actifs à Yellowstone et en Islande (planche 2.1 à 2.5) (M.P., travail en cours). Les zones d'alimentation des sources chaudes et des domaines de suintements liés à des décharges ont également été reconnues (planche 2.4 à 2.7)

ainsi qu'une zone de source. Certains drains de circulation des eaux hydrothermales recoupent le litage des sinters. Leurs parois peuvent être tapissées d'encroutements stromatolitiques (planche 2.5 à 2.7) antérieurs à des dépôts ultimes de quartz.

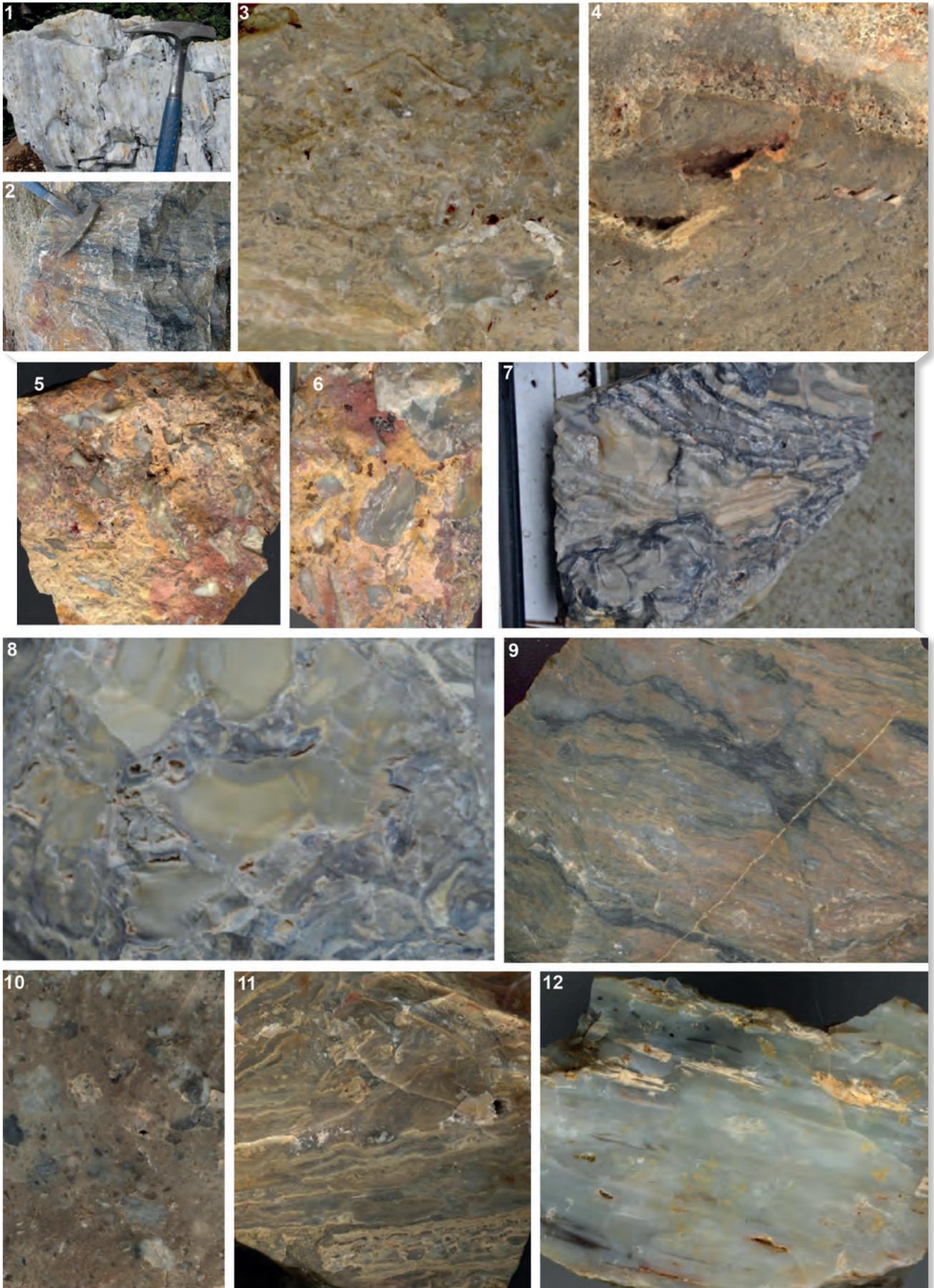
Les sinters blancs rubano-lités exploités par les préhistoriques - sont des constructions algales édifiées soit en bordure des vasques des geysers ou des sources chaudes pérennes, soit en aval dans des flaques alimentées régulièrement par des chenaux d'écoulement des eaux émises. Certains proviennent parfois des zones d'épandages de ruissellements périodiques favorables à un "détritisme" spécifique lié au remaniement des dépôts hydrothermaux antérieurs. Ces zones régulièrement exondées puis asséchées sont moins propices au développement des organismes bactériens ou algaires constructeurs. Enfouies, elles peuvent subir des cimentations siliceuses tardives liées aux percolations d'eaux chaudes. Dans les domaines des dépôts construits, plusieurs espèces d'algues et de cyanobactéries ont été décrites à Meillers par Freytet et *al.* (1999). A la suite de leur construction siliceuse ces matériaux témoignent d'une dissolution partielle et d'une mise en porosité avec la formation de réseaux complexes de circulation des eaux chaudes. Ces réseaux sont très riches en cavités et canalicules concordants ou non avec les lamines construites (planche 2.8 à 3.2). L'examen de détail des domaines poreux montre la présence systématique d'un tapissage des parois par des films des cyanobactéries (cf. Freytet et *al.*, 2000) exprimant des développements en milieux hydriques chauds et dépourvus de lumière. Ces cavités peuvent être tapissées par des cristaux de quartz tardifs. D'autres, moins fréquentes, sont colmatées par des dépôts siliceux fins (planche 3.7 et 3.8) souvent stratifiés qui obturent les anciens conduits hydrothermaux qui alimentaient les sources. Les fractures associées au réseau de décharge hydrothermale sont également scellées par ces dépôts de silice. Elles correspondent aux « chevelus » des filonets quartzeux qui recoupent les dépôts construits.

Parmi les silicifications particulières notons un matériau opalescent rappelant certains silex où le quartz semi-transparent inclus de grandes gerbes dendritiques fibreuses (planche 3.9 et 3.10). Ces dendrites ont été dissoutes et remplacées par le quartz juste après leur croissance squelettique rapide. La barytine est suspectée pour être la phase minérale dont le développement a été totalement inhibé à l'aube de sa formation. Notons parmi les filons tardifs l'existence de quelques filons fluorés et siliceux qui recoupent les sinters. Ils se reconnaissent par des *boxworks* cubiques

de fluorine (planche 3.5 et 3.6). Les fossiles sont présents dans les geysérites. La photo 3.11 (et son négatif 3.12) témoignent de la présence de restes d'une fougère permienne (pinule) trouvée dans les sinters supérieurs.

Planche 1 (ci-contre):

Meillers – 1. Sinters à lamines du niveau supérieur ; 2 : Sinters du niveau inférieur ; 3 : Sinters microbréchiques de la bordure nord du niveau supérieur (3.5x3.5 cm) ; 4 : Grès poreux à cavités à remplissages de base (toit du niveau supérieur) ; 5 : Brèche à éléments de sinter et quartz du toit du niveau supérieur(5.25x5.25 cm) ; 6 : Détail (4x5cm) ; 7 : Dépôt d'évent à éléments de sinter à stromatolites ; 8 : Sinter bréchiq ue à blocs siliceux zonés et cimentés par un dépôt de quartz gris ; 9 : Sinters à protolite argileux (5.7x4.5 cm) ; 10 : Microbrèche à clastes de quartz, fragments lithiques du substratum gréseux et de sinters laiteux ; 11 : Sinter à bloc concrétionné à stromatolitesencroûtants (à la base) et à mattes stromatolitiques ondulées (4.1x4.5 cm) ; 12 : Sinter finement lité à débris organiques noirs dans le ruban supérieur.



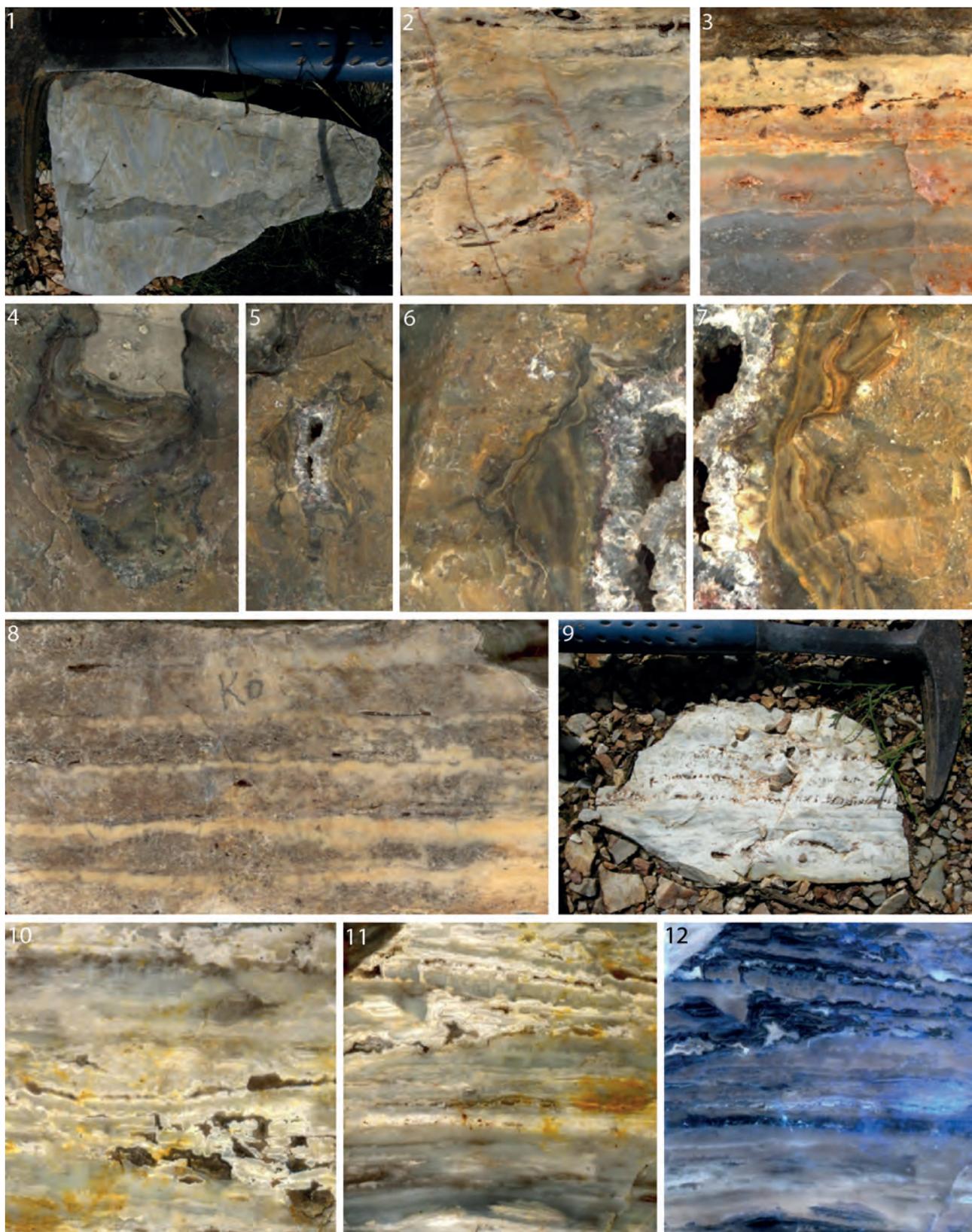


Planche 2 : Meillers ; Niveau supérieur – 1 : Sinter bréchiq ue à clastes en plaquettes tuilées (faciès bordier d'évent de geyser ; 2 : Sinter à lamines plissotées (faciès d'écoulement) (4x4 cm) ; 3 : Sinter à lamines d'écoulement à dépôts grano-classés (4.3x4.6 cm) ; 4 : Conduit de décharge colmaté à cyanobactéries (7.7x10 cm) ; 5 : Conduit tapissé de lamines algales et de quartz recoupant un sinter microbréchiq ue (3.7x7.7 cm) ; 6 et 7 : Détails du cliché précédent : le conduit est chemisé de lamines de cyanobactéries et tapissé intérieurement de quartz cristallin tardif (18 & 19 : 2.2x2.3 cm) ; 8 : Détail de lamines où alternent un matériel finement clastique et poreux (faciès d'écoulement) et des mattes algales de phases calmes (7.8x4.4cm) ; 9 : bloc de sinter à piliers stromatolitiques et vides alternant avec des lamines construites ; 10 : Sinter à vides de dissolution soulignés au toit et au mur par un film algal blanc (croissance des cyanobactéries dans l'eau chaude et l'obscurité) (2.3x2.1 cm) ; 11 et 12: Sinter à lamines à stromatolites en piliers (quart supérieur des clichés)(2.15x2.17 cm) (12 : cliché fausse couleur).

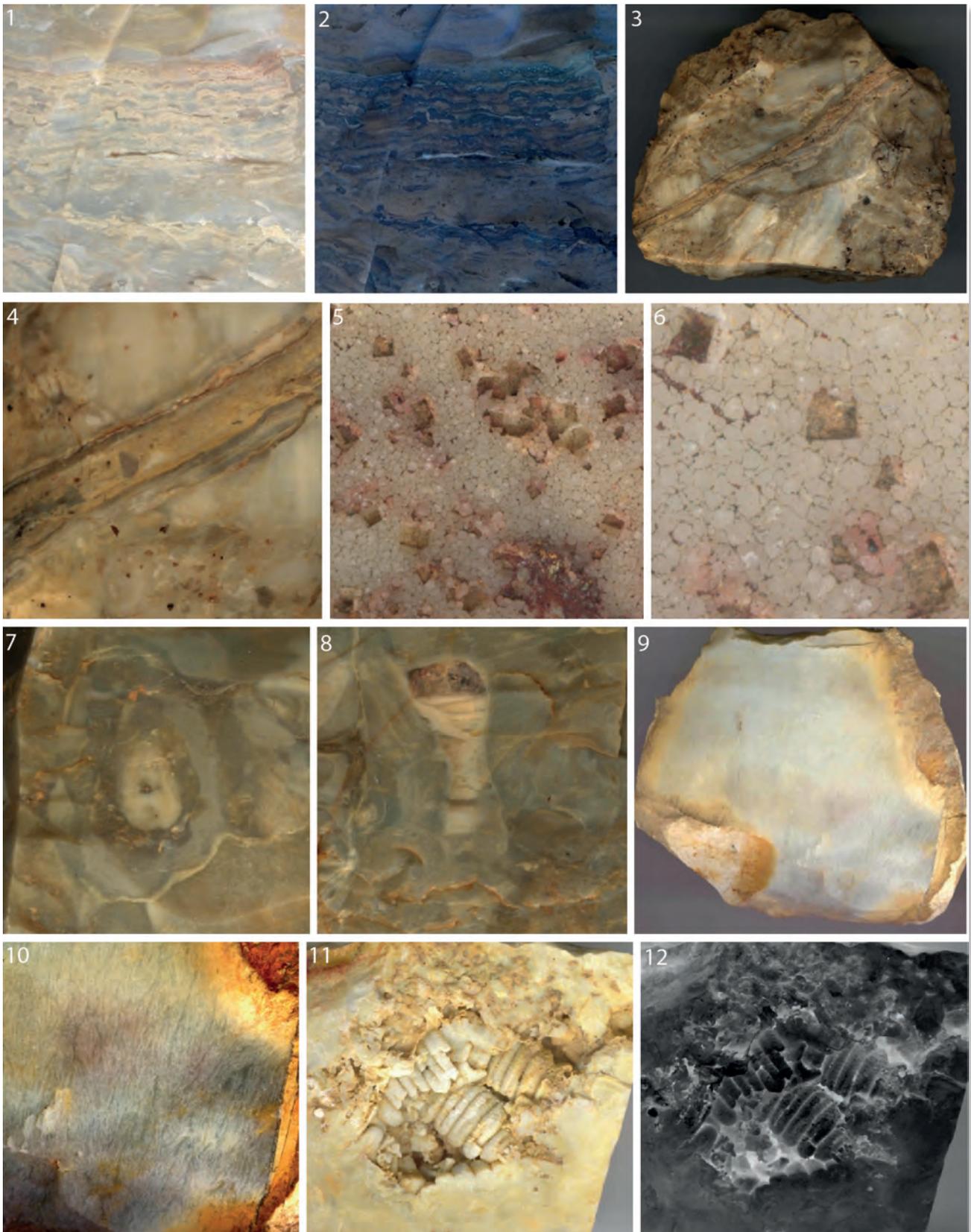


Planche 3 - Meillers – Niveau supérieur. 1 et 2 : Sinter à lamines construites à stromatolithes encroûtants (quart supérieur des deux clichés)(2.1x2.1 cm)(2 : cliché fausse couleur) ; 3 et 4 : Sinter bréchique recoupé par un filonet ; 5 : Niveau supérieur : filonet en plan avec boxworks de fluorine ; 6 : détail de la texture à l'équilibre du quartz (joints triples à 120°) ; 7 et 8 : Coupes dans une zone bréchique d'un sinter vert à conduit à diamètre centimétrique et vide partiellement colmaté et stratifié par de la silice ; 9 et 10 : Sinter homogène à pseudomorphoses de fibres dendritiques (ex-barytine ?) et cortex épais (33 : 9.9x9.2 cm ; 34 : 2.1x2.1 cm) ; 11 et 12 : Pinule de fougère fossile (4 cm) (dét .S. Charbonnier-P. Debriette).

Silex de l'autunien inférieur du Bassin de L'Aumance

Si l'on excepte les silicifications noires (lydiennes) du Viséen supérieur de la Montagne bourbonnaise et les galets du même âge issus de certains conglomérats du Houiller, les silex les plus anciens du département de l'Allier appartiennent au Permien du Bassin de l'Aumance. Ils sont rapportés à sa base (Autunien inférieur) (Turland, 1990).

Dans la région de Buxières-les-Mines les formations autuniennes offrent une assise à dépôts fluviu-torrentiels représentée par des grès et des argilites ("Autunien gris", Turland, 1990). La partie supérieure comporte des dépôts lacustres variés, grésu-argileux avec deux horizons cinéritiques, des couches à charbons, des niveaux argilo-silteux bitumineux et un "faisceau dolomitique" sommital. Cet ensemble est surmonté par une puissante formation détritique à dominante fluviatile, fluviu-lacustre et deltaïque.

Le "faisceau dolomitique" est intercalé entre deux puissantes formations terrigènes. Il comporte des bancs décimétriques à métriques carbonatés, très souvent silicifiés et remplacés par des silex noirs ("chailles" des secteurs de Saint-Hilaire, Gipy, Gros-Bois,..., Turland, 1990). Ces matériaux se retrouvent à une dizaine de kilomètres plus à l'est à proximité de Souvigny (Allier) à un niveau stratigraphique équivalent. Dans ces deux secteurs, la présence de stromatolithes a été largement décrite (Freytet et al., 1999 ; Legrand et Debriette, 2007).

Dans le secteur de Gros-Bois (Gipy, Allier), le "faisceau dolomitique" délivre de nombreux blocs de chailles noires en particulier dans le secteur de La Jarrie où ont été effectués les échantillonnages (X : 654.348 -Y : 2168.720). Certains blocs sont parallélépipédiques et d'épaisseur décimétrique (planche 4.1). Ils représentent les anciens niveaux carbonatés qui ont été totalement silicifiés dans un environnement largement dominé par des roches détritiques siliceuses. Au contact des grès encaissants les cortex des bancs sont généralement très épais (1 à 3 cm) (planche 4.1 et 4.4). Ils présentent une texture microbréchique avec des petites échardes noires baignant dans un matériel terreux. Ces échardes sont de même nature que la matrice du cœur du banc.

La texture des "chailles" noires est variable. Dans le faciès à fond homogène cryptocristallin, la roche est ponctuée – en particulier au cœur du banc- par des cristaux de dolomite (planche 5.4). Ce minéral se présente en cristaux isolés de petite taille (< 1 mm), automorphes et rhomboédriques ou en essaims de grains. Cette dolomite atteste d'un héritage du matériau

carbonaté avant son remplacement par la silice. Ce minéral est également fréquent dans les diaclases planes qui affectent les anciens bancs. Cette fracturation est à l'origine du débit régulier en blocs parallélépipédiques des anciens bancs. Ces diaclases sont souvent constellées de fines cavités rhomboédriques isolées (*boxworks*) ou jointives en gerbes (association planaire de *boxworks*) (planche 5.5). Ces formes attestent d'une dissolution récente de la dolomite peut-être d'origine pédologique. La présence antérieure de ce minéral implique que les fluides aqueux, carboniques et calcaro-magnésiens ont transité dans les diaclases et qu'elle se néoformait à la faveur de cette fracturation qui affectait des matériaux cassants et déjà silicifiés.

L'abondance des fossiles (planche 4.2 à 4.11) constitue la seconde originalité des matrices des "chailles" noires. Ils sont très utiles pour la reconnaissance du matériau en particulier pour les pièces archéologiques. Les blocs de silex sont accompagnés de fréquents troncs silicifiés d'équisétales (*calamites s.l.*) (planche 4.4). L'omniprésence des stromatolithes fossiles constitue la meilleure signature de l'origine et de l'âge de ces matériaux. Les restes fossiles de stromatolithes entiers sont très fréquents et se rapportent à des formes membranaires, tabulaires (planche 4.2), tubulaires (planche 4.11) ou en choux fleurs (planche 4.6) (Freytet et al., 1999, 2000). Les organismes sont souvent en position de vie et forment des encrustements enrobant des débris ligneux. Ils sont parfois associés à des valves d'ostracodes. Par leur présence, ces fossiles permettent de définir un biotope phytogénique lacustre voire deltaïque.

Les matériaux à stromatolithes offrent le plus souvent des textures bréchiques où ces organismes ont été démantelés, fragmentés et complètement dissociés de leur substrat initial (Planche 4.12 à 5.3). Cette fragmentation paraît avoir plusieurs origines et permet de préciser les conditions de la sédimentation antérieure à la diagénèse carbonatée, voire même pour certains silex de cerner l'évolution ultérieure à la silicification tardive. Certaines brèches sont issues d'une fragmentation post-mortem et d'un remaniement parfois accompagné d'un mélange avec les boues carbonatées voire même avec des sédiments détritiques terrigènes (brèches sédimentaires, planche 5.6). Toutefois on a trouvé des brèches siliceuses différentes cimentées par un matériel sableux injecté (planche 5.7). Ces injections dissocient les stromatolithes ou les tissus ligneux selon des fractures planaires, en coins... Ce matériel injecté présente une texture gréseuse et s'insinue en lits dans les stromatolithes. Il montre également des figures

locales d'écoulement avec des ondulations au cœur de couloirs bien délimités. L'injection sous pression d'un fluide chargé d'un matériel sableux et issu des épontes des bancs peut être envisagée ici en raison du caractère invasif du matériel terrigène bien différent du milieu carbonaté d'origine. Les grès fortement poreux et baignant dans l'eau phréatique au contact des bancs carbonatés ont perdu leur cohésion par dissolution grâce à son action dissolvante. La mise sous pression de ce fluide hydrique à forte charge sableuse (et peut être chaud ?) pourrait être invoquée pour expliquer une fracturation à caractère hydraulique. Cette hypothèse peut également rendre compte des cortex anormalement épais à texture microbrèche notés précédemment. Dans ce cas ils refléteraient un stade précoce invasif du liquide sous pression aux interfaces des bancs avant une possible rupture de certains d'entre eux. Cette hypothèse implique une seconde phase de silicification qui scelle définitivement ces silex.

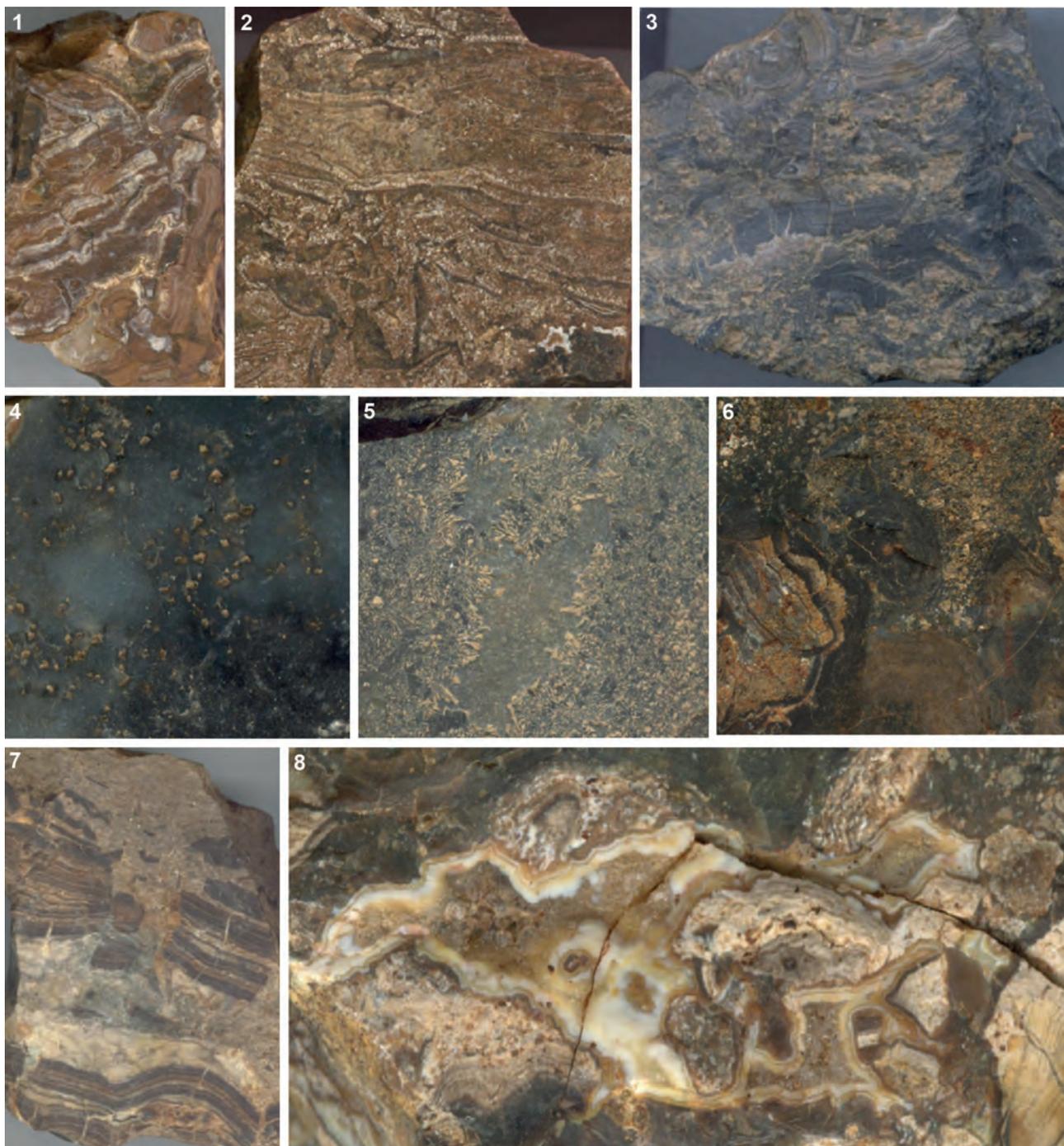


Planche 4 : Gipy – 1 : Fragment de banc de chaille noire à cortex bréchique épais (4.9x4.2 cm) ; 2 : Stromatolithes encroûtant (7.1x8.4 cm) ; 3 : Fragment de tige partiellement colmaté de sédiment terrigène (3.7x4.8 cm) ; 4 : Fragment de tige d'équisétale baignant dans une matrice ponctuée par de la dolomite (7.3x7.5 cm) ; 5 : Fragments de tissus vasculaires et ligneux (2.5x2.5 cm) ; 6 : Coupe de stromatolithes (3.5x4.5 cm) ; 7 : Stromatolithes encroûtants ; 8 : Coupe de stromatolithes encroûtants injectés et jointés de silice bleue tardive ; 9 : Chaille hétérogène à stromatolithes encroûtants en «choux-fleurs ; 10 : Banc de chaille rubanée à encroutements stromatolitiques et cavités de dissolution (3.4x3.4cm) ; 11 : Chaille à stromatolithes en tubes coalescents et un vide tapissé de silice tardive (4.1x4.1 cm) ; 12 : Chailles rousses à débris organiques, brèche d'accumulation à végétaux.

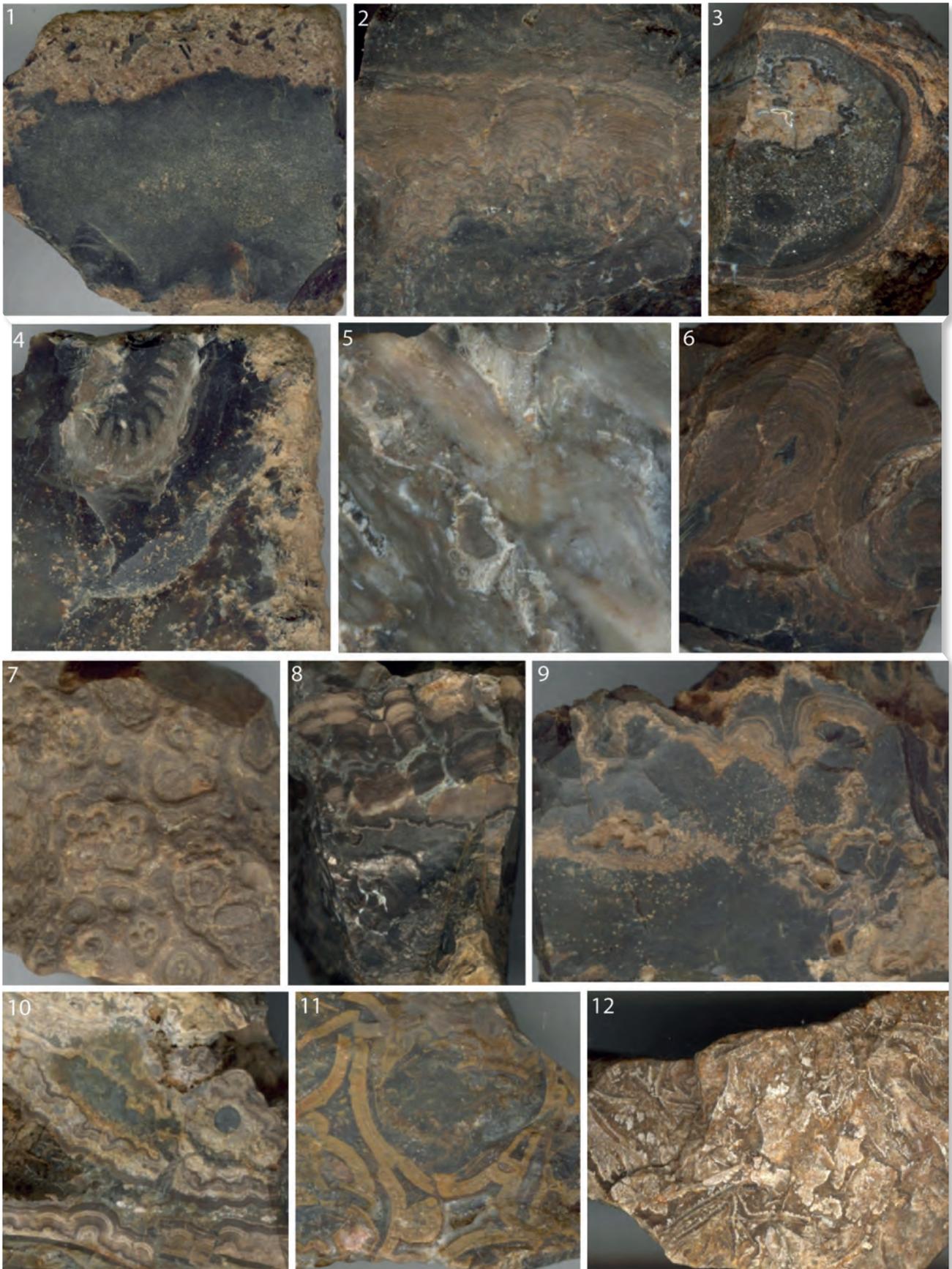


Planche 5 : Gipcy – 1 : Chailles rouges à débris organiques, zone d'accumulation de mattes stromatolitiques (2.5x4.3 cm) ; 2 : Chailles rouges à débris organiques, zone d'accumulation à débris d'écorces (5.1x4.5 cm) ; 3 : Chailles rouges à débris organiques, brèche stromatolitique (6.7x5.9 cm) ; 4 : Chailles à matrices noires à dolomite, matrice à cristaux automorphes de dolomite (2x2 cm) ; 5 : Chailles à matrices noires à dolomite, diacrise à boxworks de dolomite (1.8x1.75 cm) ; 6 : chaille noire à fond à stromatolithes recouvert par un matériel détritique clastique classé (3.9x3.9cm) ; 7 : brèche à cyanobactéries injecté sous pression par un matériel liquide à charge sableuse à l'origine de la dislocation des lits stromatolitiques (fracturation hydraulique) et de sa cimentation gréseuse tardive (6.4x9.3 cm) ; 8 : Tapissage d'un vide par un dépôt de quartz à structure colloforme (3.8x1.7 cm).

Silcrètes du Bouchat-Le Gratelet (Saint-Angel-Chamblet)

Entre le Cher et l'Allier le plateau bourbonnais présente de nombreux petits bassins à formations argilo-sableuses rapportées à l'Éocène depuis la dernière cartographie géologique de la région (feuilles 1/50000ème de Montluçon, Hérisson, Montmarault et Bourbon-L'Archambault, Turland et *al.*, 1989, 1990, 1991). Cet ensemble paléogène repose (Figure 212.1) principalement sur les formations granitiques (granites de Nérès-Montmarault) ou leurs encaissants gneissiques et sur les formations du Carbonifère final (Stéphanien de Commentry-Doyet-Villefranche d'Allier et Permo-Carbonifère du Bassin de l'Aumance). Les limites des bassins éocènes sont généralement contrôlées par des failles. Quelques placages apparaissent directement discordants sur leurs substratums granitiques et adossés à des failles mineures. Certains fonds de bassins présentent localement des silexites, des faciès gréseux silicifiés, des arkoses, des argiles et plus rarement des calcaires. Malgré l'absence de fossiles caractéristiques les termes carbonatés ont été rapportés dans la région aux "calcaires du Berry".

Le secteur du Bouchat (situé au NE de Chamblet – X : 630.463 -Y : 2149.560) se rapporte à un fond de bassin. Il correspond à un placage résiduel reposant par l'intermédiaire d'arkoses blanches sur le môle granitique qui sépare les bassins houillers de Commentry et de Doyet. Antérieurement à la cartographie de Turland et *al.* (1989) (Figure 212.1B) ce lambeau tertiaire a été reconnu par de Launay (1888) qui l'assimilait au Permien rouge (qui coiffe le stratotype du Stéphanien). M. Deschamp (1963, 1973) en fait une cartographie sommaire (Figure 212.1A). Elle lui permet de rattacher les arkoses à l'Éocène supérieur, les "meulière du Bouchat" et les termes calcaires associés à l'Oligocène.

Deschamps (1963) montre que les "meulière" qui ont été exploitées puis abandonnées forment un banc qui n'excède pas 40 à 60cm et qui repose sur les calcaires blancs (Turland et *al.* 1989). Les calcaires sont grumeleux, étroitement associés à des marnes vertes dans lesquelles s'intercalent des blocs de silexites. En contrebas et sur le plateau du Bouchat - situé à l'est de la carrière - ces matériaux siliceux jonchent les champs.

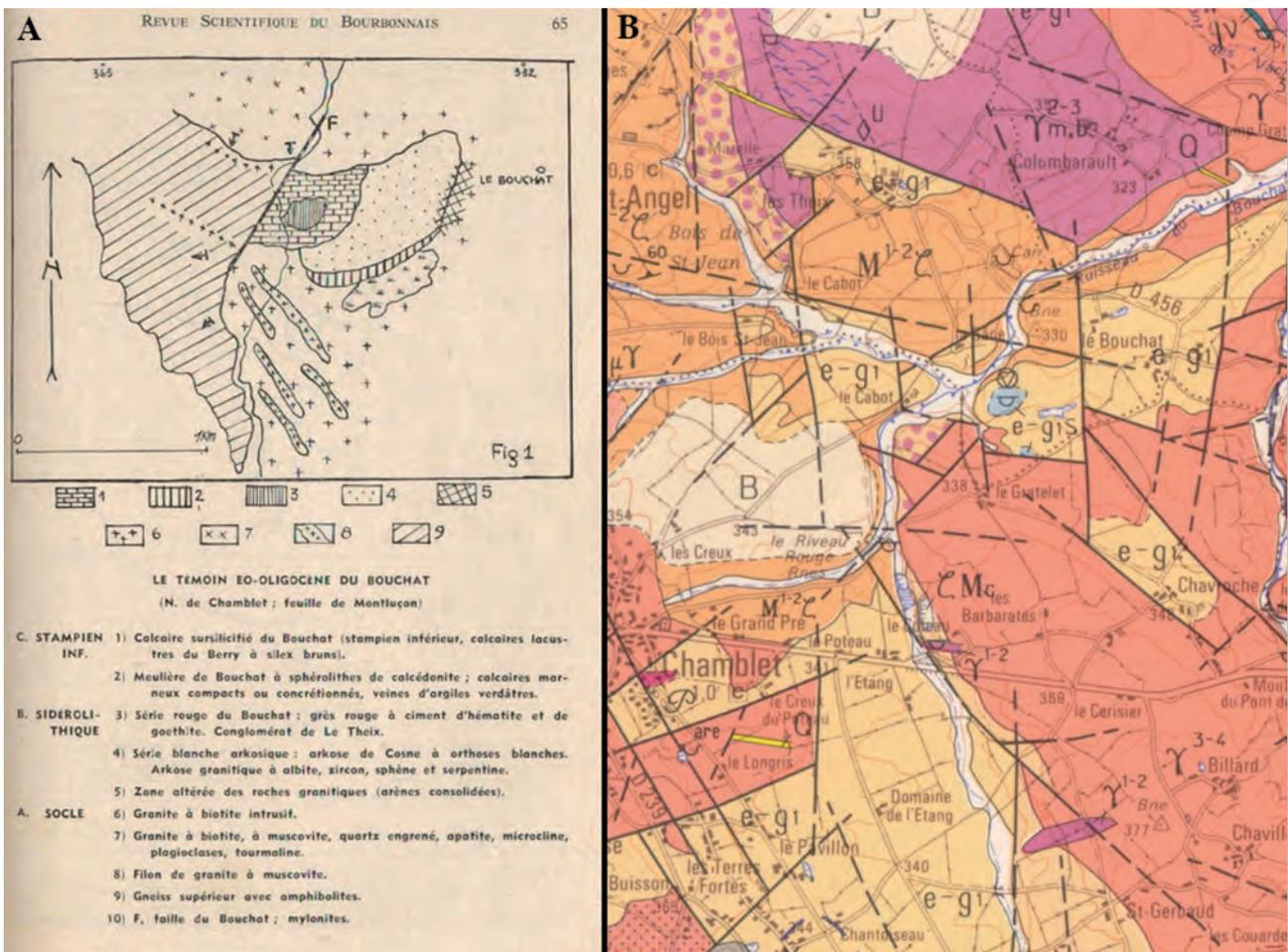


Figure 212.1 : Cartes du secteur du Bouchat (au NE de Chamblet) ; Carte A : d'après M. Deschamps (1963). Carte B : d'après Turland (1989) : extrait de la feuille géologique de Montluçon au 1/50000ème. Symboles et couleurs de la carte B : ζMc & M1 2ζ : formations métamorphiques : orange ou ocre, γ1 - 2γ2 - 3γ3 - 4 : formations granitiques : rose, rouge et violet, e - g1 : Éocène : jaune clair, e - g1S : Éocène à silexites : bleu ciel.

Plusieurs échantillonnages ont été effectués dans ce secteur ainsi qu'à proximité du village du Gratelet (X : 630.573 - Y : 2149.155) où les silexites sont également présentes.

L'analyse des matériaux montrent que les silexites peuvent être assimilées pour la majorité d'entre-elles à des silcrètes. Les figures d'illuviation sont fréquentes (planche 6.1) avec des termes à textures protobréchiques à pseudobréchiques où la matrice siliceuse est simplement fissurée et passe à des textures clastiques où les fragments siliceux baignent dans un matériel fin, souvent orienté à figures d'écoulement. Les clastes sont anguleux dans les faciès peu évolués ou arrondis et golfés dans les faciès où la matrice interstitielle devient abondante. Certains clastes ($\varnothing \sim 1$ cm) sont auréolés d'une silice brune postérieure à leur formation et à leur fragmentation (planche 6.3 et 6.4). Cette frange est de même nature que les clastes voisins de petite taille. Leur texture interne varie. Certains (planche 6.3) offrent un matériau noduleux à texture très fine, à aspect porcelané et affecté par des fissures en coins. Ce type de nodule paraît dériver d'un précurseur comparable aux petits rognons d'opale qui accompagnent les silcrètes (gîte du Gratelet). Ce matériel à aspect opalifère est localement envahi selon les fractures par du quartz. Le second type de clastes offre un cœur zoné incluant lui-même des petits fragments lithiques arrondis. Sa matrice est affectée par un blanchiment attestant d'un état textural - et peut être minéralogique - distinct de la frange bordière. L'ensemble des clastes précédents s'inscrit dans une évolution classique liée aux mécanismes d'illuviation fréquents lors de la genèse des silcrètes avec : 1- des clastes issus de la fragmentation d'une matrice siliceuse, 2- d'autres issus de la fragmentation des faciès fins des bordures des conduits d'écoulement actif, 3- de l'enrobage par les mêmes faciès fins siliceux, 4- des nodules précurseurs emballés lors de la descente du matériel hydrique à charge silico-clastique qui s'écoule au-delà des anciens fronts de silicification.

L'examen des blocs siliceux montre également la présence de nombreux silex noirs. Ils avaient retenu l'attention de M. Deschamps (1963). La matrice de ces matériaux noduleux, aux cortex blancs scoriacés et invasifs, est particulièrement homogène, à grain fin et à surface brillante. Sa cassure est conchoïdale et sa taille parfaite. Seuls des tubules d'origine racinaire peuvent affecter l'homogénéité du matériau par des filets en réseaux anastomosés connectés au cortex scoriacé. Le développement cortical bénéficie des tubules qui favorisent les circulations hydriques à l'origine de cette altération. Ce développement du cortex au détriment de la matrice se corrèle

également avec la croissance centripète de dendrites sombres de Fe-Mn. L'extension extrême du cortex conduit à leur blanchiment et à une évolution de la matrice noire qui prend un aspect porcelané mat (planche 6.6). Ce matériau a été choisi et exploité sur le site par les hommes préhistoriques.

Accompagnant les faciès précédents une variété de silex "blonds" peut être notée (planche 6.10). Il s'agit de matériaux semi-transparents à transparents dépourvus de dendrites, souvent zonés avec une teinte claire sous-corticale. Vers le cœur des nodules le matériau perd de façon ménagée sa transparence et blanchi en lui conférant un aspect porcelané à surface matte. Ces transformations dans la pigmentation des silex sont fréquemment accompagnées d'une dissolution de la silice qui conduit à des transferts de matière qui conduisent à des cavités corticales ou matricielles. Ces vides sont parfois partiellement colmatés par des dépôts stratifiés d'une silice tardive (planche 6.11).

Dans le secteur du Gratelet notons l'existence peu commune d'un silex jaune à aspect jaspoïde (photo 6.12). Ce type peut être confondu avec certains jaspéroïdes de la même couleur de l'Hettangien du Berry. Il s'en distingue facilement par la présence de tubules racinaires qui signent ici une origine pédologique.

Dans la même zone et dans les arènes granitiques signalons aussi la présence de nombreux petits nodules et cassons d'opales de couleurs très variables (photo 6.13). Leur abondance dans le secteur du Gratelet tient au fait qu'elles se situent structurellement à l'extrême base du niveau des silcrètes, à proximité du front de silicification dans la zone inférieure où les teneurs en silice des eaux d'infiltration sont les plus élevées (Thiry et Milnes, 1991, Thiry et *al.*, 2006 ; Taylor et Eggleton, 2017). Cette implantation dans l'ancien substratum granitique représenté par les arènes actuelles du granite de Montmarault montre que l'aire de répartition des silcrètes a largement dépassé celle de la formation carbonatée décrite par Deschamps (1963) et Turland et *al.* (1989).

Ainsi l'origine des "meulières" et silexites du site du Bouchat-Gratelet peut être rapportée à la famille des silcrètes. Une origine à partir de formations pédologiques tertiaires peut être avancée. Ce point sera également vérifié dans le gîte voisin de Saint-Bonnet de Four.

Les propriétés mécaniques à la taille de ces silcrètes et leur abondance expliquent leur utilisation par les préhistoriques¹ à toutes époques.

¹Les silex noirs abondants ici sont également présents dans le bassin de Domérat-Montluçon et sur le gîte voisin de Saint-Bonnet de Four).

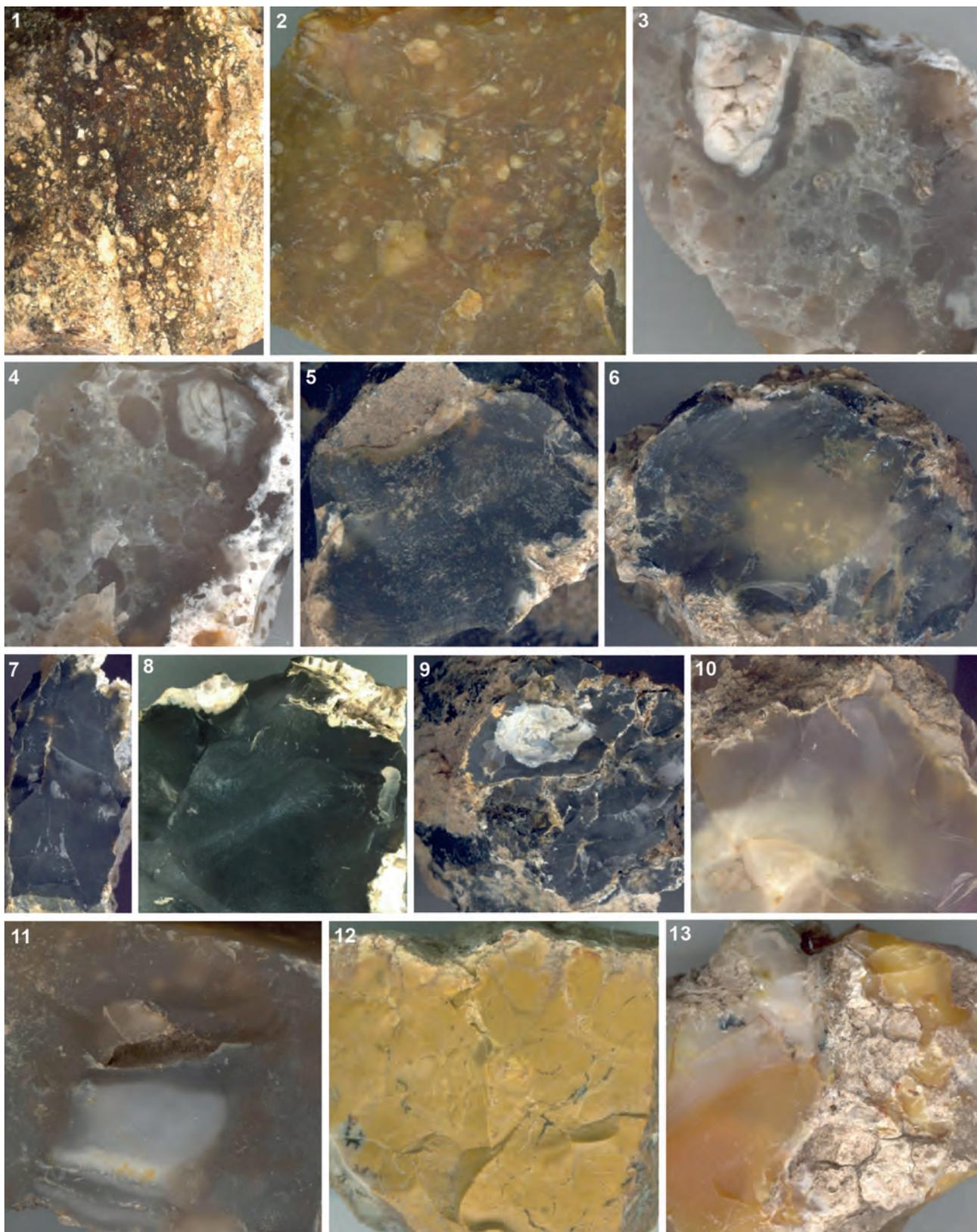


Planche 6 :Saint Angel - Le Bouchat - 1: Silcrète à texture clastique dans une zone d'illuviation (7.7x10.7 cm) ; 2 : Silcrète blond à texture clastique (3.1x3.1cm) ; 3 et 4 : Silcrète à texture clastique et dépôts siliceux de type silane autour des gros clastes (Echelles : 58 : 3.6x3.6 cm - 59 :3.25x3.21 cm) ; 5 et 6 : Silcrètes à dendrites altérées claires (Échelles : 60 : 3.4x3.24 cm - 61 :6.95x5.25 cm) ; 7 et 8 : Silcrète à texture microcristalline (Echelles : 62 : 2.7x5.4 cm - 63 : 4x3.6 cm) ; 9: Silcrète sombre à tubules racinaires vides facilitant le développement du cortex (5.7x5.5 cm) ; 10: Silcrète blond (3.9x3.6 cm) ; 11 : Silcrète clair à cavité colmatée par un dépôt opalescent stratifié et surmontée d'un vide tapissé de quartz (2.8x2.8 cm) ; 12 : Silcrète jaspöide à tubules racinaires (3x2.8 cm) ; 13: Opale à cortex offrant des fentes de retrait (3.7x3.7 cm).

Les silcrètes de Saint-Bonnet de Four.

Le gîte de silex des Mâts à Saint-Bonnet de Four a été découvert à la faveur d'une prospection préhistorique en 1961. Sa cartographie géologique date de l'édition des feuilles de Montluçon et de Montmarault (Turland et al., 1989 et 1991). La reconnaissance tardive du gîte s'explique par une très forte emprise agricole, à la quasi absence d'affleurements des formations rapportées jusqu'à aujourd'hui à l'Éocène. Les seuls "affleurements" de silexites qui existaient jusqu'à ces dernières années sont situés au-dessus du hameau des Mâts aux bords une petite carrière (X : 641.897 -Y : 2146.946) aujourd'hui détruite et sous la forme de quelques gros blocs de bornage. La formation basale affleure ponctuellement à la côte 359 (au croisement de la D2371 et de la D201).

Les feuilles géologiques de Montluçon et Montmarault donnent les limites des formations réputées éocènes du secteur des Mâts (Figure 212.2). Le fond du bassin est - comme à Saint Angel- contrôlé par des failles. Il est adossé à l'ouest à un accident sensiblement parallèle à la faille subméridienne qui limite le bassin stéphanien de Bézenet. Au sud-est les dépôts gréseux et arkosiques éocènes reposent en discordance sur le granite de Montmarault. La cartographie de Turland et al. (1991) fait ressortir

d'une part l'existence d'un cailloutis à blocs et débris de silexites brunes ou vacuolaires s'étalant entre le village des Mâts à la ferme de Feuilloux (représenté en pointillés sur la carte) et d'autre part, d'une couverture limono-sableuse (indiqué B sur la figure 212.2) qui ennoie certains versants du bord du bassin. Ces ensembles de couverture - dont les extensions sont sous évaluées- reposent sur des grès arkosiques et des dépôts meubles sablo-argileux. Pour ces auteurs les dépôts éocènes atteignent une épaisseur de 40 mètres.

Malgré l'absence d'affleurements, lors des prospections l'attention a été portée sur la répartition des matériaux remontés des labours et sur les variétés des sols rencontrés. Les principaux points nouveaux concernent les formations associées aux silexites. Ils montrent l'existence de calcaires oligocène, la présence de silex lacustres et celle des silcrètes. Ces points sont résumés ici et modifient les acquis antérieurs de la carte géologique de 1991.

- Formations associées aux silexites

La formation basale est représentée par des dépôts à dominante détritiques, gréseuses ou sableuses, souvent riches en feldspath potassique (arkose) et en argiles verdâtres. Cette formation hétérogène

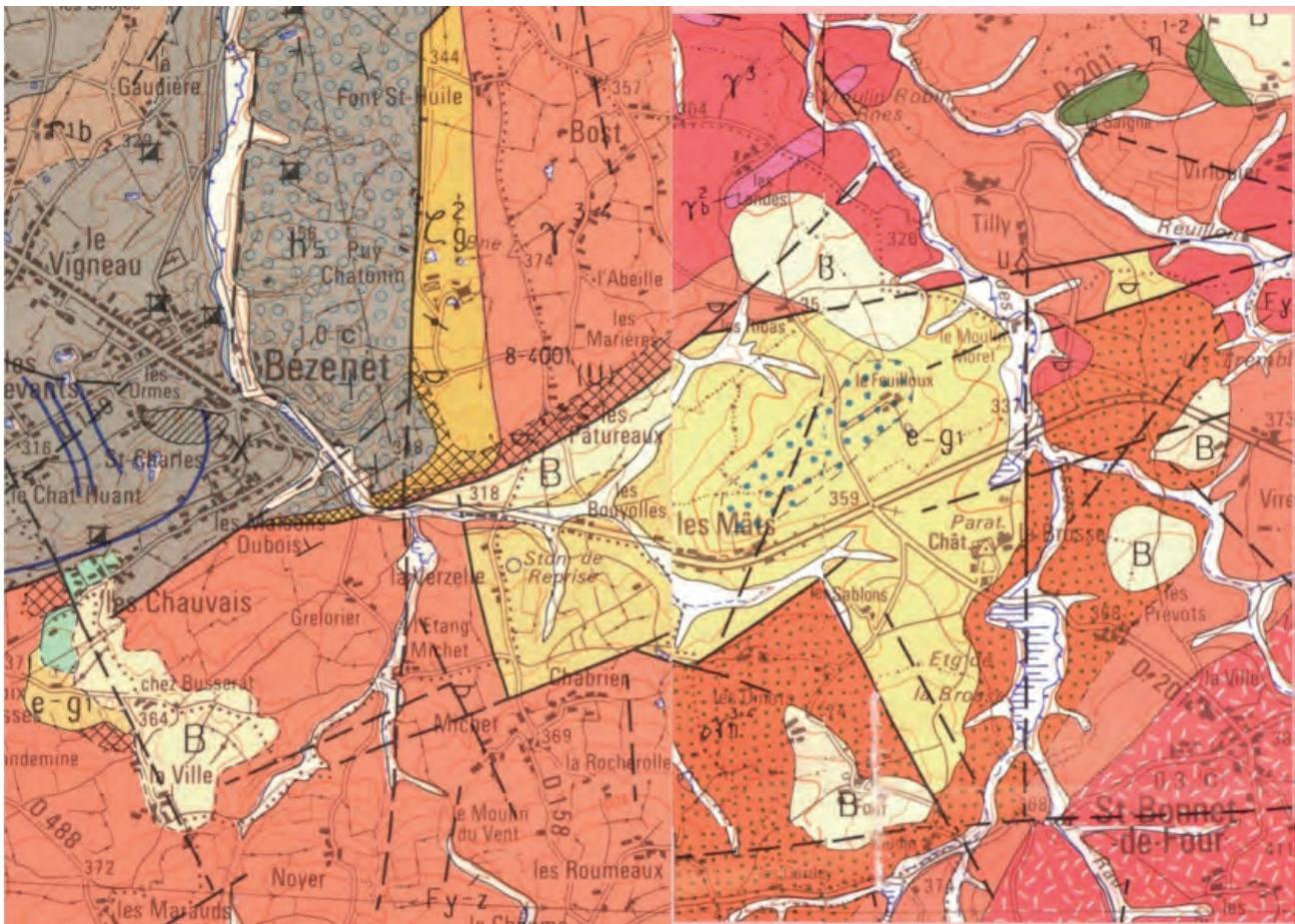


Figure 212.2 : Le Bassin des Mâts d'après Turland et al. (1989 et 1991).

n'est pas classée et n'offre pas de stratification nette. Elle montre localement - en particulier à proximité du Feuilloux - une nette silicification qui s'exprime dans un faciès très poreux avec des cavités tapissées par une silice collomorphe transparente. Ces faciès gréseux blanc présentent des cavités et zones d'illuviation. La photo 7.1 montre ce type de structure avec une cavité de soutirage en trémie liée au démantèlement de son toit et remplie par un dépôt basal (brèche d'abattage). Ce même échantillon montre également des cavités envahies de tubules silicifiés (planche 7.2). Leurs ramifications attestent une origine végétale racinaire.

Mise en évidence d'une formation résiduelle calcaire. A proximité du Feuilloux des cassons de calcaires dans les champs ont été récoltés particulièrement dans une zone à silexites blanches vacuolaires ennoyée par le recouvrement limono-sableux. Ces calcaires ont échappé à la dissolution pédologique. Certains gréseux offrent des textures riches en gravelles de natures variées enveloppées dans un matériel terrigène riche en quartz. Certaines gravelles sont partiellement dissoutes. Le fond de la roche peut être localement silicifié (planche 7.4). D'autres calcaires se rapportent à une formation construite avec des stromatolithes rubanés ou en stromatolithes en choux-fleurs (planche 7.4 à 7.6). Des gastéropodes pouvant être rapportés à l'ancien genre *Hélix* ont également été trouvés. Ces calcaires résiduels s'apparentent beaucoup par leur position au-dessus des formations détritiques basales à ceux décrits à Saint-Angel par Deschamps (1963) et rapportés au Stampien. Ici la flore et la faune dulçaquicole présente paraissent s'accorder avec cette attribution stratigraphique. L'analogie avec certains faciès bordiers de La Limagne d'Allier à Codret près de Saint-Pourçain décrits par Bertrand-Sarfati et *al.* (1966) est à souligner.

Les argilites et marnes vertes. Ces roches n'ont été rencontrées qu'à la faveur des travaux de drainage et des labours profonds. Il s'agit d'un niveau qui surmonte la formation basale terrigène à grès, arkoses et sables. Elles contiennent certains rognons de silex de teinte violacée (cf. *infra*) (planche 8.3 à 8.6) à proximité de leur base ainsi que des silcrètes (et peut être certains niveaux calcaires précédents).

- Les silex

Plusieurs grands types ont été reconnus. Ils peuvent être décrits selon leur héritage sédimentaire, minéralogique et paléontologique ou selon leur origine secondaire.

Silex marbrés à pseudomorphoses de cristaux de gypse à faune et flore lacustres (planche 7.7 à 7.11). Il s'agit de silex gris clair à blanc à fond particulièrement fin apparenté à une texture micritique. Des clastes monocristallins de quartz sont fréquents dans la roche. Certains lits présentent des structures tourbillonnaires soulignées par des acicules lancéolés millimétriques de quartz beige. Ces formes sont parfois associées par deux (anciennes macles en fer de lance) et d'autres constituent de petits agrégats d'anciens cristaux. Ces formes correspondent à des pseudomorphoses de cristaux de gypse remplacés par une silice fibreuse. Ces matériaux sont localement riches en gastéropodes lacustres (*Nystia*, *Physa*, *Limnea*,...). Ils offrent également des valves d'ostracodes et quelques restes de characées (oogones). Aucune trace racinaire ni conduit d'illuviation n'a été observée dans ce faciès. L'association fossile offre une signature lacustre des sédiments. La présence de gypse témoigne de périodes d'assèchement contribuant à son développement lors de phases évaporitiques. Les structures tourbillonnaires témoignent du caractère gonflant du sédiment à dominante argileuse. Celui-ci se boursoufle temporairement sous l'influence de l'eau capillaire chargée de sulfate de calcium et libérée par l'assemblage argileux dans ce contexte évaporitique (Conrad, 1969). Aucune membrane algaire ni aucune fissure de retrait n'ont été observées pour l'instant.

Silex blancs et silex blancs caverneux. Ce faciès est fréquent à 200 mètres au sud-ouest du Feuilloux, où il est partiellement ennoyé sous la couverture limono-sableuse. Il est associé aux calcaires résiduels précédents. Il s'agit de silex assimilés à des meulière par Turland et *al.* (1989) (planche 8.1 et 8.2). Aucun fossile n'a été observé dans ce matériau. Il présente pour la plupart des blocs le plus souvent de nombreuses cavités centimétriques. Les vides sont toujours sub-sphériques. Certains présentent des cloisons siliceuses qui les traversent complètement impliquant une silicification précoce de la dissolution définitive des carbonates. La matrice offre une charge détritique riche en grains de quartz aux formes variées (arrondies, anguleuses ou esquilleuses). Ces quartz peuvent être chemisés par une silice brune comme dans les silcrètes voisins du site. Ces silex caverneux paraissent dérivés de roches carbonatées riches en quartz détritique et partiellement silicifiées. Une dissolution tardive des éléments carbonatés paraît être à l'origine des vides observés.

Silex violacés en rognons. (planches 8.3 à 8.6). Ce faciès paraît constitué un horizon discontinu à gros rognons décimétriques, parfois

cylindriques et liés aux formations argileuses et marneuses vertes. Certains offrent des cavités centimétriques, digitées et anastomosées entre-elles (planche 8.5). Sur les cassures fraîches la teinte est marron à brun sombre. La périphérie des rognons est parfois zonée avec un cortex blanc épais, une zone sous-corticale (1 cm) brun foncé soulignée à sa base par une zone ocre clair (planches 8.3 et 8.4). Les cavités anastomosées offrent au contraire une bordure corticale simple, claire et millimétrique. Les textures de la matrice sont très variées soit à fond très fin et dépourvu de clastes, soit au contraire à fond clastique attestant une bréchification (planche 8.6) ("silcrétisation" de Taylor et Eggleton, 2017). Quelle que soit la texture ce type de silex offre souvent de nombreux microgastéropodes (taille de 1 à 2 mm). Cette faunule fossile lacustre est particulièrement visible sur les surfaces corticales. A l'altération ces silex offrent des néocortex à aspect terreux. En milieu vadose ces cortex sont favorables à une imprégnation superficielle d'oxydes de Fe-Mn hydratés et à la cimentation de dépôts aliotiques incorporant le quartz du sol.

- Les silcrètes

Ce type de matériau siliceux est le plus fréquent à Saint-Bonnet-de-Four. Sa désagrégation superficielle sur le plateau des Mâts par cryoclastie est à l'origine la nappe de silexites cartographiée par Turland et *al.* (1989) et de l'absence d'une cuirasse siliceuse sur le gîte évoquée par ses auteurs. Les blocs de silcrètes examinés proviennent des pentes du site. Les faciès rencontrés sont identiques à ceux de Saint-Angel à la différence qu'à Saint-Bonnet-de-Four les silcrètes offrent quelques fossiles lacustres ayant échappé à la "silcrétisation". De plus, de très nombreux tubules racinaires attestent ici que la silicification a affecté à la fois le substrat sédimentaire, les sédiments végétalisés et les anciens sols.

Silcrètes réticulés et silcrètes proto à pseudobrèchique : ces matériaux sont fréquents et attestent par leur texture la dislocation précoce d'une matrice silicifiée par transfert hydrique et illuviation (planche 8.7). Ces textures sont fréquentes dans les faciès clairs bréchiés (planche 8.8 à 8.11). Ces silcrètes montrent pour les moins évolués un réticulum de filets de teinte ocre de la silice qui cimente des éléments sub-jointifs aux formes engrenées. Cet emboîtement général implique l'absence de transferts mécaniques (protobrèche) (planches 8.8 et 8.10). Les figures d'illuviation avec des conduits montrant une forte fragmentation des parois et des glissements gravitaires des lithoclastes sont les plus fréquentes. Ces textures montrent des

tubules souvent creux et s'insinuant entre les clastes selon l'orientation générale du conduit (planches 8.8 et 8.9). Les sections des tubules sont ovalaires ou circulaires avec des parois silicifiées. Les vides des tubules offrent une porosité favorable à une imprégnation hydrique et à une cryoclastie efficace pour ce type de matériau. Ce point rend compte du cailloutis en nappe qui recouvre le plateau des Mâts.

Silcrètes bruns ou noirs à cortex scoriacés (planches 8.12 et 9.1). Ces deux faciès sont les plus fréquents. On les rencontre en particulier à l'ouest du plateau sous le recouvrement cryoclastique. Ils se présentent en gros rognons (> dcm) pour le faciès à matrice brune. Le module des rognons noirs est en général plus petit. Le faciès bruns (planche 8.12) offre des textures microbréchiées à lithoclastes de petite taille et aux formes arrondies baignant dans une matrice fine, cryptocristalline à surface matte. Des ooïdes peuvent accompagner les clastes. L'altération corticale est très classique (planche 8.12) : elle conduit à une zonation nette avec : i) un fort blanchiment du cortex qui confère un aspect porcelané révélant souvent des tubules racinaires (invisibles dans la matrice), son front d'avancement dans la matrice peut être régulier ou infiltrant et s'insinuer profondément entre les clastes (planche 9.1) ; ii) une zone sous corticale colorée brune irrégulière plus ou moins invasive et passant progressivement à la matrice (planche 8.12). Le cortex blanc montre une fragmentation contrôlée par ses inclusions (clastes, tubules...) et par des fissures liées au gel. La désagrégation finale du cortex conduit à son aspect souvent scoriacé. Le faciès noir offre une matrice plus fine que la précédente ; sa surface est particulièrement lisse et brillante. Ce matériau est identique au faciès noir commun à Saint-Angel (cf. *supra*). Il a été particulièrement utilisé au Moustérien.

- Les opales.

Les opales sont communes sur le site en particulier à la bordure du bois qui domine le village des Mâts sous la forme de quelques gros blocs, de bornes parcellaires et le plus souvent de cassons. L'ancienne petite carrière inondée des Mâts (cf. *supra*) avant sa destruction en délivrait de gros blocs (planche 9.6) qui montraient que l'opale les enveloppait et s'insinuait dans les fissures du silcrète. L'opale a été également notée sous la forme de filonets recoupant un silcrète ou cimentant des cataclasites affectant les silcrètes (planches 9.7 et 9.8). Ces relations entre les deux types de matériaux impliquent pour ces échantillons particuliers un diachronisme de formation mais également une relation avec la tectonique cassante postérieure aux silcrètes.

- Silcrètes rubéfiés

A Saint-Bonnet-de-Four certains silcrètes rubéfiés ont retenu notre attention (planches 9.2 à 9.5). La rubéfaction affecte préférentiellement les objets appartenant aux silcrètes précédents riches en clastes, oïdes et tubules. Le processus révèle certains détails des textures comme les tubules qui passent au rouge vif, les clastes et leurs zonations qui prennent des teintes carminées à roses (planche 9.3). Les hétérogénéités initiales du fond matriciel deviennent perceptibles ainsi que les différences de teintes acquises avant la rubéfaction lors de l'altération corticale. L'intensité de la coloration paraît ainsi dépendre de la nature minéralogique et texturale des phases siliceuses qui constituent la roche. L'examen de la nature des sols - très diversifiée - sur les formations éocènes ne montre pas de corrélation évidente avec la présence de termes rubéfiés. Par contre, ces objets sont systématiquement localisés dans les sols des bas de pentes où ils coexistent avec des silcrètes souvent colluvionnés et dans les sols à dominante argileuse mal drainés où les eaux d'écoulement stagnent à la suite des périodes pluvieuses.

- Quartzite à ciment d'opale :

Ce matériau, très fréquent dans le Bourbonnais où il a été signalé la première fois (Turland et al., 1990) est présent dans les sols situés sur les formations basales de l'Éocène. Il s'agit de quartzites en blocs ($\varnothing \sim 10\text{cm}$) plus ou moins éolisés, présentant une surface lisse et brillante. La texture est très riche en petits clastes anguleux de quartz liés par un ciment de teinte orangée et isotrope au microscope polarisant. D'après ses caractéristiques optiques (réfringence, isotopie...) cette phase interstitielle est une opale. La texture du matériau très homogène montre localement sur l'échantillon de fines passées millimétriques ($e = 1, l = 5 \text{ mm}$), de teintes laiteuses, finement litées et de même nature au microscope. Il s'agit de dépôts subordonnés d'origine argileuse et liés à des transferts illuviaux antérieurs à la phase d'opalisation. Ces détails pétrographiques signent une origine pédogénétique d'un matériau arénacé très largement dominé par le quartz. Ce point permet de rattacher au plan génétique ces quartzites lustrés à la famille des silcrètes.

A Saint-Bonnet-de-Four - comme ailleurs dans le nord du Massif central- ces quartzites particulièrement tenaces se rencontrent au voisinage de la discordance socle-couverture éocène ou sur la surface d'érosion relictuelle anté-éocène. Ils sont associés à des blocs de quartz à la base des sols actuels dans les *stone lines*. Ils représentent probablement les témoins d'une

ancienne cuirasse siliceuse fortement démantelée par une phase d'érosion qui précède les cuirasses développées sur les terrains éocènes à oligocènes dans le Massif central.

Ce type de relation a été également noté au Gratelet près du Bouchat (commune de Saint-Angel). Ces quartzites sont également très fréquents au Bouchat (Saint-Angel) à la base des grès éocènes entre Le Gratelet et la ferme du Bouchat. Ce matériau a également été trouvé au point côté 386 dominant la carrière de Meillers.

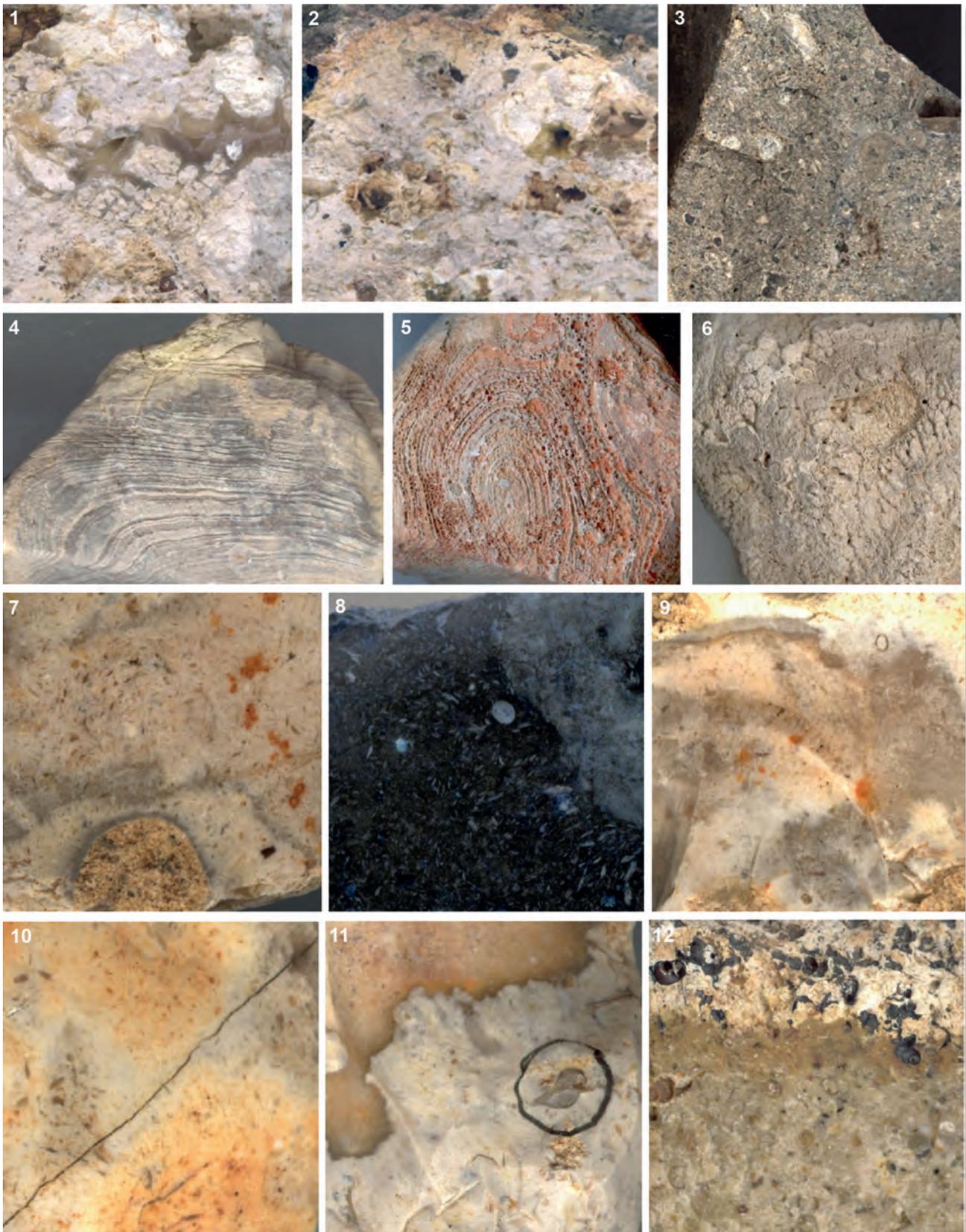
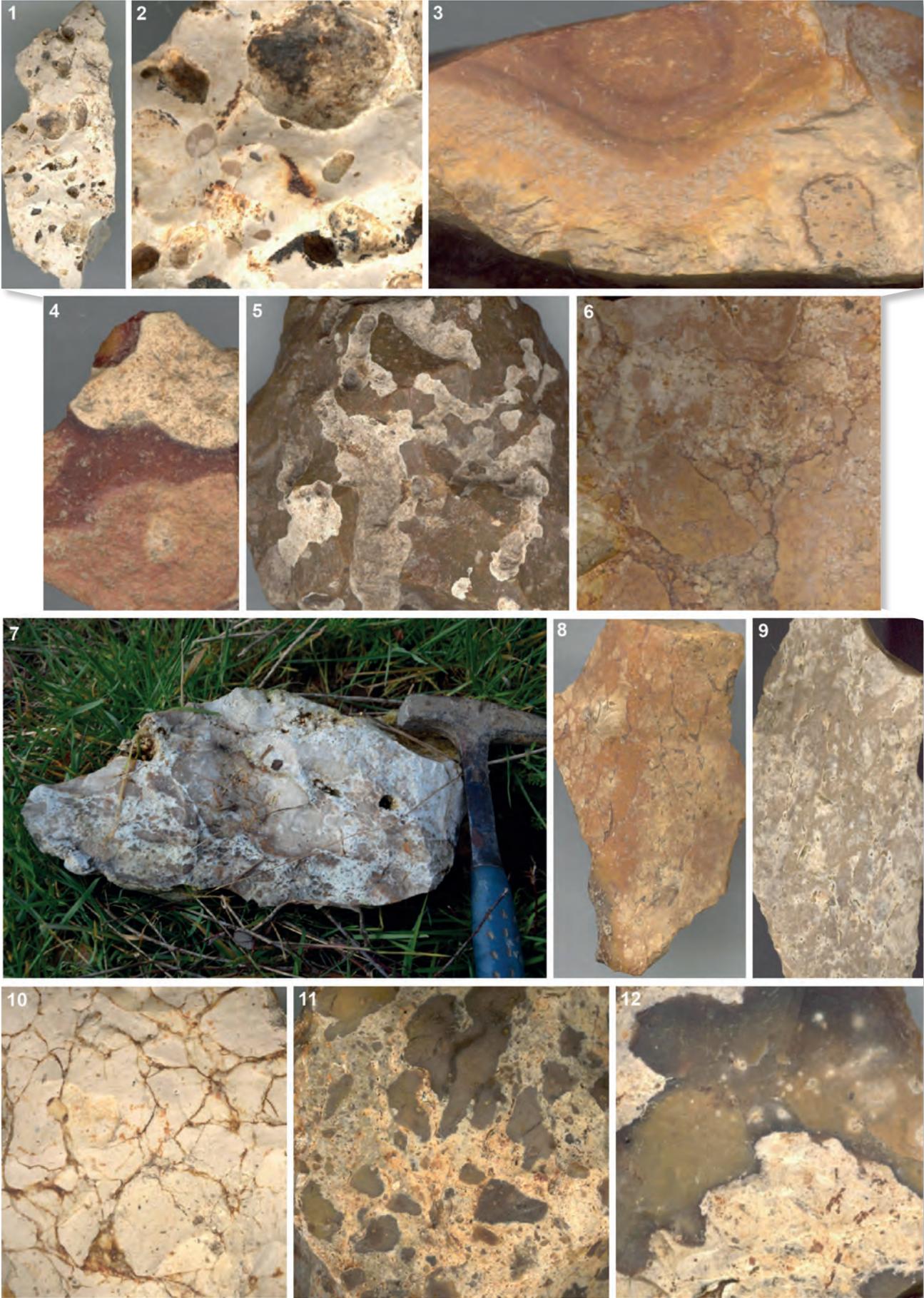


Planche 7 : Saint-Bonnet de Four- 1: Grès blanc silicifié à cavité d'illuviation(2.11x2.11cm) ; 2 : détail cavités à tubules et tapissages de silice ; 3: Calcaire gréseux silicifié à clastes calcaires (3.2x3.3cm) ; 4 : Calcaire à stromatolite (4.3x4.7cm) ; 5 et 6 : Calcaires à stromatolites (4.5x5.6cm) ; 7 : Silex marbré à pseudomorphoses de gypse (2.11x2.11 cm) ; 8 : Silex à pseudomorphoses de gypse lancéolé et chara (négatif) (2.11x2.11cm) ; 9 : Silex marbré à chara (oogone) (2.11x2.11cm) ; 10 : Silex marbré à pseudomorphoses de gypse lancéolé et fissure (2.11x2.11cm) ; 11 : Silex marbré à jeune physe (2.1x2.1cm) ; 12 : Silex lacustre à Nystia (3.2x3.3cm).



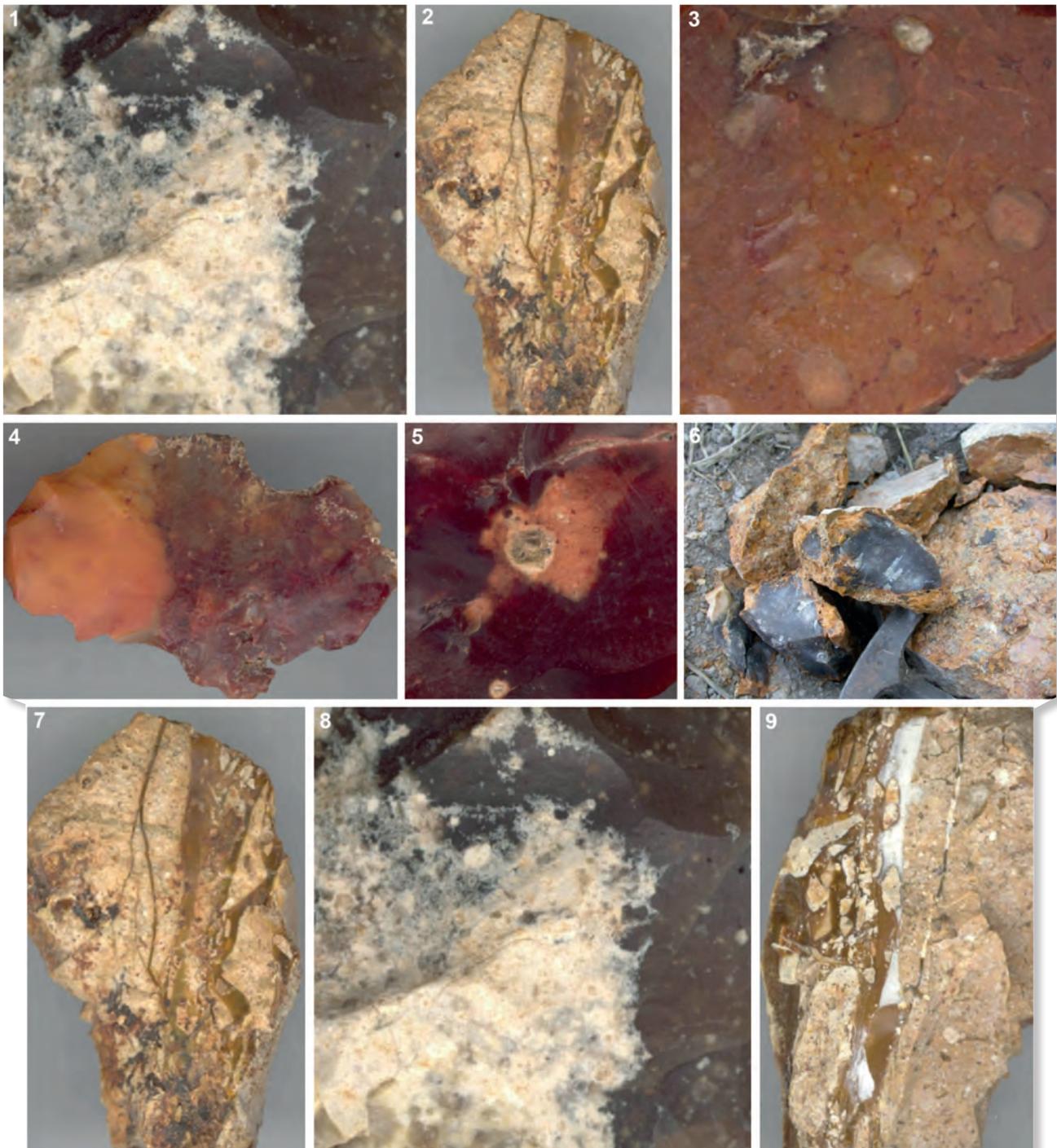


Planche 9 : Saint-Bonnet de Four - 1 : Silcrète à cortex invasif (1.3x1.4 cm) ; 2 : Silcrète rubéfié à tubules et cavité partiellement colmatée (4.5x5.6cm) ; 3 : Silcrète clastique à clastes évolués et à ooïdes (1.93x2.12cm) ; 4 : Silcrète affecté par une rubéfaction différentielle plus marquée dans la zone semi-transparente (11x7.8 cm) ; 5 : Détail : silcrète semi-transparent à rubéfaction différentielle selon les zones affectées (2.8x2.7 cm) ; 6 : Silcrète noir enrobé d'une opale orange localement pénétrative ; 7 et 8 : Cataclasite de faille colmatée par un ciment d'opale recoupant un silcrète.

Planche 8 (ci-contre): Saint-Bonnet de Four

1 : Faciès général (3.6x8.3 cm) ; 2 : Détail : Matrice à clastes de quartz parfois enrobés (1.9x1.9 cm) ; 3 : Fragment de rognon de silex violacé zoné envahi dans son cortex par un matériel silico-bréchiq(cm) ; 4 : Cortex, zone sous-corticale du même faciès ; 5 : Faciès à cavités de décalcification ; 6 : Faciès bréchiq avec trémie d'illuviation ; 7 : Bloc de silcrète à matrice massive bordée d'un conduit d'illuviation à texture pseudobréchiq ; 8 : Silcrète protodobréchiq et à tubules racinaires (6.6x10.2cm) ; 9 : Silcrète à tubules racinaires (4.8x8.3cm) ; 10 : Silcrèteprotodobréchiq (7.1x9.1 cm) ; 11 : Silcrète pseudobréchiq à clastes golfés et tubules (4.1x4.1 cm) ; 12 : Silcrète : faciès commun à cortex et zone sous-corticale brune (4.4x4.4cm).

2.1.3. PARTICIPATION À L'ENQUÊTE NATIONALE SUR LES LITHOTHÈQUES (CBL, PF)

Historique

Dés 2013, le PCR « Réseau de lithothèque en Rhône-Alpes » a œuvré à la création d'un réseau fédérant un grand nombre d'acteurs d'un grand Sud de la France. Ce groupe s'est constitué dans le giron des UMR (7264 - CEPAM, 5594 - LAMPEA, 5199 - PACEA, 5060 - IRAMAT-CRP2A, 5608 - TRACES) et la société agréée d'archéologie préventive (Paléotime). Au cours de l'année 2013 ce groupe a organisé la tenue de plusieurs réunions afin de promouvoir la formation d'un réseau dans le cadre du pôle public de recherche archéologique, d'en assurer la visibilité, l'accès libre et d'en développer les performances et l'opérabilité. Le projet a été alors présenté aux différentes Commissions interrégionales de la recherche archéologiques (Rhône-Alpes, Auvergne, Méditerranées, Sud-ouest) qui l'ont favorablement accueilli.

Cette communauté, à laquelle l'Inrap a été associé rapidement, a suscité entre 2014 et 2015 l'organisation de plusieurs réunions de travail sous les auspices du Ministère de la Culture et du CNRS afin d'aborder notamment les questions relatives i) à l'adossement de ce projet à une structure de recherche coopérative (RTP, GdR, Equipex ...) et ii) à sa mise en perspective européenne et internationale.

Plusieurs initiatives ont depuis découlé de cette concertation interinstitutionnelle déjà en partie mentionnées (organisation en 2016 et 2017 d'une école thématique CNRS en partenariat avec le Ministère de la Culture, l'Inrap et la SARL Paléotime, d'un séminaire Silex au Musée d'Ornac en partenariat avec le Musée et à la base Inrap de Saint-Cyr-en-Val) et le lancement d'une enquête nationale. Cette enquête avait pour objectif de faire un état des lieux afin de fournir un panorama national des lithothèques et de leurs contenus. Le groupe de travail coordonné par C. Bressy-Léandri s'est appuyé sur une consultation préalable des UMR, SRA et de l'Inrap pour la désignation de référents régionaux sur la question des géoressources.

Déroulement de l'enquête

Un même formulaire d'enquête, mis au point par C. Bressy-Léandri, a été validé par le groupe de travail en 2016 (Didier Binder, Paul Fernandes, Céline Bressy-Léandri, André Morala, Geneviève Pinçon, Jean-Paul Raynal, Alain Turq, Françoise Bostyn, Patrick Pion). Assurant le secrétariat de l'enquête, le Centre national de la Préhistoire (CNP) a diffusé

le formulaire fin février 2016 à la liste des référents désignés par les UMR, les services régionaux de l'archéologie, soit 32 personnes correspondant à autant d'institutions. L'Inrap a organisé sur les mêmes bases une enquête interne coordonnée par Françoise Bostyn.

En retour, ont été reçues 27 réponses. Le dépouillement des réponses en 2017 a permis de constituer un corpus de 36 fiches lithothèques, d'autres réponses restant, à ce jour en attente. Le document donne tout de même une bonne idée du nombre de lithothèques de leur rattachement, leur implantation et du nom et des coordonnées des personnes qui en sont responsables (Figure 213.1). A l'inverse, devant l'hétérogénéité des réponses sur la couverture géographique, il n'a pas été possible de transposer ces données sur une carte.

2.1.4. INVENTAIRE DES LITHOTHÈQUES RÉGIONALES, CARACTÉRISATION FINE DES TYPES MARQUEURS, CONSTITUTION D'UN CATALOGUE RÉGIONAL (XD, PF, CBL)

Une version augmentée de la lithothèque Dolomieu, est depuis 2015 conservée dans les locaux de la société Paléotime. Fondée par P. Bintz dans les années 1970, elle fut enrichie par les travaux de Grünwal (Grünwald et Affolter 1995), Stouvenot (1997), Riche (1998) et Bressy (2002). La gestion de cette lithothèque n'a pas cessé depuis 1996 (Bintz, Léandri-Bressy, Fernandes). La collection comprend les échantillons collectés par : Affolter, André, Bernard, Bintz, Léandri-Bressy, Grünwald, Martineau, Monin, Morin, Picavet et une partie des séries étudiées par Stouvenot, Riche, Piboule et Fernandes. En juin 2017 le PCR a pris en charge financièrement le nettoyage, le recollement et le rangement dans des caisses plus appropriées de cette collection importante (759 gîtes recensés). Dans un même casier, sont rangés la totalité des filiations d'un même type génétique. La collection couvre l'ensemble des départements de la nouvelle grande région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est bien entendu déjà consultable par les étudiants ou les chercheurs qui seraient intéressés. Ce travail entrepris par Xavier Deparnay (membre du PCR) doit être finalisé lors du premier trimestre de 2018.

2.1.5. CONSTITUTION ET PUBLICATION D'UN ATLAS DES TYPES MARQUEURS EN AUVERGNE RHÔNE-ALPES (PF, VD, MP)

Le travail collectif qui doit aboutir à la création du catalogue des principaux types de silicifications en Auvergne Rhône-Alpes n'est pas encore

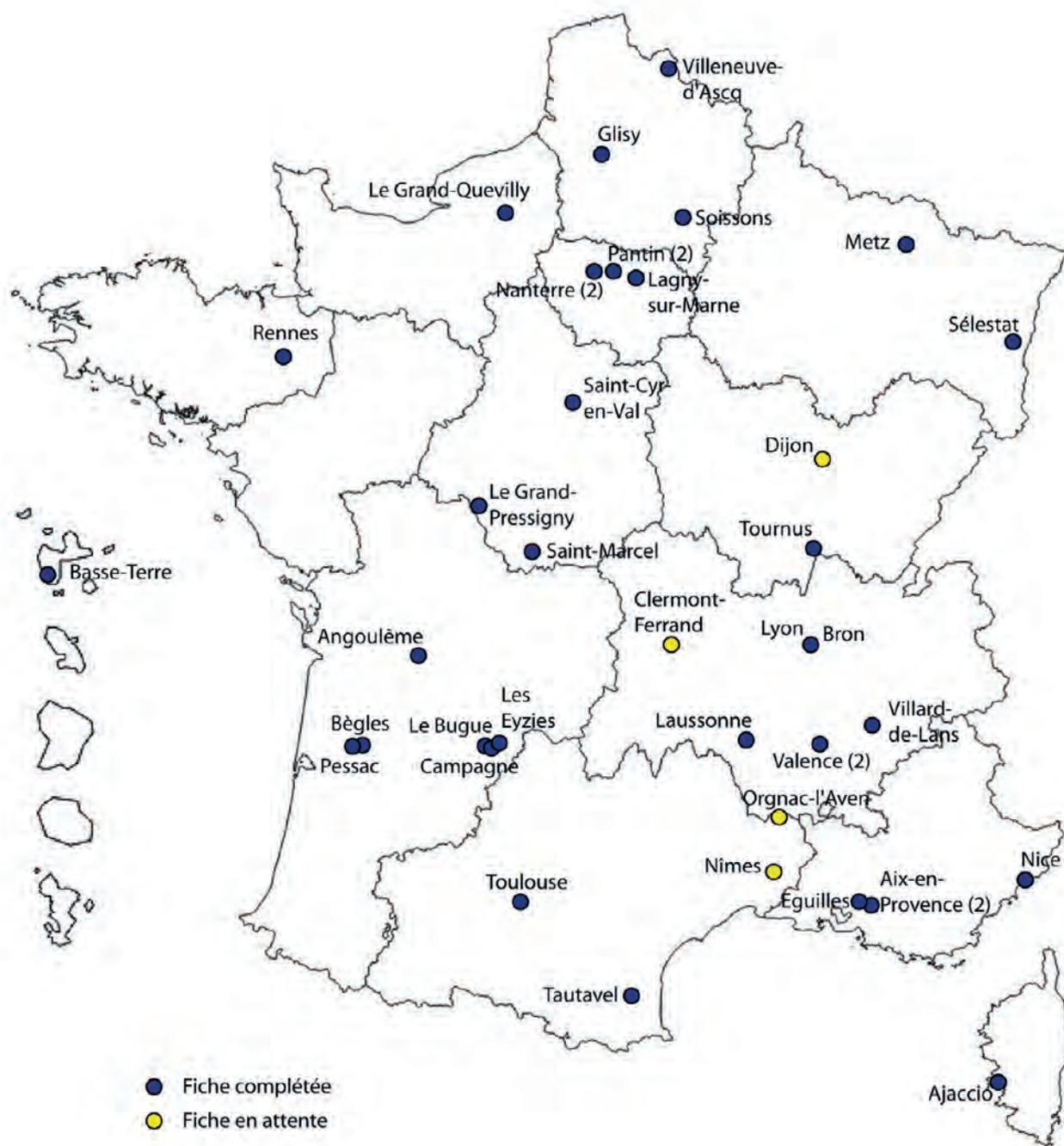


Figure 213.1 : Répartition des lithothèques sur le territoire national.

finalisé. Le retard pris dans le cadre de cette action est lié à l'absence d'un choix définitif sur la forme et le contenu d'un tel ouvrage. Le fichier actuel, présenté en partie dans le rapport du PCR de l'année 2012, contient une description pétrologique synthétique sur une double page (une page description faite en parallèle d'une planche photographique à plusieurs échelles).

Les descriptions harmonisées correspondent :

- à des informations d'ordre général : le code du type (selon la nomenclature établie par Fernandes et Raynal, 2006), le nom vernaculaire, l'origine stratigraphique primaire, l'origine stratigraphique secondaire (*i.e.* l'ensemble des terrains où est retrouvé ce type), la région d'affleurement primaire et, quand celle-ci est connue, la région d'affleurement secondaire (*i.e.* l'aire de diffusion du matériau) ;
- des informations ayant trait à la silicification : le type de silicification, le protolithe (ou encaissant), le milieu de dépôt du protolithe et la forme (*habitus*) ;
- des informations liées au cortex et/ou au néocortex : épaisseur, texture, composition, couleur, porosité, limite avec la zone silicifiée ;

- les informations concernant la composition de la zone silicifiée. Cette rubrique peut être divisée en différentes parties lorsque le silex *s.l.* présente des zones dont le microfaciès est tellement différent qu'il demande à être décrit séparément. On retrouve dans cette rubrique, l'épaisseur de la zone silicifiée, sa pétrofabrique (*i.e.* la proportion d'éléments figurés ou allochems, en regard de la matrice ou orthochems) exprimée en pourcentage d'allochems, sa structure décrite selon la nomenclature consacrée ayant trait aux structures sédimentaires, le tri et la répartition des allochems, la porosité exprimée en termes qualitatifs (faible, moyenne, forte), la rugosité exprimée en termes qualitatifs (faible, moyenne, forte), ainsi que la couleur initiale et, le cas échéant, la couleur acquise ;
- des informations concernant les clastes sont classés en trois catégories selon la nomenclature préconisée par R.L. Folk (1962) : la composante détritique, la composante chimique et la composante biogénique. La composante détritique correspond à l'ensemble des intraclastes et des exoclastes, chacun décrit par abondance, nature, taille et forme selon les abaques de W.C. Krumbein et L.L. Sloss (1961). La composante chimique regroupe les éléments figurés qui se sont formés dans le même environnement de dépôt que la roche, par précipitation chimique ou biochimique (coated grain, pelloïdes, gravelles et agrégats). La composante biogénique correspond aux bioclastes. Ils sont décrits en termes d'abondance, de taille, de nature et d'état de fragmentation.

A ce jour, nous avons réalisé plus d'une centaine de fiches qui ne répondent pas complètement à nos exigences. Il faudra au cours de l'année 2018 adapté ce fichier aux développements méthodologique les plus récents (voir chap. 2.2).

2.2. AXE 2 : CARACTÉRISATION DES SILEX DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUES ET CAS D'ÉTUDE (PF, VD, JPR)

Dans le cadre de cet axe, il s'agit de travailler sur des cas d'étude qui permettent d'obtenir des clés d'analyses applicables au maximum de séries archéologiques. Depuis 2015, nous privilégions les approches qui ont valeur d'exemple du point de vue méthodologique.

Ces études intègrent les avancées conceptuelles et les méthodes de caractérisation interdisciplinaires et multiscalaires (géologie structurale, micropaléontologie, minéralogie, pétrologie,

géochimie) les plus récemment élaborées qui permettent de sortir de nombreuses impasses en termes de caractérisation des origines des silex. Elles s'appuient sur les outils les mieux adaptés à la caractérisation des roches siliceuses en respectant le concept de « chaîne évolutive » du silex, fondé sur les interactions entre silex et environnements de dépôt (Hue, 1929 ; Vilas Boas, 1975 ; Aubry et al., 1975 ; Thiry, 1981 ; Glauberman et Thorson, 2012 ; Fernandes, 2012). En effet, les processus pédologiques et climatiques affectent le comportement des phases minérales composant le silex, et impactent donc l'analyse comparative des transformations minéralogiques et micromorphologiques rencontrées dans les matériaux bruts (échantillons géologiques) et dans les objets archéologiques. Cette démarche pluridisciplinaire et transversale utilise un nombre de paramètres discriminants et invariants raisonnable et livre des signatures semi-quantitatives et qualitatives robustes. Elle s'appuie sur trois notions essentielles (polarités, colorimétrie hérité et acquise et division de l'échantillon en cinq zones) et se construit à partir de trois grilles d'observation.

Les notions de base :

- La distinction des trois types de polarités (génétique, gîtologique et taphonomique) permet de rationaliser les problèmes de variabilité de l'évolution des surfaces ;
- l'évaluation de la teinte de la matrice permet de mesurer le gradient de transformation inter-bloc ;
- la séparation en cinq zones : zone interne, deux zones sous corticales et deux zones corticales permet de mieux apprécier la variabilité intra-bloc.

Les grilles d'observation

- **Grille 1 « Genèse »** : présente une série d'informations discriminantes classiques (examen de la morphologie, granulométrie et micropaléontologie) liées à la genèse du silex. Elle permet de caractériser l'échantillon en position primaire. Elle comprend uniquement la description des aspects d'origine ou hérité. Cette définition du faciès génétique passe par une série de paramètres qui doit permettre de retrouver l'origine stratigraphique et le profil paléogéographique d'un objet taillé. A ce stade il s'agit de déterminer l'habitus, le cortex et le microfaciès issus de la silicification.
- **Grille 2 « Gîtologie »** : présente une sélection d'informations discriminantes sur les effets des processus liés à la phase prédépositionnelle. Autrement dit, une caractérisation des indices

enregistrés au cours de l'itinéraire naturel parcouru par le silex. Les surfaces observées correspondent au néocortex et aux surfaces liées à la lithoclase. A ce stade, il s'agit de déterminer le nouvel habitus, le néocortex, l'évolution du microfaciès et l'arrangement spatial des surfaces prédépositionnelles pour reconstituer dans l'espace et le temps le parcours naturel de l'échantillon. Retrouver la provenance et non plus la source d'un objet taillé doit commencer par le décryptage de la succession des étapes d'altération.

- **Grille 3 « Taphonomie »** : présente les informations sur les effets des processus contrôlés par la phase post-dépositionnelle. Les zones observées correspondent aux transformations sur les surfaces liées à la fabrication et à l'utilisation de l'objet. Cette action par l'analyse des états de surface liés à l'activité anthropique contribue à l'étude taphonomique du site.

2.2.1. PROJET "CHAÎNE ÉVOLUTIVE DES SILEX" (PF, AQ, SD, FXLB, VD, MP, MT, PS, JPP, AM, AT, PG)

Nous proposons de mesurer l'évolution des silex, des gîtes primaires jusqu'aux formations alluviales. Les démarches de recherches fondamentales traitant des méthodes de caractérisation sont soutenues par le PCR depuis 2015. Ce projet s'appuie à ce jour sur un échantillonnage de silex campaniens du bergeracois (Dordogne) et barémo-bédouliens de Cruas (Ardèche). Tous ont été collectés lors de prospections (en 2015-2016) en vue d'établir un possible rapport entre le gradient d'évolution enregistré par le silex et un type de formation secondaire. Ce double échantillonnage porte sur plusieurs spécimens de silex préparés sous la forme de lames minces non couvertes de 30µm et semi-épaisses de 300µm. Un total de 26 lames est disponible à ce jour. Ces lames minces ont été documentées avec une binoculaire et par microscopie optique de polarisation en lumière polarisée non analysée (LPNA), en lumière polarisée analysée (LPA) et en teinte sensible. Ce protocole met en évidence la zone corticale externe et la succession d'interfaces jusqu'à la zone interne. Ces observations symptomatiques des textures et structures (ou "stigmates") rencontrées dans l'évolution des silex, servent de point de repère (jalons) pour les futures analyses quantitatives. Outre la validation des méthodes d'observation en cours de développement (binoculaire, MEB, microscope confocal), il s'agit de tester, dans un premier temps, la pertinence de la spectroscopie Raman. En fonction des résultats obtenus et des disponibilités d'accès, nous recourons déjà

à des techniques analytiques tierces telles que le plasma induit par ablation laser couplé à la spectrométrie de masse (LA-ICP-MS, dosage élémentaire) et avons le projet d'utiliser l'analyse du rayonnement X sous faisceau de protons (PIXE, cartographie et dosage élémentaire).

Exemple du silex du bergeracois

Le silex du Bergeracois est l'un des marqueurs les plus connus des préhistoriens, pourtant son origine stratigraphique, sa composition minéralogique et sa nature pétrographique posent encore des problèmes. Afin de combler ce déficit, nous avons entamé dès 2011 un travail de diagnose pétrologique qui intègre à la démarche classique et la prise en compte des transformations post-génétiques.

Pour cela, nous nous sommes concentrés sur les microfaciès à *Orbitoïdes media* et rudistes du Campanien V. Nous avons comparé des échantillons des calcaires bioclastiques de la Roque (La Roque-Gageac, Dordogne), de la fontaine de Campsegret sur la Rn21 (communes de Saint Julien-de-Crempe et de Campsegret, Dordogne) et de la carrière de frais Vallon près du hameau de Lespinasse (commune d'Issac, Dordogne) avec ceux du complexe d'altérations issu du Crétacé supérieur de la forêt de Monclard (communes de Saint-Georges-de-Montclard et de Campsegret, Dordogne).

La caractérisation de ces silex s'appuie désormais sur un corpus analytique plus solide. Le protocole comprend les techniques suivantes : la loupe binoculaire et le MEB pour les microfaciès, le microscope de polarisation pour la minéralogie et la Spectroscopie Raman pour la composition chimique.

L'analyse en cours permet d'avancer les résultats suivants : Les silex possèdent une structure peltoïdes, les clastes représentant entre 40 et 50 % de la matrice. La microfaune est essentiellement benthique. Certains de ces silex sont caractérisés par l'abondance des *Orbitoïdes media* et la présence en fréquence variable de *Fallotia*. Associés aux foraminifères, on observe fréquemment un grand nombre de thalles de dasycladacées, de fragments de bryozoaires, de bivalves, de polypiers et d'échinides. On note la présence de quelques spicules triaxones. Nous n'avons pas observé de *Lepidrobotoides* minor. Les pelloïdes font entre 200 et 300 µm. Leur classement est bon et leur forme est sub-anguleuse. Les similitudes, au niveau micropaléontologique, entre les silex collectés en position primaire à la Roque et à la fontaine de Campsegret et les échantillons collectés dans

les altérites de la Forêt de Montclard semblent confirmer que les rognons ou nodules zonés sont issus de l'altération en place des silex des calcaires du Campanien V, en lien avec les fluctuations des nappes souterraines.

Les silex des calcaires du Campanien V, comme les formes altérés que l'on trouve dans la forêt de Montclard, sont majoritairement composés de calcédoine (SiO₂) et de grains de quartz détritique de forme et de taille comparables. Une quantité variable d'opale-CT (5 % à 25 %) a été trouvée dans les deux groupes. La majorité des différences observées dans les silex issus des altérites semblent lier à l'altération de ces derniers. Pour les échantillons non-altérés prélevés dans les calcaires, on note la présence de 0,5 % à 5 % de calcite micritique. Il s'agit d'un reliquat du sédiment d'origine épargné par la silicification. Il a complètement disparu dans les silex altérés. Les échantillons des altérites présentent une phase argileuse (< 1 %) qui est absente des silex en position primaire. Cet apport de matière est accompagné par la deshydroxylation de la calcédoine qui semble être liée à la décalcification des dépôts dans lesquels se sont formés ces silex. C'est essentiellement cette transformation post-génétique qui modifie les propriétés mécaniques de ces silex.

En parallèle, l'analyse des états de surface (à la binoculaire et au MEB) a permis de discerner l'organisation des processus ayant modifié la surface. Les zones transformées à la périphérie des échantillons issus des altérites de la Forêt de Montclard indiquent une histoire minéralogique et géochimique polychronique et polygénétique. La variabilité de la composition des zones corticale et endocorticale est nettement plus prononcée que dans la zone interne. On observe (de la périphérie vers la zone interne) un néocortex externe à forte porosité à mégaquartz, calcédoine et argiles riches en fer. Un néocortex interne à porosité plus faible, pauvre en fer à quartz pétaoloïdes et sphérolites de calcédoine. Une interface à très forte polarité, pauvre en quartz surtout composé de calcédoine d'argiles et de fer. Enfin, une zone interne riche en calcédoine, pseudo-calcédoine, fer et un composant opaque non déterminé.

Les mêmes types d'analyses sont en cours sur les silex barrémo-bédouliens de la moyenne vallée du Rhône.

2.3 AXE 3 : DÉVELOPPEMENT FICHES D'INVENTAIRE, DE CARACTÉRISATION ET D'UN SIG DES FORMATIONS À SILEX (CT, PF, VD, JPR).

En 2017, l'essentiel des efforts ont porté sur les points suivants :

- 1) Finalisation de la fiche de données de terrain au format .xls
- 2) Réalisation d'une base de données de caractérisation des silex (BDD) sous MSAccess ;
- 3) Établissement des liens entre la fiche de terrain et la BDD Access avec un logiciel de SIG ;
- 4) Développement d'applications de consultation et modification de données sur les formations et les gîtes à silex sur AGOL ;
- 5) Tests sur des applications de consultation et de modification des données en situation de mobilité ;
- 6) Exploration des possibilités d'utilisation de l'approche multi-agents pour la modélisation des parcours du silex (formation MAPS10).

2.3.1. FINALISATION DE LA FICHE DE DONNÉES DE TERRAIN AU FORMAT .XLS

A la suite de l'Ecole thématique SILEX qui a eu lieu à Nice en novembre 2016 (cf. rapport 2016), il est apparu qu'un alignement des termes utilisés pour l'observation et la description des gîtes à silicites et l'inventaire des lithothèques était indispensable pour établir une fiche de terrain commune aux chercheurs engagés dans le PCR. Divers échanges entre PF, VD et CT ont eu lieu au cours du premier semestre 2017, et une réunion de travail réunissant ces trois chercheurs s'est tenue au Siège de l'Inrap le 08/06/2017.

La fiche établie, dont la version brute (administrateur) est illustrée dans le tableau 231.1, a vocation à être utilisée pour renseigner les points de collecte d'échantillons de silicite et la description des silicites dans les différentes lithothèques. La première colonne fournit l'intitulé complet du champ. La seconde colonne (Indétermination possible) indique les champs qui doivent être renseignés dans tous les cas (valeur N) et ceux qui peuvent ne pas être renseignés (valeur O). La troisième colonne précise le type de champs à savoir :

- Alphanumérique (43 champs) ;
- Numériques entiers (2 champs) ;
- Numériques réels à 6 décimales (4 champs) ;
- Date (3 champs).

A ce jour la fiche comporte 52 champs répartis en huit catégories.

Nom du champ descriptif	Indétermination possible	Type champ
Numéro de gîte (un numéro unique)	N	Alphanumérique
Auteur-e-s de la création de la fiche (nom, prénom)	N	Alphanumérique
Auteur-e-s de la modification de la fiche (nom, prénom)	O	Alphanumérique
Auteur-e-s de la collecte (nom, prénom ou inconnu)	O	Alphanumérique
Date de prélèvement de l'échantillon	O	Date
Date de création de la fiche	N	Date
Date de modification de la fiche	O	Date
Source des données (terrain, reprise de lithothèques anciennes)	N	Alphanumérique
Programme cadre de la collecte (prospection, PCR, GRDI, ANR, fouille d'un site, etc.)	O	Alphanumérique
Nom de la lithothèque	N	Alphanumérique
Adresse postale de la lithothèque (numéro, voie, commune, code postal, pays)	N	Alphanumérique
Emplacement dans le lieu de stockage (numéro d'armoire, numéro de caisse, numéro de tiroir, etc.)	O	Alphanumérique
Numéro d'inventaire dans la lithothèque	N	Alphanumérique
Lieu-dit du gîte	O	Alphanumérique
Commune du gîte	N	Alphanumérique
Département du gîte	N	Alphanumérique
Pays du gîte	N	Alphanumérique
Coordonnée précise en X du gîte d'après GPS ou carte (latitude en degrés décimaux)	O	Numérique + 6 décimales
Coordonnée précise en Y du gîte d'après GPS ou carte (longitude en degrés décimaux)	O	Numérique + 6 décimales
Altitude précise du gîte (en mètres)	O	Numérique entier
Coordonnée en X de centroïde de la commune du gîte (latitude en degrés décimaux)	O	Numérique + 6 décimales
Coordonnée en Y du centroïde de la commune du gîte (longitude en degrés décimaux)	O	Numérique + 6 décimales
Carte géologique	N	Alphanumérique
Ere	O	Alphanumérique
Série	O	Alphanumérique
Etage	O	Alphanumérique
Nom de la formation géologique	O	Alphanumérique
Commentaire sur la détermination de l'âge du gîte	O	Alphanumérique
Lithologie de l'encaissant (calcaire, argile, grès, sable, etc.)	O	Alphanumérique
Type de gîte (primaire, sub-primaire, secondaire, etc.)	O	Alphanumérique
Type d'affleurement (falaise, coupe artificielle, mine, champ, etc.)	O	Alphanumérique
Position de récolte de l'échantillon (dans l'affleurement, en pied de falaise, dans l'éboulis, dans un p	O	Alphanumérique
Nature de l'échantillon (silex, grès, calcaire silicifié, jaspe, etc.)	O	Alphanumérique
Habitus (galet, blocs, nodules, etc.)	O	Alphanumérique
Variabilité dimensionnelle des blocs (homométrique, hétérométrique)	O	Alphanumérique
Moyenne des dimensions des blocs (centimétriques, pluricentimétriques, décimétriques, pluridécim	O	Alphanumérique
Dimensions des blocs (centimétriques, pluricentimétriques, décimétriques, pluridécimétriques, métr	O	Alphanumérique
Description des volumes (taillabilité, fracturation, gélifraction, etc.)	O	Alphanumérique
Gîte en danger (oui, non, indéterminé)	O	Alphanumérique
Gîte épuisé (oui, non, indéterminé)	O	Alphanumérique
Site archéologique associé (oui, non, indéterminé)	O	Alphanumérique
Nombre de blocs collectés	N	Numérique entier
Type de collecte (systématique, sélectif)	O	Alphanumérique
Polarité documentée (oui, non)	N	Alphanumérique
Existence d'une fiche descriptive (oui, non)	N	Alphanumérique
Numéro de la fiche descriptive existante	O	Alphanumérique
Lien hypertexte vers la fiche descriptive (pdf)	O	Alphanumérique
Existence d'une photographie du gîte (oui, non)	N	Alphanumérique
Lien vers la photographie du gîte avec légende	O	Alphanumérique
Existence d'une photographie de l'échantillon (oui, non)	N	Alphanumérique
Lien vers la photographie de l'échantillon avec légende	O	Alphanumérique
Type d'échantillon (multivaleurs possibles : blocs, éclats, talons, lames minces, couvertes, non-couv	N	Alphanumérique

Tableau 231.1 : Fiche de terrain brute au format .xls. En rouge, sont indiqués les champs qui doivent être renseignés par l'administrateur des données.

La catégorie « **informations administratives de la lithothèque** » contient : 1. Le numéro de gîte (numéro unique renseigné par l'administrateur) ; 2. L'auteur-e-s de la création de la fiche (prénom et nom entier) ; 3. L'auteur-e-s de la modification de la fiche (prénom et nom entier) ; 4. L'auteur-e-s de la collecte (prénom et nom entier) ; 5. La date de prélèvement de l'échantillon (au format XX/XX/XXXX) ; 6. La date de création de la fiche (au format XX/XX/XXXX) ; 7. La date de modification de la fiche (au format XX/XX/XXXX) ; 8. La source des données (terrain ou inventaire de lithothèques déjà constituée) ; 9. Le programme cadre de la collecte (Nom du programme).

La catégorie « **informations administratives sur la lithothèque** » contient : 10. Le nom de la

lithothèque (nom entier de la lithothèque) ; 11. L'adresse postale de la lithothèque (numéro, voie, commune, code postal, pays) ; 12. L'emplacement dans le lieu de stockage (libre en fonction du numéro d'armoire, de caisse, de tiroir...) ; 13. Le numéro d'inventaire dans la lithothèque (libre en fonction du classement local).

La catégorie « **informations sur la localisation du gîte** » contient : 14. Le lieu-dit du gîte (nom du lieu-dit) ; 15. La commune du gîte (nom de la commune) ; 16. Le département du gîte (nom du département) ; 17. Le pays du gîte (nom du Pays) ; 18. La coordonnée précise en X du gîte d'après GPS ou carte (latitude en degrés décimaux) ; 19. La coordonnée précise en Y du gîte d'après GPS ou carte (longitude en degrés décimaux) ; 20. L'altitude

précise du gîte (en mètres) ; 21. La coordonnée en X du centroïde de la commune du gîte (latitude en degrés décimaux, si la coordonnée précise en X du gîte n'est pas connue) ; 22. La coordonnée en Y du centroïde de la commune du gîte (longitude en degrés décimaux, si la coordonnée précise en Y du gîte n'est pas connue).

La catégorie « **informations sur la géologie du gîte** » contient : 23. Le numéro et le nom de la carte géologique (p. ex. N542-Preuilly-sur-Claise) ; 24. Le nom de l'ère géologique à laquelle appartient le gîte (nom de l'ère) ; 25. Le nom de la série géologique à laquelle appartient le gîte (nom de la série) ; 26. Le nom de l'étage géologique auquel appartient le gîte (nom de l'étage) ; 27. Le nom de la formation géologique à laquelle appartient le gîte (nom de la formation) ; 28. Le commentaire sur le mode de détermination de l'âge du gîte (texte libre) ; 29. La Lithologie de l'encaissant (nom de la roche encaissante).

La catégorie « **informations sur le type de gîte** » contient : 30. Le type de gîte (primaire ou secondaire, si secondaire précisé) ; 31. Le type d'affleurement (p. ex. falaise, coupe artificielle, mine, champ, éboulis) ; 32. La position de récolte de l'échantillon (p. ex. dans l'affleurement, dans l'éboulis, dans un pierrier...) ; 33. Le caractère « en danger » du gîte (oui, non, indéterminé) ; 34. Le caractère « épuisé » du gîte (oui, non, indéterminé) ; 35. La présence d'un site archéologique associé (oui, non, indéterminé).

La catégorie « **informations sur les échantillons** » contient : 36. La nature de l'échantillon (p. ex. silicite, silex, grès, calcaire silicifié, jaspe...) ; 37 ²(nb). L'habitus (ou la morphologie) des échantillons (p. ex. galet, blocs, nodules...) ; 38. La variabilité dimensionnelle des blocs (homométrique ou hétérométrique) ; 39. La moyenne des dimensions des blocs (classe de valeurs en centimètres) ; 40. La dimension minimale et maximale des blocs (classe de valeurs en centimètres) ; 41 La description des volumes (degré de taillabilité, présence de fracturation, gélifraction...).

La catégorie « **informations sur l'échantillonnage** » contient : 42. Le nombre de blocs collectés (valeur numérique) ; 43. Le type de collecte (systématique ou sélectif) ; 44. La présence ou non d'une polarité documentée sur l'échantillon (oui, non).

La catégorie « **informations sur les éléments associés** » contient : 45. L'existence d'une fiche descriptive (oui, non) et le cas échéant 46. Le

² Les classes de tailles pour les champs 39 et 40 ont été définies lors de l'école de terrain de Saint-Cyr-en-Val (chap. 2.3.1.) : (0-1) ; (1-5) ; (5-10) ; (10-20) ; (20-50) ; (50-100) ; (> 100)

numéro de la fiche descriptive existante et 47. Le lien hypertexte vers la fiche descriptive en .pdf (renseigné par l'administrateur) ; 48. L'existence d'une photographie du gîte (oui, non) et le cas échéant 49. Le lien vers la photographie du gîte avec sa légende (renseigné par l'administrateur) ; 50. L'existence d'une photographie de l'échantillon (oui, non) et le cas échéant 51. Le lien vers la photographie de l'échantillon avec légende (renseigné par l'administrateur) ; 52. Le type d'échantillon (blocs, éclats, talons, lames minces)

Cette fiche a été produite sous la forme d'un fichier au format .xls, mais elle peut aussi être diffusée et utilisée au format .csv si besoin. Elle peut être renseignée sur le terrain sur PC portables, tablettes et smartphones disposant d'applications pouvant ouvrir et enregistrer des données au format .xls. Une fois renseigné, ce fichier vient alimenter certains des champs de la BDD sous Access sur les données descriptives des silex (chap. 2.2.1).

Cette fiche harmonisée, qui a pour but d'homogénéiser les pratiques de terrain, a été proposée et validée lors des réunions du bureau pour la constitution d'un GDRI silex.

2.3.2. CRÉATION D'UNE BASE DE DONNÉES (BDD) SOUS MSACCESS (CT, PF, VD)

Une base de données pour la caractérisation des silicites, développée sous MSAccess 2003 et dont le formulaire d'accueil est présenté dans la figure 232.1, a été réalisée cette année par CT.



Figure 232.1 : Formulaire d'accueil de la BDD sous Access 2003.

Une version pour Access 2016 a également été réalisée, sans modification majeure par rapport à la version pour Access 2003 (figure 232.2), puisque seul change le format du fichier ; la version 2016 d'Access utilisant le format .accdb alors que la version 2003 utilise le format .mdb.



Figure 232.2 : Formulaire d'accueil de la BDD sous Access 2016.

A partir de ce formulaire d'accueil, trois formulaires sont disponibles :

- Données de pétrographie (80 champs)
- Données de gîtologie (43 champs)
- Données de taphonomie (38 champs)

Au total, ces trois formulaires comportent 161 champs.

L'ensemble des données à saisir dans les trois formulaires de la BDD s'appuient sur le concept de chaîne évolutive des silex (Fernandes, 2012). Par ailleurs, les formations à silex sont distinguées sur la base du faciès acquis par les silex au cours de leur parcours naturel. Les liens entre le fichier de saisie sur le terrain et la BDD concernent chacun des échantillons géologiques collectés. Ces derniers sont décrits dans trois grilles d'observation :

- La grille 1 « Pétrographie » présente les informations liées à la genèse du silex. Elle doit permettre de caractériser l'origine stratigraphique et le profil paléogéographique.

- La grille 2 « Gîtologie » présente les informations ayant trait aux effets des processus liés à la phase prédépositionnelle pour déterminer le lieu de collecte. Les surfaces observées correspondent au cortex et aux surfaces liées à la lithoclase prédépositionnelle.
- La grille 3 « Taphonomie » présente les informations ayant trait aux effets des processus contrôlés par la phase post-dépositionnelle pour contribuer à l'étude taphonomique du site. Les surfaces observées correspondent à celles liées à la fabrication de l'objet.

2.3.3. ETABLISSEMENT DES LIENS ENTRE LA FICHE DE TERRAIN ET LA BDD ACCESS AVEC UN LOGICIEL DE SIG (CT)

Les liens entre la fiche de terrain et la BDD Access s'établissent par un travail d'appariement des champs de la fiche de terrain et des champs correspondants dans les trois tables de la BDD Access (figure 233.1). A ce jour, il n'y a pas d'appariement complet entre les champs du fichier de la fiche de terrain et les champs de la table de pétrographie de la BDD sous Access. Si les données saisies dans la fiche de terrain doivent être utilisées pour renseigner tout ou partie des champs du formulaire de gîtologie de la BDD, il est possible de procéder de deux manières différentes : 1) par copier-coller entre les cellules de la fiche de terrain et la rubrique correspondante dans l'un des trois formulaires de la BDD et 2) par importation dans la BDD des champs correspondant du fichier de la fiche de terrain.

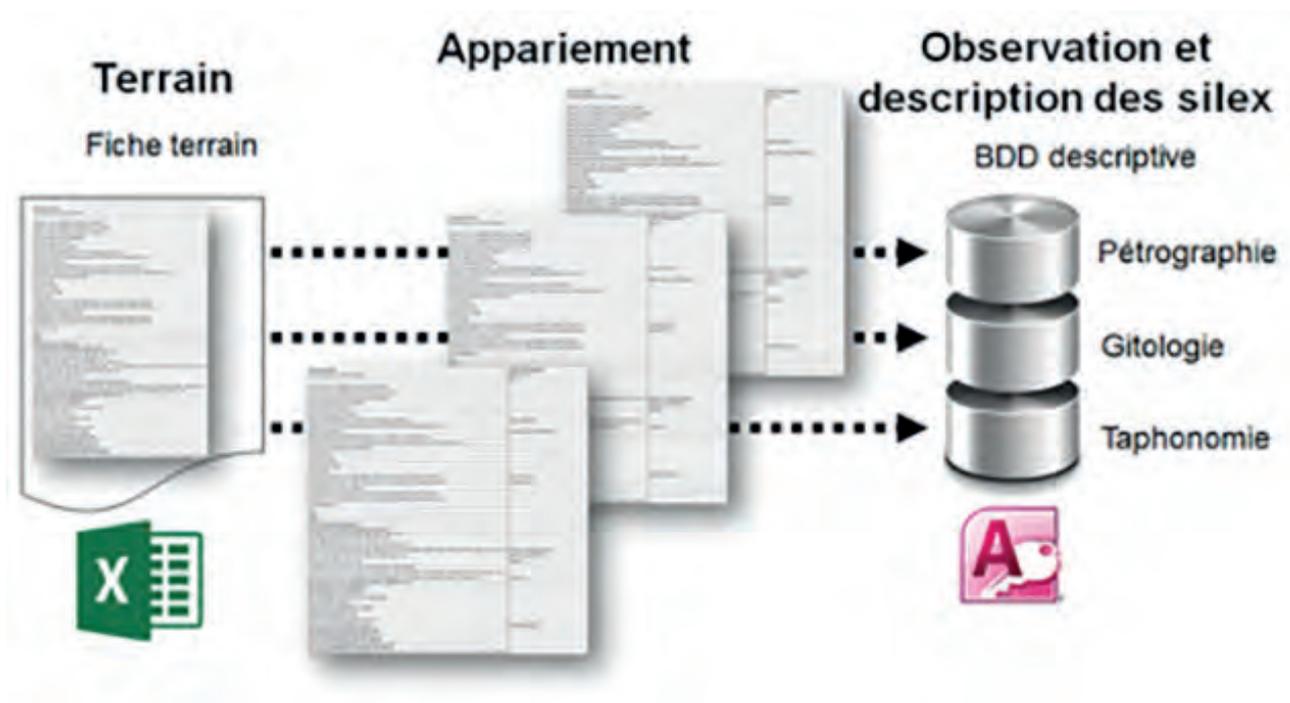


Figure 233.1 : Appariement entre les champs de la fiche de terrain et les champs des trois tables de la BDD descriptive.

Par ailleurs, la fiche de terrain comme le formulaire gîtologie de la BDD disposent tous les deux de données minimales à saisir pour le géoréférencement des données de gîtologie à l'aide de deux champs correspondant aux coordonnées X et Y à renseigner en coordonnées géographiques WGS 84, donc en degrés décimaux comme cela est indiqué explicitement dans la fiche de terrain et la BDD Access. Ce système de coordonnées géographiques permet que les données soient directement utilisées dans un SIG, tant en France métropolitaine que dans les pays limitrophes, voire dans les pays d'outre-mer puisque ce système de coordonnées est utilisable pour tout point du globe sans avoir à effectuer de transformations de système de coordonnées.

La fiche de terrain, comme les trois formulaires de la BDD sous Access, peuvent être affichés sous forme de table attributive dans un logiciel de SIG comme QGIS ou ArcGIS (en annexes 1 à 3 de ce rapport, la méthode pour afficher les données de la fiche de terrain dans QGIS est présentée, mais on peut faire de même avec le logiciel ArcGIS.) Puis, dans un deuxième temps, il est possible de créer un fichier shape (.shp), que ce soit dans QGIS ou ArcGIS, à partir du couple de coordonnées X et Y présents dans les deux tables de la BDD Access qui comportent ce type de champs, à savoir la table des données de gîtologie et celle des données de pétrographie (figure 233.2).

2.3.4. DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS DE CONSULTATION ET MODIFICATION DE DONNÉES SUR LES FORMATIONS ET LES GÎTES À SILEX SUR AGOL

A la suite des travaux réalisés depuis 2014, la plateforme de cartographie en ligne ArcGisOnLine (AGOL) d'ESRI a continué à être utilisée pour explorer de nouvelles possibilités. Plusieurs applications de partage des données ont été développées à l'aide de WebApp Builder for ArcGIS (figure 234.1). Cet outil permet de construire facilement une application web de diffusion des données cartographiques et aucune ligne de code ne doit être rédigée, ce qui rend l'utilisation de cet outil très aisée et accessible à des non-informaticiens.

Les fonctionnalités proposées aux utilisateurs dans cette application sont les suivantes :

- Affichage des couches sur les formations et sur les points de collecte d'échantillons ;
- Affichage des légendes pour chacune des couches ;
- Affichage de plusieurs WMS : p. ex. celui d'INFOTERRE du BRGM pour les cartes géologiques scannées à différentes échelles ou celui du Référentiel Hydrographique National du SANDRE pour les contours des bassins-versants et du réseau hydrographique ;
- Affichage des données attributaires associées aux polygones des formations à silex et des bassins-versants ;

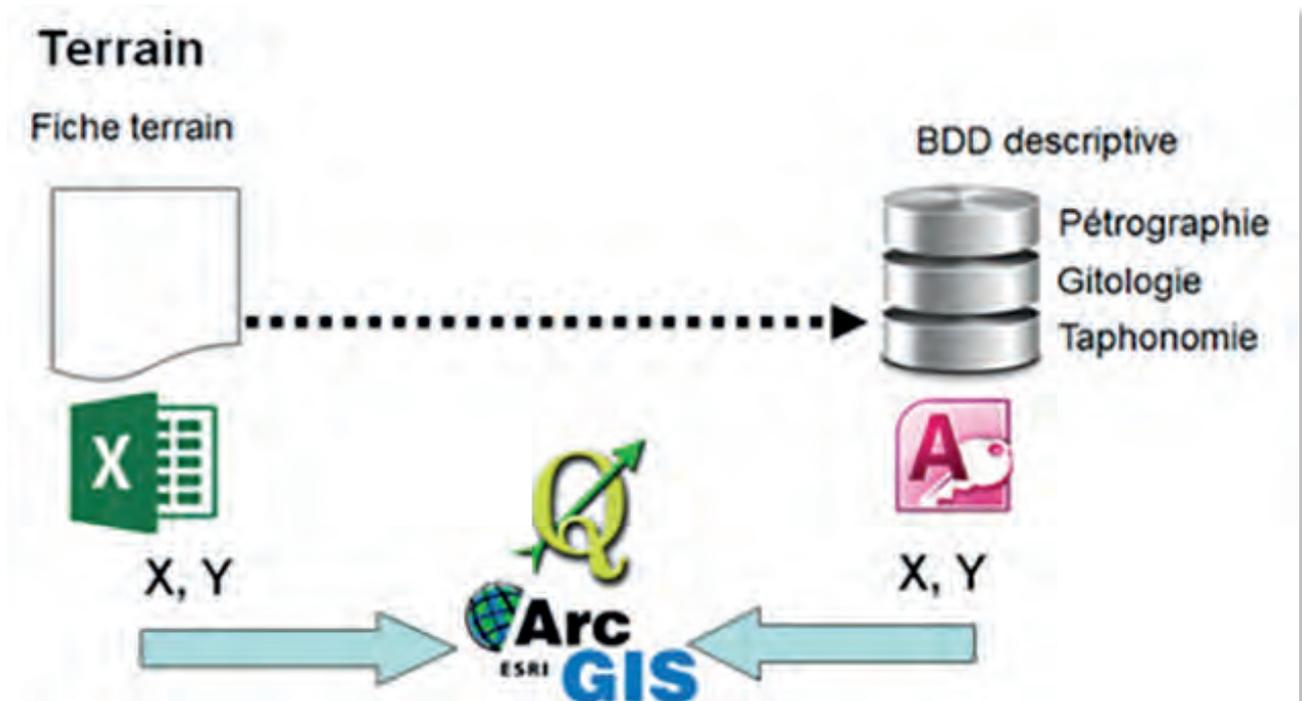


Figure 233.2 : Lien entre la fiche de terrain (fichier au format .xls) et la BDD descriptive (fichier Access).

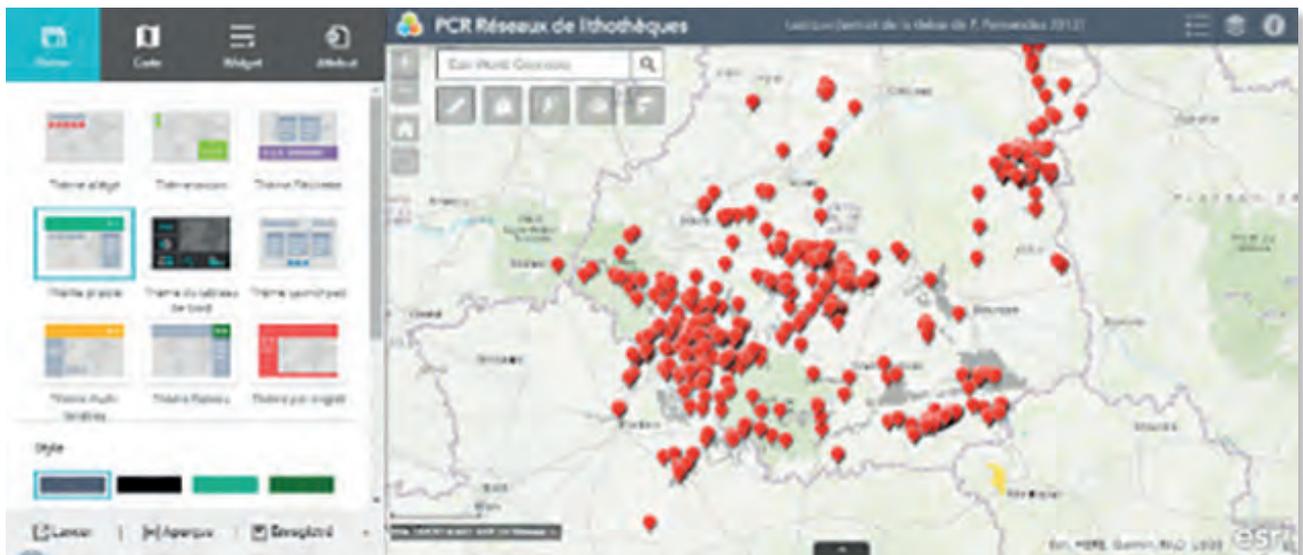


Figure 234.1 : WebApp Builder for ArcGIS : construction de l'application depuis la plateforme AGOL.

- Sélection des données par requête sur un champ des données sur les formations à silex ;
- Dessin de polygones, de lignes ou de points et choix de la symbologie ;
- Sélection d'entités par rectangle.

Une autre application, qui reprend l'essentiel des principes de l'application précédente, a également été développée (figure 234.2).

- Affichage des légendes pour chacune des couches ;
- Calcul de mesures de distances, de surfaces et des coordonnées de points ;
- Dessin de polygones, de lignes ou de points et choix de la symbologie ;
- Sélection d'entités par rectangle ;
- Affichage de couches par balayage entre deux parties de l'espace cartographique ;

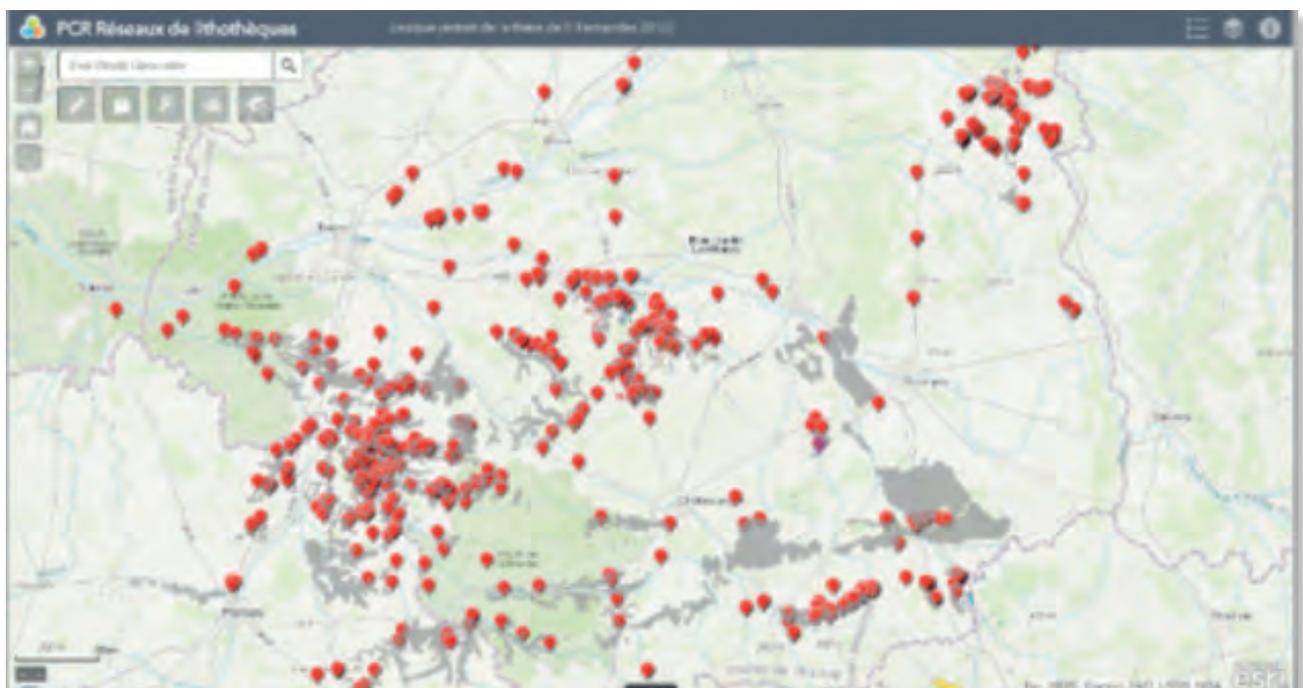


Figure 234.2 : Affichage des polygones des formations géologiques numérisées selon le protocole et des gîtes à silex (points de collecte des échantillons).

Les fonctionnalités proposées sont les suivantes :

- Affichage des couches sur les formations et sur les points de collecte d'échantillons ;
- Affichage de couches du WMS comme INFOTERRE du BRGM ou du WMS du Réseau hydrographique national du SANDRE ;

Outre ces fonctionnalités, un bouton d'information permet de prendre connaissance de l'origine des données de cette application et des conditions de leur utilisation.

Grâce aux données contenues dans les différents WMS utilisées dans cette application, l'utilisateur peut consulter les cartes géologiques du BRGM aux trois échelles différentes (1/1 000 000, 1/250 000 et 1/50 000) ainsi que les données de la Banque de Données du Sous-Sol (BSS) ou d'autres couches contenues dans le WMS INFOTERRE (figure 234.3). Il en est de même pour le WMS du Réseau Hydrographique National du SANDRE qui propose de nombreuses couches sur les bassins-versants et le réseau hydrographique.

Chacune de ces applications possède son intérêt et son domaine d'utilisation sur le terrain. Il faut donc les considérer comme complémentaires, mêmes si certaines fonctionnalités se retrouvent dans plusieurs d'entre elles.

Survey123 for ArcGIS

Survey 123 for ArcGIS est une application qui permet la collecte de données de terrain à partir de formulaires préalablement préparés.

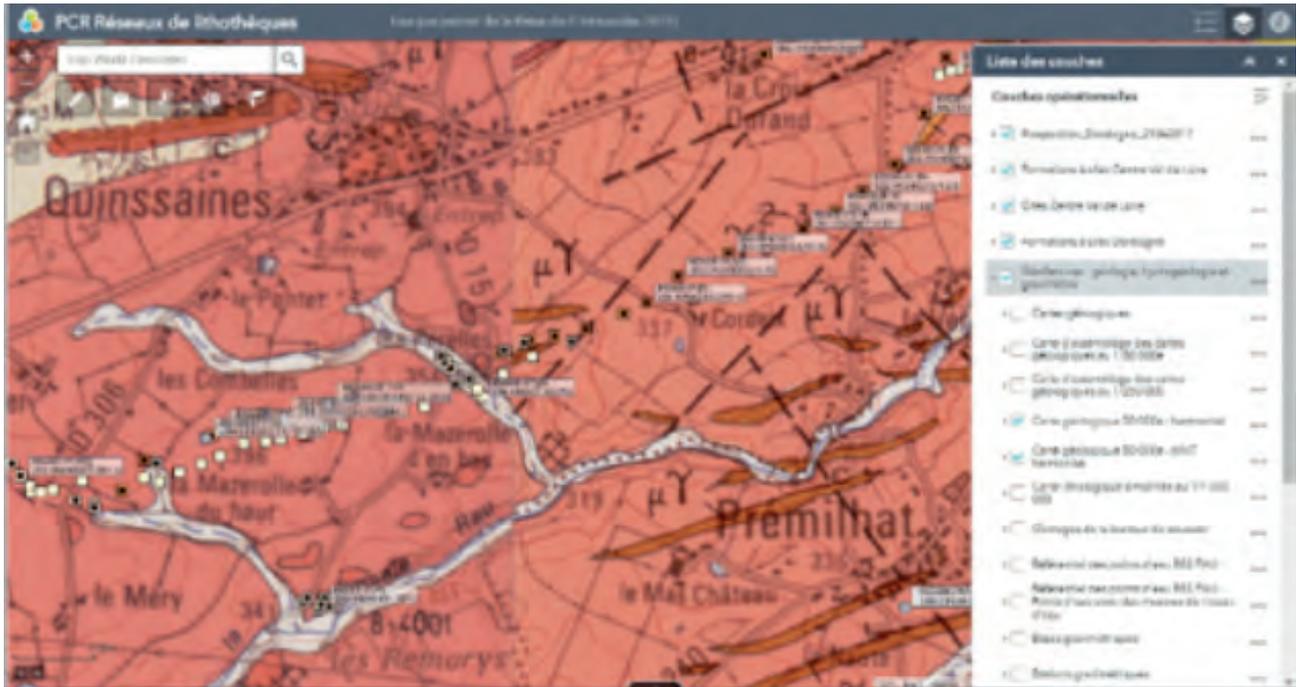


Figure 234.3 : Affichage des cartes géologiques scannées et géoréférencées et des données de la BSS (WMS Infoterre du BRGM).

2.3.5. TESTS SUR DES APPLICATIONS DE CONSULTATION ET DE MODIFICATION DES DONNÉES EN SITUATION DE MOBILITÉ

A partir des applications développées sur la plateforme AGOL, il est possible d'accéder aux données à l'aide d'applications gratuites sur smartphones ou tablettes sous Android ou iOS. Ces applications permettent de consulter les données et de les compléter par la saisie de nouvelles données ponctuelles ou polygonales, ou encore par la modification en ligne de la géométrie des données vecteur et/ou de leurs données attributaires. Les applications qui ont été testées au cours des derniers mois sont les suivantes :

- Survey123 for ArcGIS (<https://survey123.arcgis.com/>)
- Collector for ArcGIS (<http://doc.arcgis.com/fr/collector/>)
- Explorer for ArcGIS (<http://doc.arcgis.com/fr/explorer/>)

Les données recueillies peuvent être aisément partagées ou traitées et l'application exploite la géolocalisation par GPS du smartphone pour compléter le questionnaire. Nous avons réalisé un questionnaire simplifié (figure 235.1) avec les rubriques suivantes :

- Auteur-e-s du relevé (case à cocher parmi plusieurs noms) ;
- Auteur-e-s des collectes de données (case à cocher parmi plusieurs noms) ;
- Date d'enregistrement de la collecte ;
- Géolocalisation de la collecte.

Une fois renseignée, l'enquête est terminée et le formulaire peut être envoyé sur le serveur de l'application pour donner lieu à des traitements.



Figure 235.1 : Application Survey 123 for ArcGIS : saisie des données et validation avant envoi vers le serveur

Collector for ArcGIS

Collector for ArcGIS est une application de consultation sur le terrain des données d'une application AGOL. Cette application permet la collecte et la mise à jour des données sur le terrain, tant dans leur géométrie que dans les données attributaires associées et d'enregistrer sa position grâce au GPS du terminal mobile (figure 235.2).

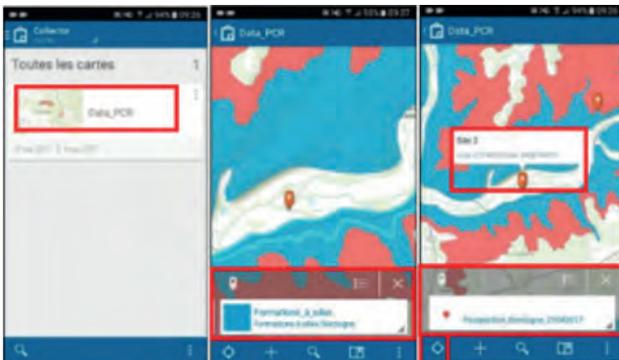


Figure 235.2 : Application Collector for ArcGIS : consultation des polygones des formations à silex, saisie de la localisation d'un lieu de collecte d'un nouvel échantillon

A partir de l'application AGOL présentée ci-dessus, il a été possible de consulter sur le terrain les données sur les formations à silex (géométrie et données attributaires associées). Nous avons également pu enregistrer les lieux de collecte d'échantillons et décrire ces lieux dans une fiche descriptive minimale à laquelle il a été possible d'associer une photo prise avec la caméra du smartphone (figure 235.3).

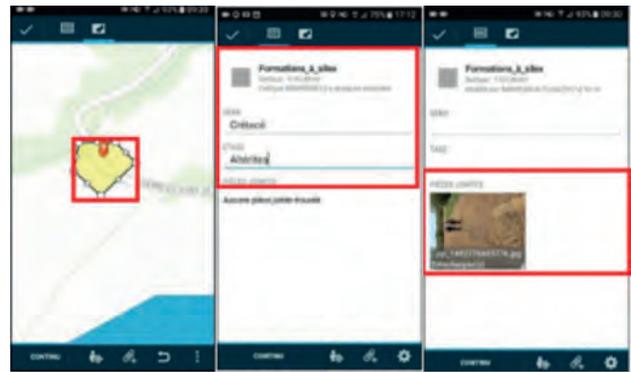


Figure 235.3 : Application Collector for ArcGIS : création d'un polygone de formation à silex, saisie des données attributaires et association d'une photo prise sur le terrain

Explorer for ArcGIS

Comme la précédente, Explorer for ArcGIS permet la consultation des données d'une application d'AGOL. Elle autorise l'affichage des données vecteur et raster, l'affichage de la légende des données vecteur telles que paramétrées dans AGOL et l'affichage des données attributaires des données vecteur. Nous avons pu consulter sur le terrain les données de l'application AGOL des formations à silex (figure 235.4).

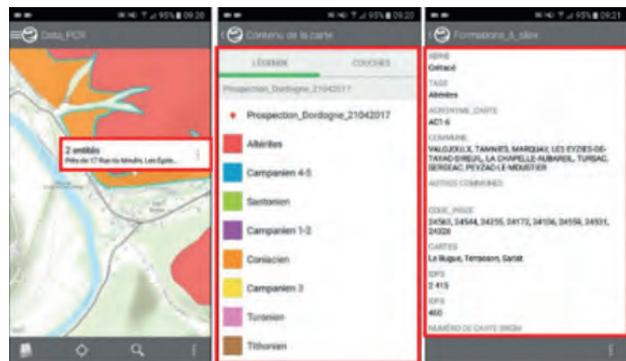


Figure 235.4 : Application Explorer for ArcGIS : consultation des polygones des formations à silex, affichage de la légende et des données attributaires

En sélectionnant un ou plusieurs des polygones des formations à silex, nous avons pu consulter sans problème leurs données attributaires et leur légende. Le choix possible dans l'affichage des couches permet de faciliter la lecture si on ne veut pas tout afficher. On dispose dans l'application des mêmes couches que celles de l'application AGOL préparée au bureau avant de se rendre sur le terrain. Cette application permet aussi le partage des données avec d'autres utilisateurs. Nous avons ainsi pu faire un test des deux possibilités dans ce domaine (figure 235.5) : 1) l'envoi d'un hyperlien vers la carte sur l'application AGOL et 2) l'envoi d'une image correspondant à la zone de zoom de l'application. Si un lien est partagé par courriel avec un autre utilisateur disposant d'un

smartphone, celui-ci peut à son tour accéder à la zone concernée sous réserve de disposer sur son mobile de l'application Explorer for ArcGIS, ce qui est rappelé dans le message d'envoi.

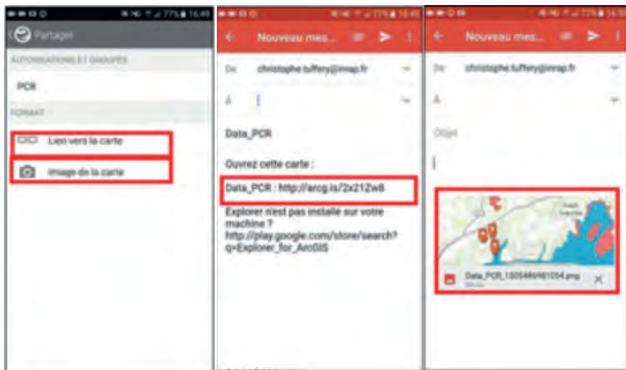


Figure 235.5 : Application Explorer for ArcGIS : choix entre l'envoi par courriel d'un hyperlien vers le site d'AGOL et l'envoi d'une image de la zone d'intérêt au format .png

2.3.6 EXPLORATION DES POSSIBILITÉS D'UTILISATION DE L'APPROCHE MULTI-AGENTS POUR LA MODÉLISATION DES PARCOURS DU SILEX (FORMATION MAPS10)

Dans le cadre de l'école thématique MAPS10 (<http://maps.hypotheses.org/evenement-a-venir/maps-10>) à laquelle l'un d'entre nous (CT) été admis à participer du 18 au 23 Juin 2017 à Oléron, nous avons pu nous initier à la modélisation multi-agents et commencer à explorer les possibilités d'utilisation de cette approche pour la modélisation des parcours naturels du silex.

MAPS10 est une école thématique organisée dans le cadre du réseau MAPS (Réseau thématique de modélisation multi-agents appliqués aux phénomènes spatialisés). Le programme de la formation que nous avons suivi est fourni en annexe 4. Cette manifestation est soutenue par le CNRS, le Réseau National des Systèmes Complexes, le Labex DYNAMITE et l'UMR-7324 CITERES (dont nous faisons partie comme chercheur associé au Laboratoire Archéologie et Territoires). La formation, répartie sur 5 jours, consistait en une initiation aux principes de la modélisation multi-agents sous la forme d'une série de conférences et à la réalisation d'un projet collectif (par une équipe de 5 à 7 stagiaires) autour de l'utilisation du logiciel modélisation multi-agents. Lors de ce stage, nous avons commencé à explorer certaines des possibilités d'utilisation du logiciel libre de NetLogo (Wilensky, 1999), à partir de données théoriques³.

³ La totalité des ressources pédagogiques mises à disposition lors de la formation sont à disposition sur un espace de stockage en accès ouvert : <https://drive.google.com/drive/folders/OBwMRUPWXc7fsdk9DeFNKYWk1dVE>

Au retour du stage, nous avons travaillé avec un jeu de données réelles provenant du fichier des polygones des formations à silex (figure 236.1). Pour le terrain, nous avons utilisé un extrait de la BD Alti de l'IGN à 75m, représenté en niveaux de gris. Rappelons que la BD Alti à 75m fait partie des données de l'IGN qui sont gratuites pour tous les usages, selon les termes de la "licence ouverte" : <http://professionnels.ign.fr/gratuite-des-donnees>.

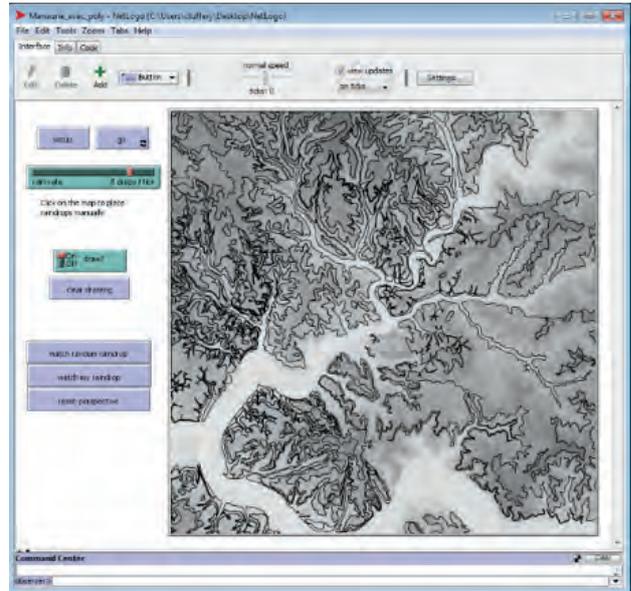


Figure 236.1 : Affichage dans NetLogo des contours des formations à silex (en noir) sur un fond orographique (BD Alti de l'IGN à 75m)

L'interface de NetLogo est entièrement paramétrable selon les fonctionnalités souhaitées et les lignes de codes associées. En annexe 5, se trouve une description sommaire des principaux outils proposés dans l'interface du modèle Grand Canyon que nous avons adaptée pour nos besoins.

Pour la modélisation des parcours naturels théoriques des silex, nous avons utilisé l'un des modèles disponibles dans la bibliothèque de modèles du logiciel NetLogo, le modèle Grand Canyon (catégorie Earth Science) (Wilensky, 2006). Ce modèle nous est apparu comme le plus proche de ce que nous souhaitions explorer comme fonctionnalités dans ce logiciel. Il s'agit d'un modèle de type gravitaire, qui s'appuie sur le principe du déplacement d'une goutte d'eau d'un point haut à un point bas selon la plus grande pente (Figure 236.2). Le calcul des pentes entre les pixels du MNT permet de tracer les plus courts chemins et donc de rechercher les points les plus bas vers lesquels les gouttes d'eau sont susceptibles de se rendre. Les gouttes d'eau de pluie qui apparaissent sont générées de façon aléatoire par l'application.

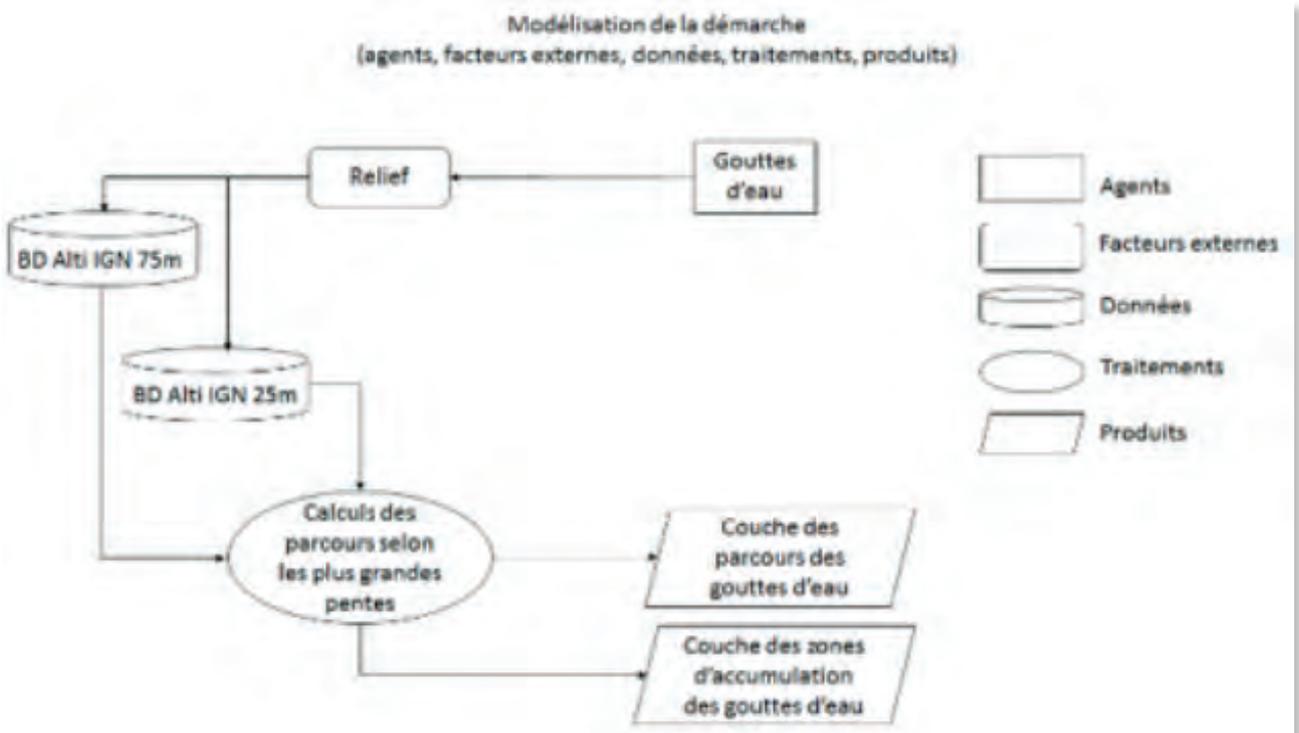


Figure 236.2 : Modélisation de la démarche de calcul des parcours de gouttes d'eau.

Ce modèle est théorique et ne prend en compte que les valeurs de pente issues du calcul à partir du MNT, qui est lui-même un modèle maillé approximatif. Aucun autre facteur externe n'est pour l'instant pris en compte dans le calcul de l'écoulement des gouttes d'eau. Bien évidemment, il est possible d'ajouter d'autres facteurs externes comme par exemple une couverture végétale. Dans NetLogo, le calcul du plus court chemin entre les pixels du MNT, prend en compte les 8 pixels autour de celui qui reçoit la goutte d'eau. Les valeurs d'altitude de chacun de ces huit pixels sont comparées à celle du pixel d'origine de la goutte d'eau. Celle-ci sera transférée vers le pixel dont la valeur est la plus basse parmi les huit pixels considérés et ainsi de suite selon un calcul de type itératif (figure 236.3).



Figure 236.3 : Principes du calcul dans NetLogo.
Exemple du déplacement des gouttes d'eau selon les valeurs des 8 pixels du MNT se trouvant autour du pixel recevant la goutte d'eau

Dans le cas des données réelles de la BD Alti à 75m que nous avons utilisées, le résultat du déplacement de la goutte d'eau montre que le transfert de celle-ci s'est bien effectué des pixels de plus haute altitude vers ceux de plus basse altitude (figure 236.4)



Figure 236.4 : Résultat du parcours d'une goutte d'eau vers les pixels de plus basse altitude à partir du MNT de la BD Alti à 75 m.

Si on laisse le processus se dérouler, les gouttes provenant d'un même bassin-versant convergent vers le thalweg le plus proche de ce bassin-versant puis vers le thalweg du bassin-versant situé en aval du précédent et ainsi de suite (figure 236.5)

La figure 236.6 montre le résultat d'un calcul en cours des transferts des gouttes d'eau.

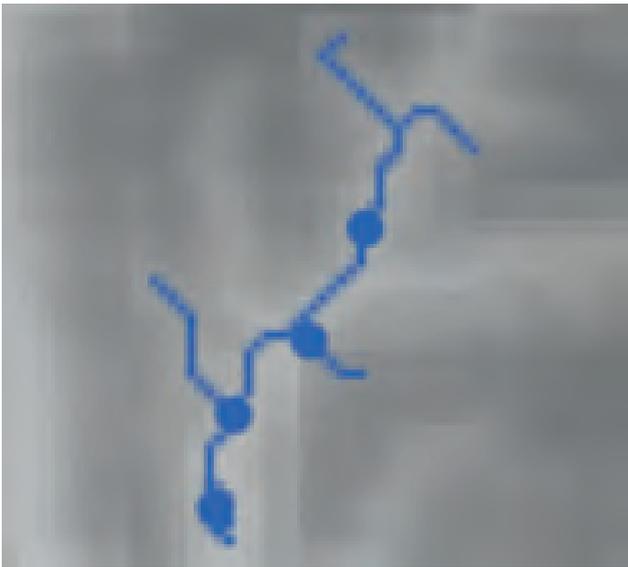


Figure 236.5 : Résultats des parcours de plusieurs gouttes d'eau vers les thalwegs d'un bassin-versant.

fortes pentes du MNT (figure 236.8). Ces zones de concentration dessinent le tracé du réseau hydrographique des fonds de vallée.

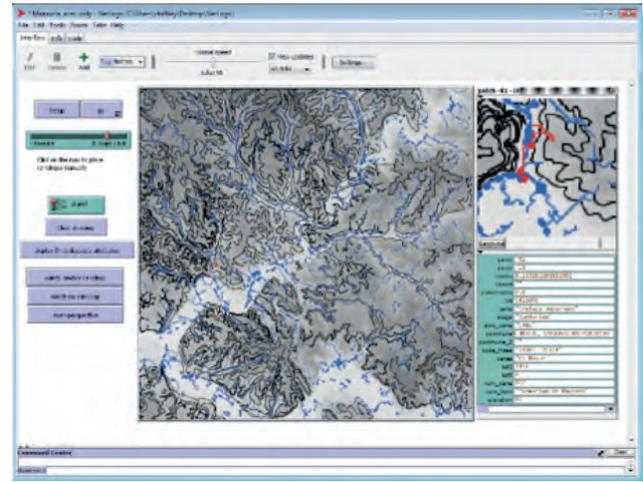


Figure 236.7 : Affichage d'une goutte d'eau et de son déplacement en rouge dans la fenêtre cartographique principale et dans la fenêtre de zoom.

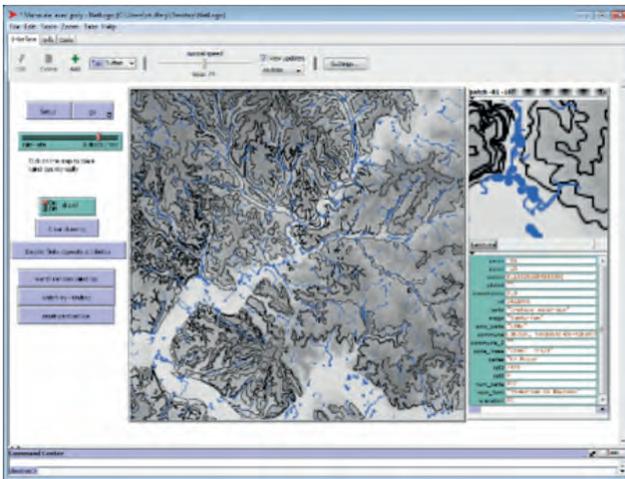


Figure 236.6 : Affichage dans NetLogo du déplacement de gouttes d'eau selon les plus grandes pentes de la topographie avec l'option d'affichage du tracé suivi par les gouttes d'eau sur le terrain.



Figure 236.8 : Affichage des zones de concentration des gouttes d'eau avec la BD Alti à 75 m et des contours des formations à silex.

On peut ajouter ses propres gouttes d'eau et suivre leur déplacement. Ici, elles sont représentées en couleur rouge pour les distinguer des autres gouttes d'eau, en bleu, générées aléatoirement par l'application (figure 236.7). Dans la fenêtre de zoom, on peut voir le déplacement de la goutte d'eau avec un plus grand niveau de détail.

Après ce premier travail à partir d'un extrait de la BD Alti à 75 m de l'IGN, nous avons procédé exactement de la même façon sur une zone plus réduite avec la BD Alti à 25m de l'IGN (figure 236.8). En zoomant, les différences de résolution apparaissent mieux (figure 236.9).

Quand une goutte d'eau semble stagner dans une zone, c'est qu'elle ne trouve pas de points de plus basse altitude vers lesquels se diriger. Elle se déplace alors de façon aléatoire entre les points les plus bas de même altitude que celui dans lequel elle est parvenue. C'est le cas de zones de cuvette sans évacuation possible. Sinon, elle demeure sur le même pixel et ne bouge plus. Si on laisse le calcul du déplacement des gouttes d'eau arriver à terme, on obtient une carte des zones de concentration des gouttes d'eau selon les plus

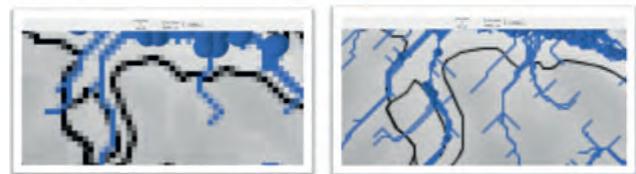


Figure 236.9 : Comparaison sur un même secteur des résolutions différentes des MNT (BD Alti 75 m et BD Alti 25 m)

On peut ainsi comparer les résultats obtenus entre l'utilisation du même modèle pour les deux résolutions différentes du MNT, afin d'évaluer l'effet de la différence de résolution entre ces deux types de données sur les trajets de parcours des gouttes d'eau (Figures 236.10 et 236.11).

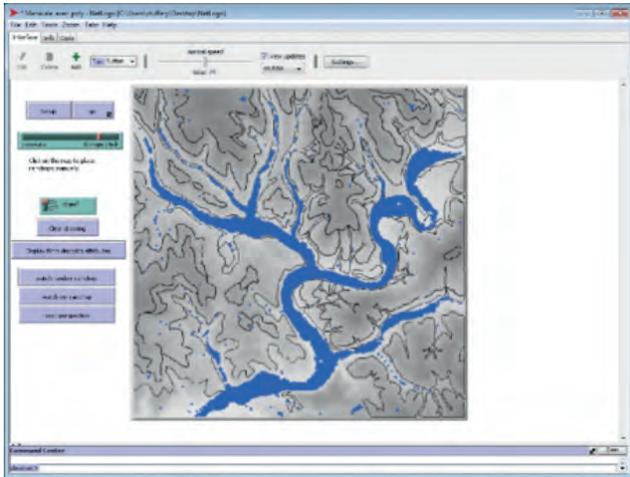


Figure 236.10 : Affichage des zones de concentration des gouttes d'eau avec la BD Alti à 25 m et des contours des formations à silex.

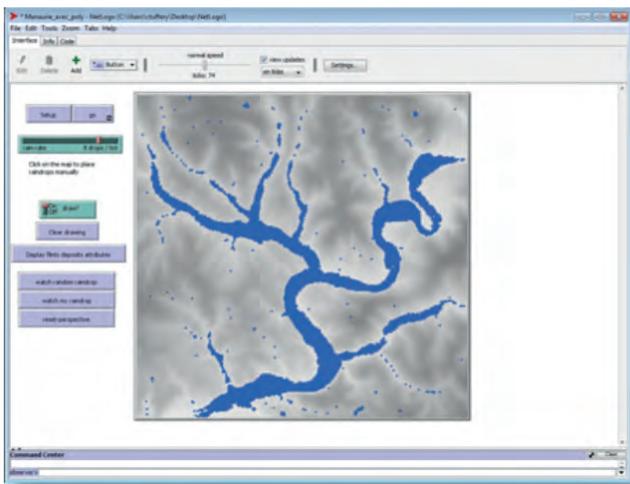


Figure 236.11 : Affichage des zones de concentration des gouttes d'eau avec la BD Alti à 25 m.

Ces résultats sont également à comparer avec ceux obtenus dans un logiciel de SIG comme ArcGIS par exemple. Ainsi si on compare les zones de concentration des gouttes d'eau de NetLogo avec le résultat des zones de calcul de remplissage dans ArcGIS (ArcToolBox > Outils Spatial Analyst > Hydrologie > Remplissage), la comparaison montre une grande cohérence entre ces deux types de calculs (figure 236.12).

Si on ajoute en fond le résultat du calcul de l'ombrage (produit avec QGIS Raster > Analyse de terrain > Ombrage) et qu'on applique une transparence à 50% sur la couche raster issue du remplissage, on obtient un résultat visuel encore plus parlant (figure 236.13).

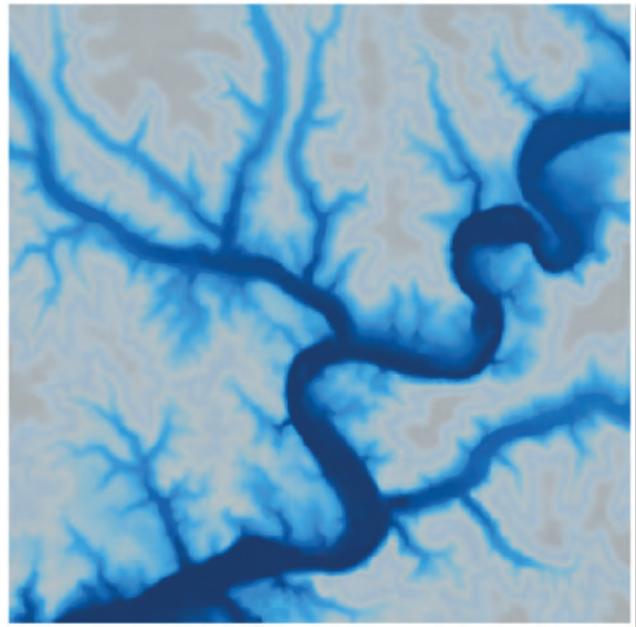


Figure 236.12 : Affichage dans QGIS du résultat du calcul de remplissage.

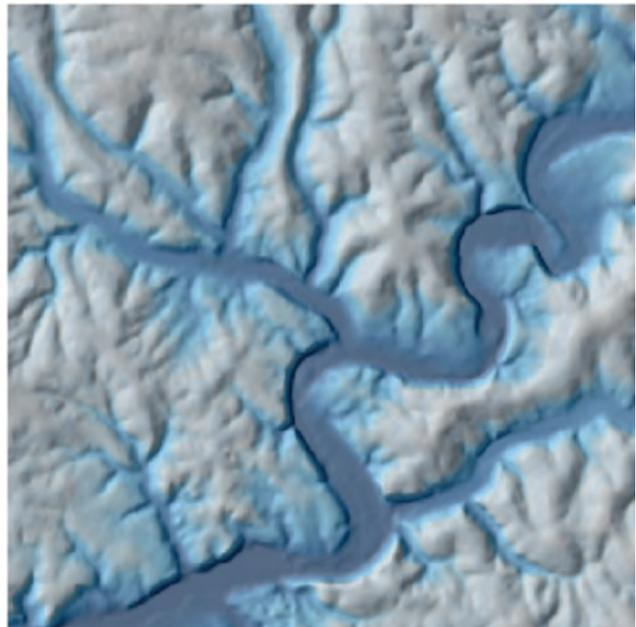


Figure 236.13 : Affichage dans QGIS du résultat du calcul de remplissage avec transparence sur le MNT.

Enfin, si on compare sur une même zone, les résultats de NetLogo avec la BD Alti à 25m et ceux du calcul du remplissage, la comparaison est encore plus nette que précédemment (figure 236.14).

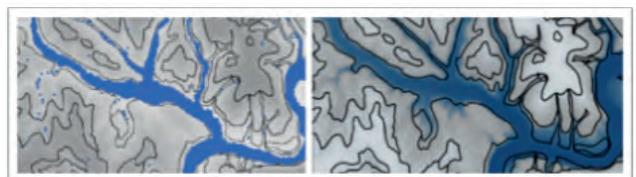


Figure 236.14 : Comparaison des résultats de NetLogo et du calcul du remplissage dans un SIG.

On peut donc considérer que le modèle utilisé dans NetLogo permet de parvenir à des résultats très proches de ceux obtenus dans un SIG comme ArcGIS avec la fonctionnalité de calcul de remplissage.

NetLogo propose aussi un module de visualisation en 3D (figure 236.15).

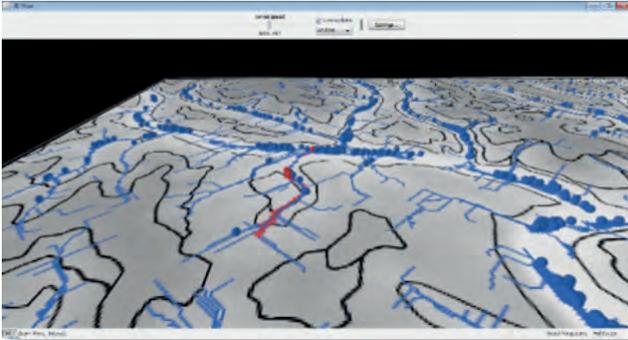


Figure 236.15 : Affichage dans le module 3D de NetLogo d'une vue en perspective du MNT de la BD Alti à 25 m, des contours des formations à silex, des gouttes de pluie (en bleu) et de ses propres gouttes (en rouge).

Cette comparaison des vues en perspective obtenues avec le module 3D de NetLogo, peut aussi se faire avec les vues en perspective obtenues avec le module Globe de QGIS (figure 236.16)

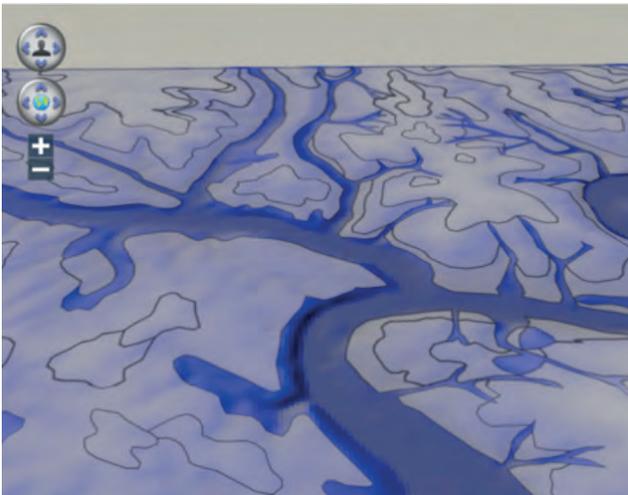


Figure 236.16 : Affichage dans le module Globe de QGIS des contours des formations et des zones de concentration des gouttes d'eau sur un fond cartographique issu du MNT de la BD Alti à 25 m.

De nombreuses autres formes de représentation sont envisageables, de même que l'enrichissement du modèle de transport des silex selon les plus grandes pentes. Mais avant d'aller plus loin, il convient que les chercheurs associés à ce projet, se prononcent sur les divers traitements qui leur paraissent les plus pertinents, de même que les

restitutions en 2D et en 3D qui leur sont utiles pour la modélisation des transports de silex en fonction du relief.

2.3.7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES (CT)

Rappelons que l'un des axes majeurs de travail commun aux divers PCR actuellement en cours est constitué par le triptyque suivant : acquisition, harmonisation et partage de données descriptives de qualité sur les silex. Sur le premier point, le travail a consisté dans l'harmonisation des données collectées depuis des dizaines d'années, ce qui s'est traduit par : 1) l'appariement des principaux champs descripteurs et 2) l'élaboration d'un vocabulaire et d'un protocole communs. En matière de diffusion et de partage des données entre les chercheurs, la plate-forme AGOL permet de démontrer les possibilités techniques d'une mise en ligne aisée de données provenant soit d'une BDD sur les silex comme celle développée sous Access et présentée ci-dessus soit de données géoréférencées comme celles numérisées depuis plusieurs années dans le cadre des divers PCR en cours. Enfin, en termes d'amélioration de la qualité et de l'interopérabilité des données, le choix de formats standards et la saisie de métadonnées sont deux axes essentiels mais encore insuffisamment investis pour l'instant.

L'interopérabilité passe par l'usage de formats et de protocoles harmonisés et de lexiques normalisés. L'usage de formats ouverts peut s'appuyer sur le format .xml pour les données diffusées en ligne ce qui est le cas pour les webservices cartographiques de la plateforme AGOL. L'alignement entre divers fichiers de terrain qui a permis d'aboutir à la fiche de terrain harmonisée présentée ci-dessus, constitue un pas important dans le travail qu'il convenait de réaliser pour permettre aux divers acteurs des PCR de se référer à un même référentiel pour la saisie des données de terrain. Le contrôle de la qualité passe par le contrôle des contenus des divers fichiers produits et échangés, ainsi que par l'usage de métadonnées en s'appuyant sur des normes adaptées au domaine concerné. En matière de métadonnées pour les contours géoréférencés des formations à silex, la norme à mobiliser est l'ISO 19115 et les normes associées qui concernent les données spatiales. Des premières saisies de métadonnées ont été effectuées dans AGOL qui propose la saisie de tout ou partie des champs de cette norme (Figure 237_1).

Le protocole de numérisation des contours des formations à silex mis au point depuis quatre années et appliqué aux trois PCR, a largement démontré son intérêt. Le respect d'un même protocole de numérisation et de contrôle de la

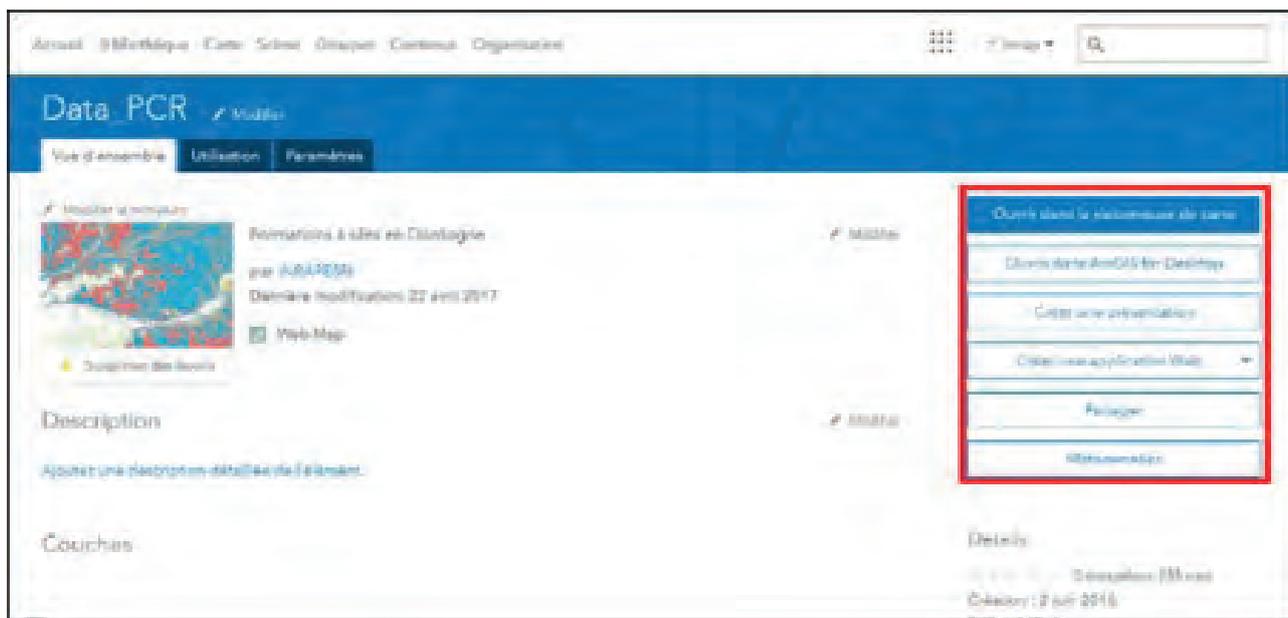


Figure 237.1 : Affichage dans AGOL des différentes fonctionnalités (entourées en rouge) pour afficher et éditer les données et les métadonnées

qualité des données saisies permet de garantir les échanges et les traitements de données entre les chercheurs et sur des outils techniques (logiciels, applications, plateformes d'échange) qui respectent les formats standards ouverts évoqués ci-dessus. Le contrôle de qualité des données aux différentes étapes depuis la saisie jusqu'au partage sur une plateforme comme AGOL a fait l'objet de travaux et d'un article en cours de publication (voir Tufféry et al. Chapitre 5). Sur ce point, des efforts restent à faire pour que les chercheurs actuellement engagés dans ces PCR se saisissent des divers outils présentés ici et saisissent massivement leurs données respectives et leurs métadonnées associées.

Enfin, l'utilisation de la modélisation multi-agents, que nous avons engagée à titre exploratoire cette année et dont sont présentés ici quelques exemples de résultats, doit être débattue pour en confirmer l'intérêt et les possibilités d'application à la compréhension des parcours naturels des silex dans le cadre de modèles de type gravitaire. Un autre des modèles proposés avec le logiciel NetLogo méritera d'être exploré : le modèle Erosion (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Erosion>). Ce modèle consiste en une simulation de l'érosion des sols par l'eau. La pluie tombe sur le terrain et commence à couler vers les zones les plus basses comme dans le modèle Grand Canyon que nous avons utilisé. Sous l'effet des écoulements d'eau, le terrain est érodé. Les modèles d'écoulement de l'eau changent au fur et à mesure du remodelage du terrain. Finalement, un système hydrographique émerge. Il conviendra de voir la complémentarité entre ce modèle et le modèle Grand Canyon.

2.4 AXE 4 : TRAVAUX MENÉS SUR LES MOBILIERS ARCHÉOLOGIQUES

2.4.1. MATÉRIEL LITHIQUE DE LA STATION D'ALTITUDE DE ALP2 (HAUTS DE CHARTREUSE). BILANS ET PERSPECTIVES (JR).

Étude technotypologique du matériel lithique de Alp2 :

L'étude du matériel lithique du site de Alp2 (Robbe, 2016), situé dans le vallon de Marcieu dans les Hauts de Chartreuse (figure 241.1), a permis d'attribuer la majeure partie de l'occupation du site au Premier Mésolithique (8500 – 6500 cal. BC), avec des composantes typologiques et technologiques appartenant à toutes les phases de cette période. La phase ancienne est représentée par la présence notamment de segments, de triangles isocèles et de microburins. Elle est aussi marquée par les nucléus ayant de multiples réorientations de débitage. La phase moyenne est quant à elle, représentée par les nombreux triangles scalènes, au sein desquels on peut reconnaître toutes les différentes phases de cette période. Néanmoins, la présence de nombreuses pointes axiales typologiquement différentes rend difficile l'attribution culturelle du site. Ainsi, il semblerait que celui-ci soit au cœur d'un réseau complexe, mais en fort lien avec le monde sauveterrien.

Concernant les matières premières, grâce aux travaux de Céline Bressy (Bressy, 2002) et à l'expertise, à partir d'échantillons caractéristiques, de Paul Fernandes et de Pierre Bintz, deux grands ensembles pétrographiques ont été identifiés.

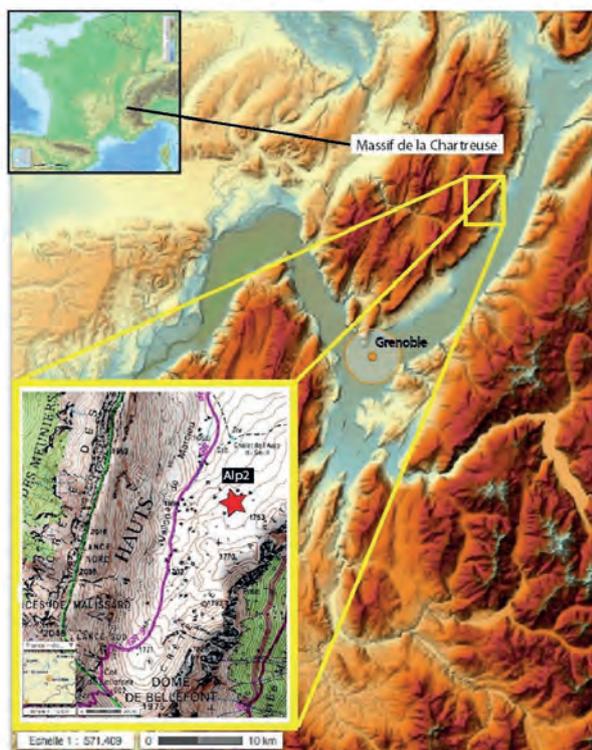


Figure 241.1 : Géolocalisation de Alp2 et du vallon de Marcieu (DAO J. Robbe, fond carte géoportail.fr)

Le tri a été effectué de façon macroscopique. Ainsi, les matières premières de la série de Alp 2 se répartissent entre le silex du Valanginien, de qualité médiocre, et le silex du Sénonien, à grain fin, de meilleure qualité. 2718 pièces sont concernées par ce tri pétrographique (Tableau 241_1). Les volumes débités sont pour l'essentiel issus de gîtes de silex de Chartreuse. Le silex valanginien a été récolté hors du vallon mais vraisemblablement dans les limites géographiques de la Chartreuse. Il affleure principalement sur le pourtour des Hauts de Chartreuse et a pu être récolté sur les voies d'accès au site, dans les éboulis du bas de falaise, sous forme de débris. Pour le silex sénonien, les sources d'approvisionnement, bien qu'essentiellement cartusiennes, sont variées et peuvent être d'origine plus lointaine, notamment du nord du Vercors où il affleure en abondance (Figure 241_2). Cette théorie s'appuie sur des constatations faites sur le site de Alp 1 (Bressy, 2002). De plus, la présence de quartz hyalin (Cousseran, 1998) provenant des massifs cristallins externes (Belledonne ou Oisans) et représenté sur le site de Alp2 par deux armatures, montre que des échanges et/ou approvisionnements en matière première exogène au massif de la Chartreuse ont eu lieu.

Lithologie	% total, toutes catégories confondues
Indéterminé	24,01%
Valangien	55,22%
Sénonien	20,60%
Quartz	0,07%

Tableau 241.1 : Pourcentage de la répartition par matière première des silex de Alp2 ayant fait l'objet de l'étude technotypologique. Toutes catégories confondues N = 2 718.

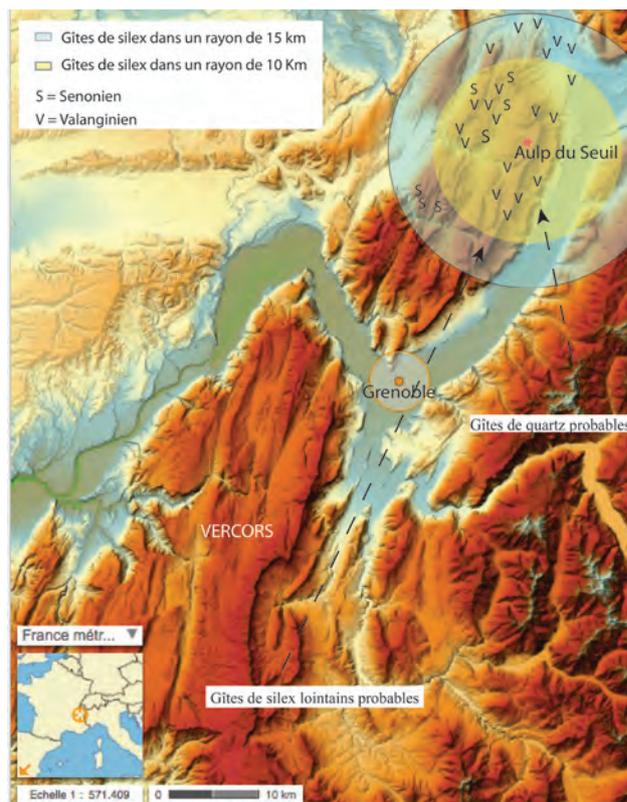


Figure 241.2 : Zones d'approvisionnements en silex local et sources probables d'approvisionnements lointains en silex et quartz. (DAO J. Robbe, fond carte géoportail.fr).

Perspectives :

Pour Alp2, au regard des travaux menés par Paul Fernandes (Fernandes et al., 2012) sur le silex du Vercors Sud, une détermination précise des silex du site qui sont « suspectés » d'appartenir à ce faciès peut maintenant être réalisée. La confirmation ou non de manière solide et indiscutable, de la provenance lointaine de silex tertiaires, pourrait apporter un éclairage très intéressant sur la mobilité des groupes mésolithiques.

2.4.2. LA SÉQUENCE STRATIGRAPHIQUE DU CUZE DE SAINTE-ANASTASIE (CANTAL) : NOUVELLE APPROCHE DES INDUSTRIES LITHIQUES DU PALÉOLITHIQUE FINAL AU MÉSOLITHIQUE. (ML, VD, AG, JJ, TP, PF, AD)

Le Cuze de Sainte-Anastasia (Cantal, France) - par sa stratigraphie, son contenu lithique et sa localisation géographique - s'avère un site capital pour préciser les identités culturelles et les stratégies de mobilité mises en œuvre par les chasseurs-collecteurs au cœur du Massif central au cours de la transition Pléistocène-Holocène. Mis à part quelques ossements et des charbons, l'essentiel du mobilier est composé de silex. L'objectif de ce travail de réévaluation des industries lithiques est double. Il s'agit de documenter de manière intégrée les différents volets de ces industries (études pétroarchéologique, technotypologique et fonctionnelle) dans un contexte archéostratigraphique révisé. Ce travail permet également de mieux appréhender les anciennes collections (séries Pierron et Rozoy).

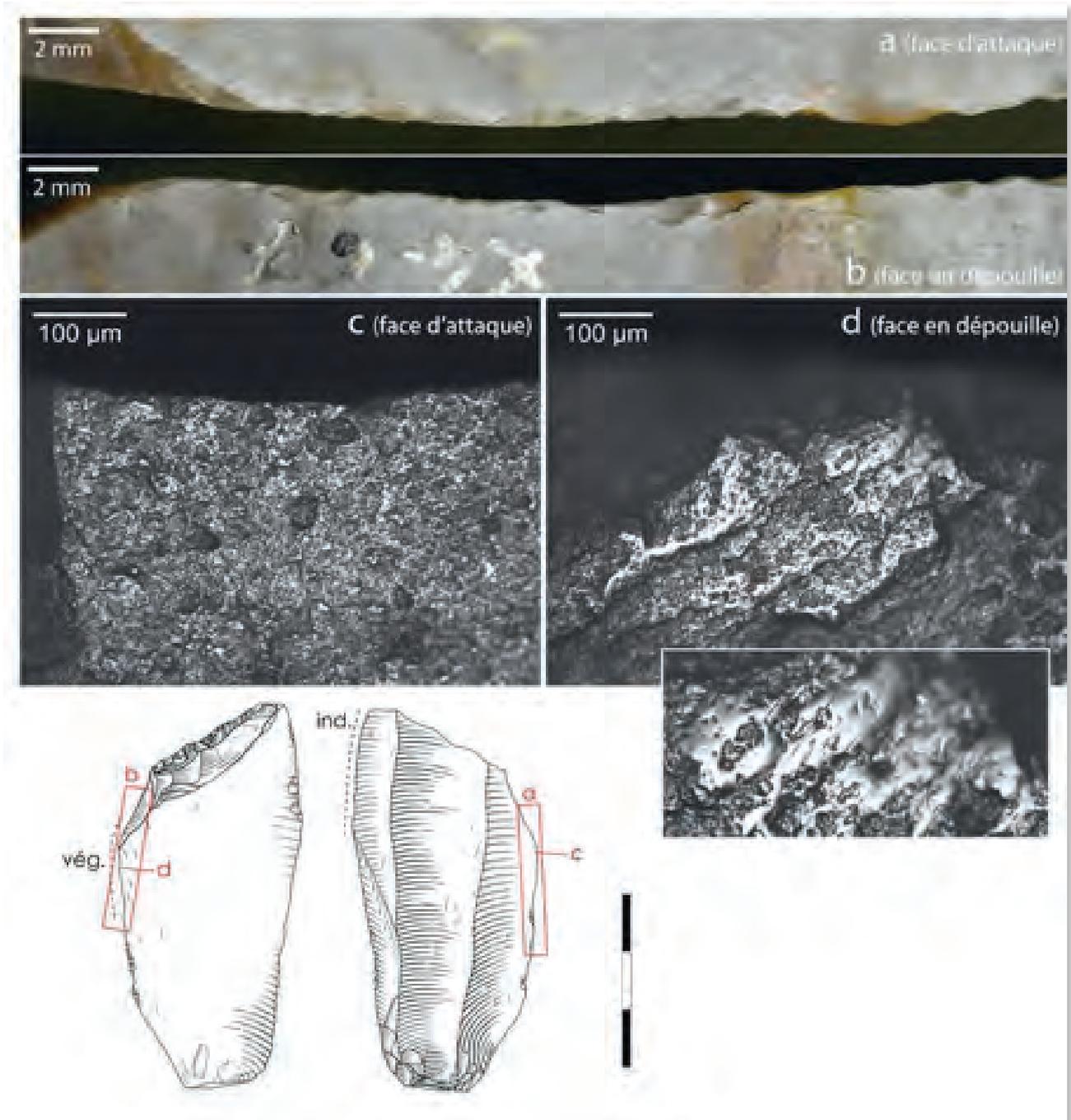
Le gisement est situé sur le versant est du massif cantalien, à une altitude de 900 mètres, sur la commune de Sainte-Anastasia dans le Cantal. Il est constitué par deux petits abris contigus (abri sud et grotte nord) creusés aux dépens de brèches volcaniques sous-jacentes à une épaisse coulée basaltique qui forme une imposante falaise d'une centaine de mètres de haut. Découvert en 1945, les fouilles, d'abord concentrées dans l'abri sud, sont réalisées en 1946 et 1947 par R. Pierron, H. Derville et R. Rey qui identifient sur plus de trois mètres d'épaisseur une succession de niveaux livrant des occupations du Moyen-Age au Mésolithique. Vingt ans plus tard, J.-G. Rozoy mène des fouilles limitées devant l'abri sud, mettant au jour peu de mobilier. Enfin, à la suite de fouilles clandestines, des travaux furent repris sur ce gisement à partir de 1981 par A. Delpuech et P. Fernandes. Après des résultats décevants sur la partie avant de l'abri sud, une opération devant la grotte nord permis de retrouver en stratigraphie des occupations du Mésolithique et du Paléolithique final. Ce travail sur le terrain prend fin en 1985 et demeure pour l'essentiel inédit.

Afin de réévaluer cette séquence et le matériel lithique associé, une équipe pluridisciplinaire s'est constituée dans le cadre d'un projet de publication monographique. La réévaluation archéostratigraphique du matériel mis au jour lors des fouilles menées par A. Delpuech et P. Fernandes est fondée sur la répartition verticale des nappes de vestiges (remontages lithiques, projection des marqueurs coordonnés). Elle a permis de discriminer deux ensembles supérieurs

(1 et 2) et inférieurs (1 et 2). Le premier ensemble est relativement pauvre. Il peut être attribué au Mésolithique. En revanche, le second offre la possibilité de distinguer au moins deux types d'occupations attribuables au Laborien. Les quelques pointes à dos tronquées de type « Malaurie » documentées dans l'ensemble inférieur 2, plutôt en base de séquence tant dans les fouilles récentes (couche F6) que dans la collection Pierron (niveau I), témoignent-elles d'un passage de groupes du Laborien ancien ? Concernant les deux sous-ensembles inférieurs, si l'hypothèse diachronique demeure délicate, l'hypothèse fonctionnelle permet en revanche de mettre en exergue deux modes d'occupations du site différents par les chasseurs-collecteurs du Laborien récent. La première occupation est marquée par l'abondance en pointes lithiques impactées (essentiellement des pointes de type « Blanchères »), la présence d'ébauches d'armatures et de témoins de débitages réalisés sur place, le travail par sciage et raclage oblique de matières végétales (Figure 242.1). éléments nous conduisent à proposer un fonctionnement du site sous forme d'une halte de chasse vouée à la réfection de flèches (pointes et fûts).

Cette occupation se place dans un cycle de nomadisme ayant conduit un ou plusieurs groupes à accumuler sur le site des silex d'origines distinctes comme en témoigne un litho-espace étendu jusqu'à 200-250 kilomètres du site vers le sud du Bassin parisien et le Bassin aquitain (Figure 242_2). L'ensemble sus-jacent documente un second mode d'occupation. Il se marque par la pauvreté en armatures (une pointe des Blanchères impactée ainsi que quatre bitroncatures trapézoïdales utilisées en armature tranchante ou perforante), l'existence d'activités liées à la boucherie et un litho-espace recentré régionalement. Il pourrait s'agir ici d'une occupation liée spécifiquement au traitement boucher du gibier par un groupe déjà implanté régionalement.

Le travail présenté ici offre une vision renouvelée de cette séquence clé du Paléolithique final du Massif central. Ce domaine géographique contrasté entre vallées et planèzes s'intègre dans un réseau de circulation des matières premières siliceuses particulièrement étendu. Plus largement, le site du Cuze de Sainte-Anastasia alimente la discussion sur les stratégies de mobilité au regard de la variabilité des occupations aux débuts du Préboréal européen.



2.4.3. ÉTUDE PÉTROARCHÉOLOGIQUE D'UNE SÉRIE DE SILEX DU SITE DES BAIGNEURS À CHARAVINES (ISÈRE, FRANCE). (PF, PT).

Introduction

L'objectif fixé dans le cadre de l'organisation de la nouvelle exposition permanente du musée Dauphinois de Grenoble (Isère) est la détermination de la provenance des objets qui nous ont été confiés. La finalité de cette démarche doit permettre de mieux caractériser les comportements individuels ou collectifs, la territorialité et les systèmes de mobilité, ou encore les transferts et les échanges. Pour cela nous avons construit des méthodes adaptées à une meilleure connaissance de la provenance des silex. Nous bénéficions d'un renouvellement conceptuel significatif par rapport aux pratiques couramment utilisées. Notre approche est fondée sur l'analyse comparative des indices minéralogiques, pétrographiques et altérologiques rencontrés dans les matériaux bruts et dans les objets archéologiques. Cette étude vient compléter les descriptions de nos prédécesseurs : A. Bocquet (1974, 2010), Bintz et Grünwald. (1990), N. Mallet (1992), A. Gesler (2005), N. Mallet et al. (2008) et M. Rémicourt (2015).

Choix méthodologique

Nous avons utilisé le concept de « chaîne évolutive » du silex qui élargit à la préhistoire les raisonnements sur le rapport entre silex et environnements (Fernandes, 2012). Dans le cadre d'une problématique archéologique, la seule recherche du gîte primaire – le type génétique (type initial) n'est qu'incomplètement pertinente. Une vision globale des transformations post-génétiques permet la définition des types gîtologiques caractéristiques des gîtes sub-primaires et secondaires et autorise par conséquent une meilleure appréciation des lieux de collecte. Les processus liés à la genèse déterminent les types (type génétique), les transformations déterminent les types gîtologiques. Il existe plusieurs types gîtologiques par type génétique, donc autant de lieux de collecte potentiels.

Depuis 2002, nous avons organisé un grand nombre de missions sur le terrain et consulté plusieurs lithothèques. Le territoire concerné comprend plusieurs régions (Auvergne Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Centre Val de Loire). Les échantillons prélevés au cours de ces prospections sont conservés dans les lithothèques de Paléotime ex Dolomieu (pour les silex de Chartreuse, du Vercors et du Diois), de Laussonne en Haute-Loire (pour les faciès du

Grand-Pressigny), du Musée d'Ornac (pour les faciès de la Drôme) et du CEPAM (pour les silex de l'arc Liguro-Provençal). Ces échantillons ont été, dans certains cas, prélevés du gîte primaire aux gîtes secondaires les plus distaux, en fonction du contexte géologique et géomorphologique. Pour la majorité des types nous pouvons suivre leurs évolutions selon un ou plusieurs axe (s) de dispersion par les agents d'érosion.

La détermination de l'origine stratigraphique d'un objet taillé est basée sur une comparaison multiscalaire avec les échantillons géologiques (plus de 500 échantillons géologiques présents dans la base de données). Nous avons utilisé une loupe binoculaire *Leica* M165c à des grossissements allant jusqu'à 200x. La technique mise en œuvre repose sur une série de mesures précises de la pétrofabrique. A ce stade les critères retenus sont les suivants : la granulométrie moyenne, la sphéricité, l'arrondi, le classement, le rapport entre les composants détritiques, chimiques ou biologiques et enfin le type de faune et de flore rencontré. Tous ces paramètres fournissent des indices robustes qui permettent de caractériser l'environnement de formation et une partie des processus d'altération post-génétiques.

Retrouver la provenance d'un objet taillé doit passer par le décryptage aux échelles mésoscopique et microscopique de la succession des étapes d'altération. L'analyse micromorphologique du néo-cortex des échantillons géologiques comparés à la surface naturelle des objets permet de constituer des groupes qui correspondent à des formations secondaires différentes. Les néo-cortex doivent être considérés comme l'enregistrement des différents événements pédologiques et climatiques intervenus depuis la diagenèse. Leurs transformations sont les marqueurs adéquats des formations dans lesquelles ils ont transité et résidé. Nous utilisons plusieurs critères altérologiques qui au cours de cette étude ont permis de rapprocher des associations de stigmates à différents types de formation.

Diagnose des types de silex présents dans la série étudiée

Nous présentons le catalogue ouvert de la série lithique observée. Ce classement est basé sur l'observation à l'échelle mésoscopique (*Leica* M165c de 40 à 200x) de 36 paramètres. Aucune lame mince n'a été analysée. Nous avons donc constitué des fiches de caractérisation partielles pour chacun des types distingués. Le caractère de l'altération, les aspects pétrographiques et parfois minéralogiques ont été regroupés dans un tableau (tableau 243.1). Ce tableau synthétique distingue

des groupes (association d'échantillons possédant un trait commun aisément rapportable à un domaine géologique) et des types (échantillons qui font autorité comme modèle pétrographique construit sur un ensemble de caractères similaires). Afin d'alléger la présentation nous ne développons pas ici la description des microfaciès. Pour des informations plus détaillées, nous invitons le lecteur à se rapporter au tableau synthétique et aux légendes des figures.

Production sur des matières locales à sub-locales

Cette catégorie regroupe deux types définis principalement sur la base de leurs convergences texturale, morphologique et chromatique avec des échantillons géologiques présents dans les formations superficielles locales à sub-locales.

Le type 1 : la série contient 90 objets de ce type. Il a déjà été décrit par A. Gesler (In Bocquet, 2010). Ces silex présentent de fortes similitudes pétrographiques (corpus des bioclastes) avec les silex issus des calcaires du Campanien terminal de Chartreuse. Les différents niveaux d'altération indiquent un mode de collecte multipolaire caractérisé par un approvisionnement local majoritaire (conglomérats voisins, alluvions récentes et plaquages morainiques) associés à des objets présentant de fortes similitudes avec des échantillons géologiques issus des altérites du col de la Charmette. Le plus souvent, l'association de stigmates révèle un transit dans une formation superficielle d'origine alluviale suivi d'une évolution dans un niveau affecté par l'activité morphodynamique périglaciaire (figure 243.1).

Le type 2 : la série contient 17 objets de ce type. Il a déjà été mentionné par A. Gesler (In Bocquet, 2010). Ils présentent eux aussi de fortes similitudes pétrographiques avec les silex issus des calcaires du Campanien terminal de Chartreuse. Ils se distinguent du type 1 par la présence plus régulière de débris noirs (figure 243.2). Cet aspect est sans doute lié en grande partie à l'altération. Les différents niveaux d'altération indiquent un mode de collecte toujours multipolaire mais stricto-local. La totalité de l'approvisionnement est issu des collines voisines.

Collectes de matériaux à l'échelle régionale

Cette catégorie regroupe peu d'objets, à ce stade de la diagnose la collecte de matériaux régionaux reste anecdotique. Ces types sont définis sur la base de leurs convergences texturale, minéralogique ou chromatique avec des échantillons géologiques prélevés dans différentes formations secondaires issues des calcaires barrémo-bédouliens du Diois ou de la vallée du Rhône et sénoniens des Bauges.

Le type 4 : la série contient 2 objets de ce type. Il a déjà été décrit par C. Bressy-Leandri (2002) et P. Fernandes (2012). Ces silex présentent de fortes similitudes pétrographiques (classement, abondance des clastes et corpus des bioclastes) avec les silex issus des calcaires barrémo-bédouliens du secteur de Mensac (Treschnu-Creyers) dans le Diois (figure 243.3). Le niveau d'altération de la surface naturelle indique un approvisionnement dans le réseau hydrographique.

Le type 19 : la série ne contient qu'un seul objet de ce type. Il a déjà été décrit par J. Affolter (In M. Remicourt, 2015). Il présente de fortes similitudes pétrographiques avec les silex sénoniens du massif des Bauges (figure 243.4). L'absence de néocortex n'a pas permis de déterminer le type de formation superficielle dans laquelle le module dont est issu cet objet a été collecté.

Le type F 14 : la série contient un seul objet. Ce type a déjà été décrit par P. Fernandes (2012) et V. Delvigne (2016). Ce silex présente de fortes similitudes pétrographiques et chromatiques avec les silex issus des conglomérats tertiaires à silex barrémo-bédouliens de la moyenne vallée du Rhône au niveau de Cruas (Ardèche), (figure 243.5). L'absence de néocortex n'empêche pas de déterminer le type de formation dans laquelle le module dont est issu cet objet a été collecté car les transformations internes sont déterminantes.

Produits importés

Cette catégorie comprend deux groupes définis principalement sur la base de leurs convergences texturale, minéralogique et chromatique avec des échantillons géologiques conservés dans les lithothèques de l'Archéo-Logis à Lausanne, et du CEPAM à Nice: 1) le premier correspond à différents microfaciès issus des calcaires du Turonien supérieur du Grand-Pressigny, 2) le second à des silex du Mont Ventoux et des Monts du Vaucluse.

- Les types de Touraine : le Grand-Pressigny

Le type D0018.1 : la série contient 14 objets de ce type. Ce type a déjà été décrit par A. Masson (1981), D. Giot, N. Mallet et D. Millet (1986), Aubry (1991), J. Affolter (2001), J. Primault (2003) P. Fernandes et al. (2015) et V. Delvigne (2016). Leurs néocortex indiquent une collecte dans les altérites ou des formations remaniées issues d'altérites (figure 243.6). L'ensemble des données pétrographiques et altérologiques observées permettent de les rattacher aux silex du Crétacé supérieur issus des argiles sableuses plus ou moins remaniées de la zone classique du Grand-Pressigny.

Le type D0018.9 : la série ne contient qu'un seul objet de ce type. Ce type a déjà été décrit par P. Fernandes (2015) et V. Delvigne (2016). Bien qu'appartenant au même groupe, il se différencie de type D0018.1 par la taille plus importante et la forme plus anguleuse de ces clastes (figure 243.7). L'absence de néocortex n'a pas permis de déterminer le type de formation superficielle dans laquelle le module dont est issu cet objet a été collecté.

Le type D0018.4 : la série contient 2 objets de ce type. Il a été décrit par A. Masson (1981), P. Fernandes (2015) et V. Delvigne (2016). Le corpus des éléments organiques riches en grands bryozoaires présente des similitudes avec des silex du Turonien supérieur de Bossay-sur-Claise. Leurs néocortex indiquent une collecte dans les altérites ou des formations remaniées issues d'altérites (figure 243.8).

- Les types de Provence-Alpes-Côte d'Azur

Le type 7 : la série contient 5 objets. Ce type a déjà été décrit par M. Barbier (1996), D. Binder (1997), A. Tomasso (2014), A. Tomasso, D. Binder et P. Fernandes (2017). Le corpus des éléments organiques riches en débris de spicules, *Glomospira* et *Incertae sedis* présente de fortes similitudes avec certains silex gris du Mont Ventoux (figures 243.9 et 243.10). L'association de stigmates révèle un transit dans une formation superficielle d'origine alluviale suivi d'une évolution dans un niveau affecté par la dissolution de la silice.

Les types dont la provenance reste à confirmer

Cette catégorie comprend plusieurs microfaciès qui présentent des aspects insuffisamment discriminants pour les rattacher à une formation géologique précise.

Le type 22 : la série étudiée contient 4 objets de ce type présentant certains aspects texturaux (présence de quartz détritiques) et chromatiques qui permettent de le rattacher à la grande famille des silex blonds bédouliens provençaux (environs du Mont Ventoux ou même des monts du Vaucluse). Cependant, l'état d'altération de la matrice et l'absence d'indices discriminants, nous empêche de déterminer précisément son origine (figure 243.11).

Le type 22c : la série étudiée contient 1 objet de ce type présentant certains aspects texturaux (présence de rhomboèdres) et micropaléontologique (présence de *Glomospira*) qui permettent de le rattacher à la grande famille des silex blonds bédouliens provençaux (environs du Mont Ventoux). Cependant, l'état d'altération

de la matrice et l'absence d'indices discriminants, nous empêche de déterminer plus précisément son origine (figure 243.12).

Le type 3 : la série étudiée contient 1 objet de ce type. Il présente certains aspects texturaux (présence de quartz détritiques) et micropaléontologique (présence de *Glomospira* et *Incertaesedis*) qui permettent de le rattacher à la grande famille des silex blonds bédouliens provençaux (environs du Mont Ventoux ou même des monts du Vaucluse). Cependant, l'état d'altération de la matrice et l'absence d'indices discriminants nous empêche de confirmer son origine (figure 243.13).

Le type 12 : la série contient 1 objet de ce type. Cette radiolarite rouge a déjà été décrite par F. Negrino et Stamini (2006 et 2010), A. Tomasso (2014). Elle présente certains aspects chromatiques (matrice dans les tons de rouge), micropaléontologiques et altérologiques (niveau d'effacement des radiolaires et des foraminifères) très proches des silicifications des calcaires crétacés et éocènes de la Scaglia Rossa (en Ligurie et en Émilie-Romagne) (figure 243.14). Des pratiques d'extraction minières ont été reconnues pour le Néolithique dans certains gîtes ligures (Campana et Maggi, 2002). Si la reconnaissance des radiolarites ne pose aucun problème, la localisation des sources potentielles demeure compliquée. Rappelons que A. Gesler (2010) mentionne la présence de radiolarites dans la molasse locale, sans autre détail.

Les types dont la provenance reste inconnue

Cette catégorie comprend plusieurs microfaciès qui ne présentent pas suffisamment de similitudes avec les échantillons géologiques des lithothèques utilisées au cours de cette étude. Aucun des types ainsi caractérisés n'a été rattaché à une formation géologique précise.

Le type 5 : la série contient 1 objet de ce type. Il se caractérise par une structure zonée à matrice micro à cryptocristalline. On note la présence de débris de spongiaires et de débris d'échinides (figure 243.15).

Le type 6 : la série contient 1 objet de ce type. Il se caractérise par une structure homogène à matrice cryptocristalline. On observe des foraminifères benthiques indéterminables associés à des débris de tests fins (figure 243.16).

Le type 9 : la série contient 1 objet de ce type. Il présente une structure homogène à matrice micro à cryptocristalline riche en fragments de spicules (figure 243.17).

Le type 10 : la série contient 2 objets de ce type. Il possède une structure zonée à matrice cryptocristalline. On note la présence de foraminifères à tests planispirallés, bisériés et quinquéloculins (figure 243.18).

Le type 11 : la série contient 1 objet de ce type. Sa structure est litée et sa matrice cryptocristalline. On observe un grand nombre de spicules fins associés à des clastes, de petite taille, indéterminés (figure 243.19).

Le type 13 : la série contient 2 objets de ce type. Sa structure est homogène et sa matrice cryptocristalline. On note la présence de foraminifères bisériés associés à des valves d'ostracodes (figure 243.20).

Le type 20 : la série contient 4 objets de ce type. Il présente une structure hétérogène et une matrice micro à cryptocristalline. On note la présence de foraminifères variés associés à des débris de Dasycladacées (figure 243.21).

Le type 21 : la série contient 5 objets de ce type. Sa structure est hétérogène et sa matrice micro à cryptocristalline. On note la présence de formes collomorphes et de racines (figure 243.22).

Le type 15 : la série contient 1 objet de ce type. Il présente une structure homogène et une matrice cryptocristalline. Il se caractérise par la présence de débris noirs d'origine indéterminée (figure 243.23).

Le type 16 : la série contient 1 objet de ce type. Sa structure est homogène et sa matrice micro à cryptocristalline. Il est caractérisé par l'abondance de débris de Dasycladacées (figure 243.24).

Le type 17 : la série contient 1 objet de ce type. Il possède une structure homogène et une matrice micro à cryptocristalline. On observe la présence de valves d'ostracodes associées à des bioclastes indéterminés (figure 243.25).

Conclusion

Les indices lithologiques et l'aspect des états de surface prédépositionnels indiquent trois types de rapports avec les géoressources (figure 243.26). Ce travail, fondé sur un comparatif robuste, a permis de discriminer 24 microfaciès correspondants à autant de gîtes. Ce résultat indique des comportements mêlant un approvisionnement principalement local, des collectes à l'échelle régionale, ainsi que des déplacements ou des échanges sur des distances bien plus importantes. Concernant ce dernier type de comportement, on note la présence de silex tourangeaux, de silex

bédouliens en provenance des environs du Mont Ventoux et probablement des silex du nord de l'Italie type Scaglia Rossa.

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la rénovation du Musée archéologique du lac de Paladru (ouverture prévue en 2019). Il a été financé par la communauté d'agglomération du Pays Voironnais au sein d'un service patrimoine mutualisé avec la ville de Voiron. Nous tenons également à remercier P. Bintz, R. Picavet, A. Tomasso, D. Binder, M. Piboule et V ; Delvigne pour leurs conseils.

Types	nature	habitus	patine prédépo	liseré sous cortical	teinte originelle	couleur acquise	structure	matrice
type 1 sous total 90	silex marin et silex marin forme évoluée	indéterminé, galet, galet sur rognon irrégulier	blanche, jaune, brune	blanc, gris, brun diffus	grise	beige à brune	homogène, hétérogène, litée, zonée	crypto à mésocristalline
type 2 sous total 17	silex marin forme évoluée	indéterminé, galet sur rognon irrégulier, bloc roulé	blanche, brune et noire	blanc, gris, brun diffus	grise	beige à brune	homogène, hétérogène	crypto à microcristalline
type 3 sous total 1	silex marin forme évoluée	indéterminé	ras	ras	grise	brune partielle	bioturbée	cryptocristalline
type 4 sous total 2	silex marin peu évolué	bloc roulé	blanche	blanc diffus	absente	brune totale	bioclastique	crypto à microcristalline
type 5 sous total 1	silex marin forme évoluée	galet-sur rognon irrégulier	jaune	brun diffus	grise	brune	zonée	crypto à microcristalline
type 6 sous total 1	silex marin forme évoluée	indéterminé	ras	ras	absente	brun foncé total	homogène	cryptocristalline
type 7 sous total 5	silex marin peu évolué	indéterminé	blanche	blanc diffus	noire	absente	zonée	crypto à microcristalline
type 8 sous total 1	calcaire silicifié	galet sur plaquette	absente	ras	indéterminée	non observée	homogène	crypto à microcristalline
type 9 sous total 1	silex marin forme évoluée	galet facetté	blanche	blanc diffus	grise	brune	homogène	crypto à microcristalline
type 10 sous total 2	silex marin forme évoluée	indéterminé	ras	ras	absente	rouge	zonée	cryptocristalline
type 11 sous total 1	silex marin forme évoluée	indéterminé	brune	ras	grise	brune	litée	cryptocristalline
type 12 sous total 1	silex marin forme évoluée	bloc roulé	jaune	gris diffus et zoné	grise	rouge	homogène	cryptocristalline
type 13 sous total 2	silex marin forme évoluée	indéterminé	ras	ras	absente	beige	homogène	cryptocristalline
type 21 sous total 5	silicrète	bloc roulé	blanche	blanc	translucide	brune total et noir	homogène	crypto à microcristalline
type 15 sous total 1	silex marin forme évoluée	indéterminé	blanche	noir	indéterminée	brun foncé total	homogène	cryptocristalline
type 16 sous total 1	silex marin forme évoluée	indéterminé	ras	ras	grise	absente	homogène	crypto à microcristalline
type 17 sous total 1	silex marin forme évoluée	bloc roulé	blanche	gris diffus	grise opaque	absente	homogène	crypto à microcristalline
type 19 sous total 1	silex marin forme évoluée	indéterminé	ras	ras	grise	brune	homogène	crypto à microcristalline
type 20 sous total 4	silex marin	indéterminé	ras	ras	indéterminée	brune total	hétérogène	crypto à microcristalline
type 18-1 (14) et D 18-9 (1) sous total 15	silex marin forme évoluée	plaquette	blanche et brune	non observé, brun diffus	absente	brune total	homogène	crypto à microcristalline
type 18-4 sous total 2	silex marin forme évoluée	nodule	blanche	ras	grise	blanche à brune	homogène	cryptocristalline
type 22 sous total 4	silex marin forme évoluée	indéterminé	ras	ras	absente	brune total	homogène	cryptocristalline
type F14 sous total 1	silex marin forme rubéfiée	indéterminé	ras	ras	absente	brune total	homogène	cryptocristalline
type 22c sous total 2	silex marin forme évoluée	indéterminé	ras	ras	absente	brun rouge total	homogène	cryptocristalline

total 169 dont 6 indéterminés et 1 quartz

Tableau 243.1a : Tableau synthétique des types de silicites.

Types	macroporosité	détritique ou authigène	clastes	abondance	peloides	ooïdes	classement	taille
type 1 sous total 90	faible à moyenne	quartz anguleux rares à fréquents, 20µm-100 µm	intraclastes et bioclastes	5 à 50%	absents	absents	bon	100 à 800 µm
type 2 sous total 17	faible à moyenne	quartz anguleux rares à fréquents, 20µm-100 µm	intraclastes et bioclastes	10 à 50%	absents	absents	bon	100 à 200 µm
type 3 sous total 1	très faible	quartz fréquents	majorité de bioclastes	10 à 40%	fréquents	non observés	modéré	200 µm à 1mm
type 4 sous total 2	moyenne	non observé	majorité de bioclastes	50%	absents	absents	faible	200 µm à > 1mm
type 5 sous total 1	faible	quartz rares, et grains noirs opaques anguleux	majorité de bioclastes	30%	absents	non observés	faible	50 à 1mm
type 6 sous total 1	moyenne	non observé	majorité de bioclastes	40%	fréquents	absents	modéré	50 à 600 µm
type 7 sous total 5	très faible à moyenne	quartz rares 100 µm	bioclastes majoritaires, et débris noirs	20 à 50%	absents	absents	faible	100 µm à > 1mm
type 8 sous total 1	moyenne	non observé	non observés	non observée	absents	absents	non observé	non observée
type 9 sous total 1	faible	quartz rares 100 µm	majorité de bioclastes	30%	absents	absents	modéré	100 µm à 1 mm
type 10 sous total 2	très faible	quartz fréquents	peloides majoritaires	50%	abondants	non observés	bon	100 à 200 µm
type 11 sous total 1	moyenne	quartz fréquents, anguleux, 20µm-50 µm	majorité de bioclastes	30%	absents	absents	modéré	100 à 1 mm
type 12 sous total 1	très faible	quartz 20 à 50 µm	majorité de bioclastes	40%	absents	absents	bon	50 à 300 µm
type 13 sous total 2	faible, géodes	rares quartz anguleux 100µm	majorité de bioclastes	50%	absents	absents	bon	100 à 400 µm
type 21 sous total 5	faible	quartz fréquents, anguleux, 20µm-50 µm	débris noirs fréquents	5 à 10%	absents	absents	non observé	non observée
type 15 sous total 1	très faible	quartz fréquents émoussés 50 à 100 µm	débris noirs abondants	10%	fréquents	absents	très bon	50 à 100 µm
type 16 sous total 1	moyenne	non observé	majorité de bioclastes	50%	absents	absents	très faible	50 µm à > 1 cm
type 17 sous total 1	moyenne	quartz fréquents, anguleux, 20µm-100 µm	majorité de bioclastes	20%	absents	absents	modéré	100 à 800 µm
type 19 sous total 1	forte, géodes et intraclastique	phase noire indéterminée	bioclastes majoritaires et débris noirs	30%	absents	absents	bon	100 à 400 µm
type 20 sous total 4	faible à moyenne	non observé	majorité de bioclastes	30 à 50%	absents	absents	faible	20 à 600 µm
type 18-1 (14) et D 18-9 (1) sous total 15	faible à forte	quartz fréquents, anguleux, 50µm-100 µm	clastes et bioclastes	30 à 50%	fréquents, 2 tailles	absents	bon	200 à 600 µm
type 18-4 sous total 2	faible	quartz fréquents, anguleux	clastes et bioclastes	50%	fréquents	absents	modéré	200 µm à 1mm
type 22 sous total 4	très faible à faible	quartz rares petite taille	clastes ind majoritaires	5 à 20%	rares à fréquents	non observés	très bon à bon	100 à 200 µm
type F14 sous total 1	très faible	quartz rares petite taille	clastes ind majoritaires	5%	fréquents	non observés	bon	20 à 200 µm
type 22c sous total 2	faible	non observé	clastes ind majoritaires	20%	absents	absents	très bon	50 à 100 µm

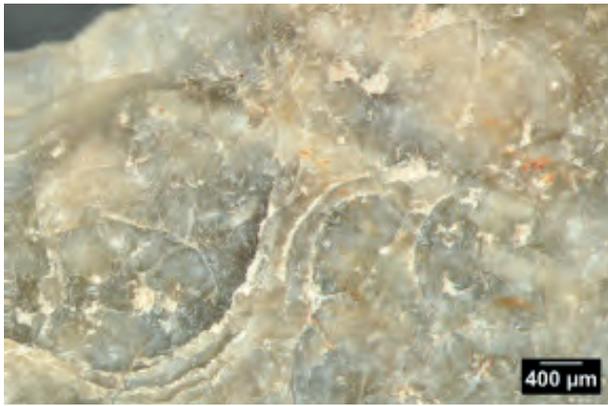
total 169 dont 6 indéterminés et 1 quartz

Tableau 243.1b : Tableau synthétique des types de silicites.

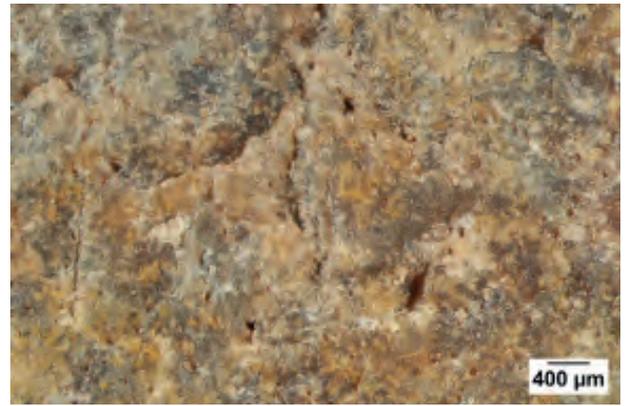
Types	arrondi	sphéricité	liste des bioclastes	étage	type de néocortex	provenance
type 1 sous total 90	moyen	moyenne	sphères ind, foraminifères planctoniques petites tailles, débris fibreux, spicules, débris noirs	Sénonien Chartreuse	Indéterminable, alluvial et pédologique, alluvial, colluvions	formations secondaires locales et col de la Charmette
type 2 sous total 17	faible	moyenne	débris noirs, indéterminés, foraminifères planctoniques?, radiolaires, spicules, entroques	Sénonien Chartreuse	Indéterminable, alluvial-pédologique	formations secondaires locales ind
type 3 sous total 1	faible	faible	spongiaires, petits forams, radiolaires, bryozoaire, incertae sedis, glomospira	Barrémo-bédoulien	Indéterminable	Bédoulien PACA
type 4 sous total 2	faible	moyenne	bivalves, Glomospira, Miliolidés, bryozoaires, échinides	Barrémo-bédoulien proche F482c	alluvial	formation secondaire du Diois proche Mensac Treschnu-Creyers
type 5 sous total 1	faible	moyenne	débris de spongiaire, spicules, bryozoaire, échinide	Indéterminé	alluvial	formation secondaire indéterminée
type 6 sous total 1	bon	moyenne	foraminifères benthiques, débris tests, gastéropodes	Indéterminé	Indéterminable	formation secondaire indéterminée
type 7 sous total 5	moyen	faible	spicules grande taille, Glomospira, Hedbergella, incertae sedis,	Barrémo-bédoulien	alluvial-pédologique	St Léger du Ventoux, Ventoux sans précision
type 8 sous total 1	non observé	non observé	non observés	Indéterminé	alluvial	Indéterminée
type 9 sous total 1	faible	faible	spicules abondantes,	Indéterminé	alluvial-pédologique, idem 765	formation indéterminée
type 10 sous total 2	faible	moyenne	bisérié, Triloculina, filaments, spongiaire	Indéterminé	Indéterminable	formation indéterminée
type 11 sous total 1	faible	faible	spicule fins abondants, débris noirs rares,	Sénonien Chartreuse	colluvions	formation sub-primaire à secondaire
type 12 sous total 1	faible	moyenne	radiolaires, spicules, foraminifères	Crétacé supérieur	alluvial-pédologique	proche silex de la Scaglia Rossa (Italie)
type 13 sous total 2	moyen	moyenne	bisérié proche de Bolivinidae, ostracodes, spicules rares	Indéterminé	Indéterminable	formation indéterminée
type 21 sous total 5	non observé	non observé	azoïque, racines?	Tertiaire	alluvial-pédologique, idem B23-13-83	formation secondaire indéterminée
type 15 sous total 1	non observé	non observé	fragments de bioclastes indéterminés	Indéterminé	alluvial-pédologique	formation secondaire indéterminée
type 16 sous total 1	faible	faible	Dasycladacées, spicules, bisériés, autres foraminifères,	Indéterminé	Indéterminable	formation secondaire indéterminée
type 17 sous total 1	très faible	très faible	ostracodes, bryozoaires ou algues, spicules rares,	Indéterminé	alluvial-pédologique	formation secondaire indéterminée
type 19 sous total 1	très faible	très faible	spicules triaxones, microfilaments, foraminifères planctoniques	Sénonien	Indéterminable	Massif des Bauges
type 20 sous total 4	faible	moyenne	foraminifères bisériés, evolutes, algues, spicules, échinides	Indéterminé	Indéterminable	formation indéterminée
type 18-1 (14) et D 18-9 (1) sous total 15	moyen	bonne	débris bryozoaires, miliolidés, bisériés, bivalves, spicules	Turonien supérieur	altérite-colluvions	Grand-Préssigny
type 18-4 sous total 2	bon	bonne	bryozoaires, bivalves, algues	Turonien supérieur	colluvions	Grand-Préssigny à grands bryozoaires, Bossay-sur-Claise
type 22 sous total 4	non observé	non observé	spicules, petits foraminifères rares,	Barrémo-bédoulien	Indéterminable	Bédoulien PACA
type F14 sous total 1	faible	moyenne	foraminifère benthique petite taille, tubes	Barrémo-bédoulien	Indéterminable	moyenne vallée du Rhône-Cruas
type 22c sous total 2	faible	faible	débris ind, petits foraminifères	Barrémo-bédoulien	Indéterminable	Ventoux?

total 169 dont 6 indéterminés et 1 quartz

Tableau 243.1c : Tableau synthétique des types de silicites.



243.1-1 racloir n° B3 2365, néocortex alluvio-colluvial à rubéfaction faible. La surface est légèrement modifiée par des processus pédologiques postérieurs aux stigmates liés à la phase alluviale : chocs et traces de dissolution (porosité contrôlée par la fissuration des grains). L'ensemble de ces caractères présente des similitudes avec un groupe de blocs roulés présents dans les altérites remaniées du col de la Charmette (Chartreuse).



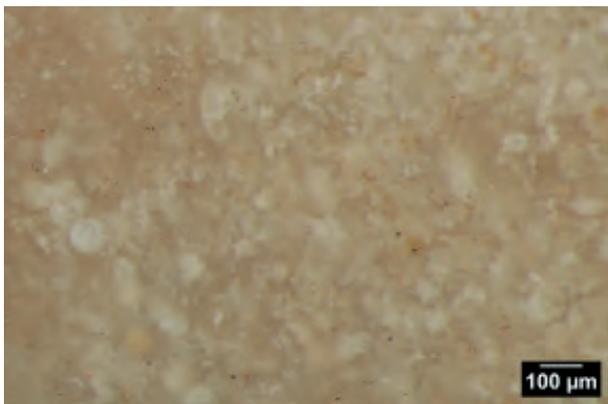
243.1-2 pièce à coche n° B3 5094, néocortex alluvio-colluvial à rubéfaction forte, modifié par des processus pédologiques tardifs : stries, chocs et porosité vacuolaire (vides laissés par la dissolution) postérieurs aux stigmates liés à la phase alluviale. Ces aspects présentent des similitudes avec les blocs roulés présents à proximité du site.



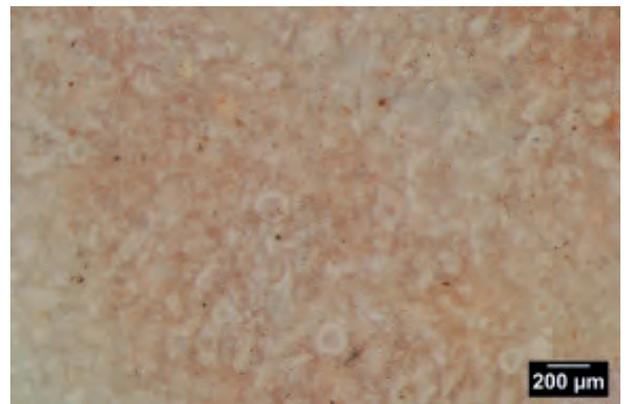
243.1-3 racloir n° B3 5105, néocortex alluvio-colluvial non rubéfié, fortement modifié par des processus pédologiques tardifs, sur cet objet la dissolution a quasiment fait disparaître l'ancienne surface portant les stigmates de la phase alluviale. Ce néocortex irrégulier est poreux et totalement silicifié. Ces aspects présentent des similitudes avec les blocs roulés présents à proximité du site.



243.1-4 racloir n° B3 2365, pétrofabrique (texture) riche en clastes anguleux. Les clastes représentent 40 % de la matrice, le classement est bon. On note la présence de foraminifères planctoniques, de sphères et de débris d'échinides. Les fragments de clastes ou bioclastes indéterminés sont majoritaires.



243.1-5 racloir n° B3 1854, matrice crypto à microcristalline, présence de quartz détritiques, la pétrofabrique (texture) est riche en clastes anguleux. On note la présence de débris noirs d'origines indéterminées, associés à des spicules, des foraminifères indéterminables, des filaments et des sphères de 50 à 100 µm (Pithonnelles).



243.1-6 pointe n° B3 1464, matrice cryptocristalline, la pétrofabrique est riche en clastes anguleux indéterminés. Les clastes représentent plus de 50% de la matrice. On note la présence de Pithonnelles à l'aspect bien conservé.

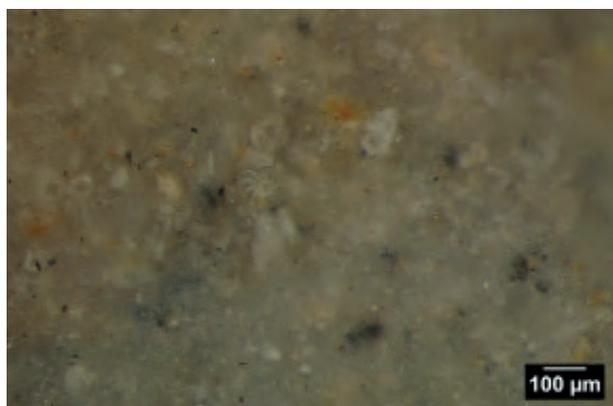
Figure 243.1 : Type 1 : silex Campanien terminal de Chartreuse à Pithonnelles. Les types de néocortex indiquent une collecte multipolaire locale (dans les formations secondaires) à proximité du Lac Paladru et (en position sub-primaire à secondaire) au niveau des altérites remaniées du Col de la Charmette.



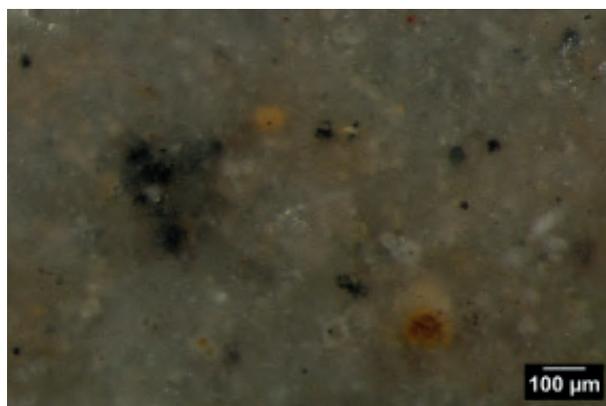
243.2-1 nucléus n° B3 3248, néocortex alluvio-colluvial à rubéfaction faible. La surface alluviale (racines de coups d'ongles émoussé fort) est impactée par des processus pédologiques postérieurs aux stigmates liés à la phase alluviale : chocs, gélifraction et traces de dissolution (patine blanche et porosité vacuolaire). L'ensemble de ces caractères présente de similitudes avec des blocs roulés des formations secondaires de la zone locale.



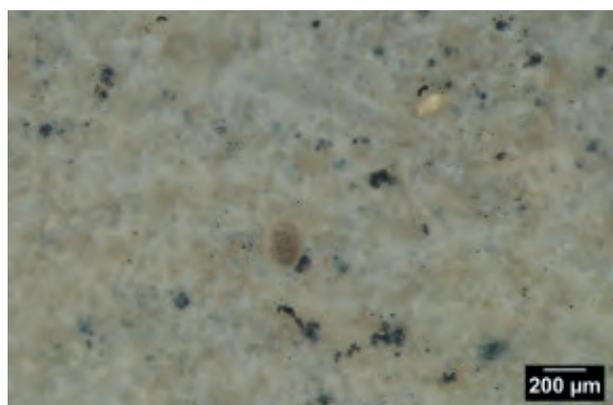
243.2-2 nucléus n° B3 3248, matrice micro à mésocristalline. La pétrofabrique (texture) est riche en clastes anguleux. Les clastes représentent 50 % de la matrice, le classement est bon. On note la présence de nombreux foraminifères planctoniques et benthiques, de pithonnelles et de débris de crinoïdes. Les fragments de bioclastes indéterminés sont majoritaires.



243.2-3 nucléus n° B3 3248, mêmes aspects que la 243.2-2 avec un foraminifère benthique bien conservé.



243.2-4 nucléus n° B3 3248, mêmes aspects que la 243.2-2 avec un débris de crinoïde mal conservé.



243.2-5 lame B1 4932, matrice crypto à microcristalline, présence de quartz détritiques, la pétrofabrique (texture) est riche en clastes anguleux. Les clastes représentent 50 % de la matrice, le classement est bon. On note la présence de spicules et foraminifères nombreux. L'inventaire des bioclastes est rendu difficile par l'altération de la matrice.

Figure 243.2 : Type 2 : silex Campanien terminal de Chartreuse à foraminifères. Les types de néocortex indiquent une collecte locale (dans les formations secondaires) à proximité du Lac Paladru. La fréquence de débris noirs (sans doute d'origine altérologique) et une plus grande variabilité des foraminifères le distinguent du type 1.



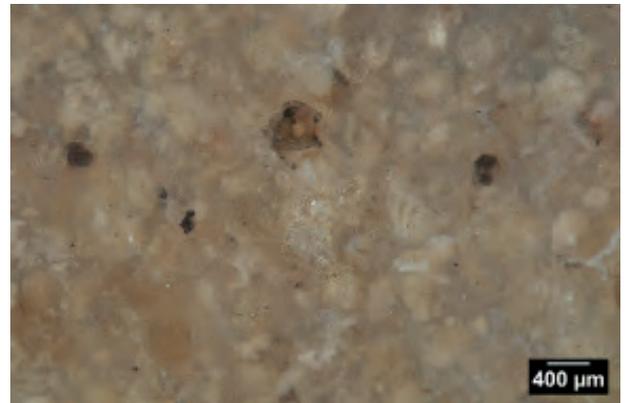
243.3-1 racloir n° 469, silex marin, bloc roulé à liseré sous cortical blanc diffus et structure zonée.



243.3-2 éclat n° 4549, néocortex alluvial à rubéfaction faible. La surface alluviale (racines de coups d'ongles et émoussé) est faiblement impactée par des processus pédologiques postérieurs.



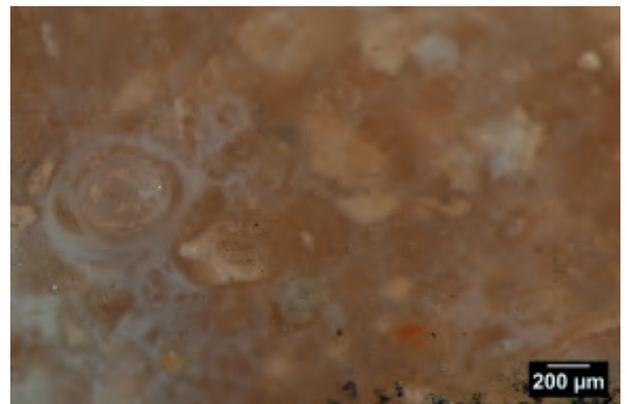
243.3-3 racloir n° 469, matrice micro à mésocristalline. La pétrofabrique (texture) est riche en intraclastes sub-arrondis et bioclastes. Le classement est faible à débris de bryozoaires.



243.3-4 racloir n° 469, même texture que la 243.3-3 avec foraminifère benthique à patine noire (Glomospira).



243.3-5 éclat n° 4549, même texture que la 243.3-3 à grands débris de bryozoaires.

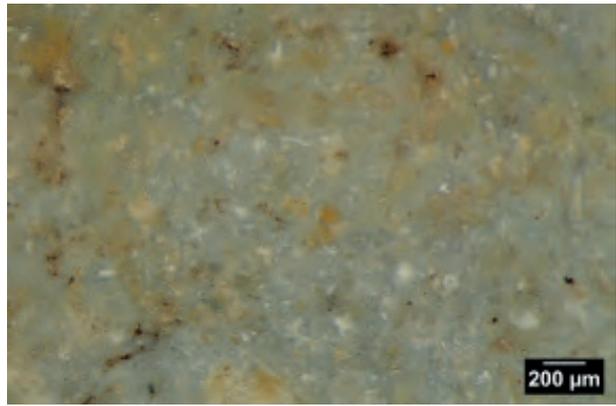


243.3-6 éclat n° 4549, même texture que la 243.3-3 à grands foraminifère benthique (Miliolidé).

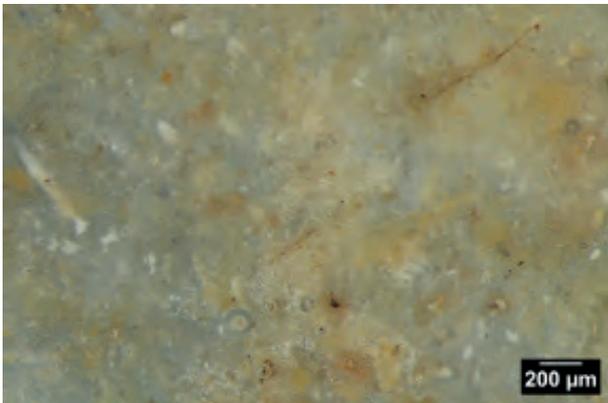
Figure 243.3 : Type 4 : silex issus des Calcaires barrémo-bédouliens du Diois, secteur de Mensac (commune de Treschenu-Creyers), collecte dans le réseau hydrographique (Le Bès ou la Drôme).



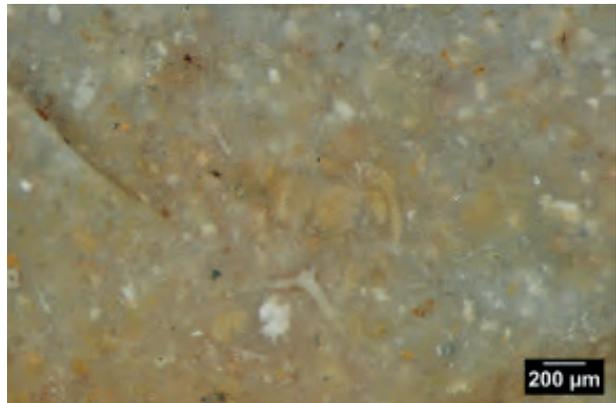
243.4-1 pointe n° 2369, matrice crypto à microcristalline, La pétrofabrique (texture) est riche en clastes anguleux. Les intraclastes représentent 30 % de la matrice, le classement est bon. On note la présence de spicules.



243.4-2 pointe n° 2369, même pétrofabrique que la 243.4-1, débris de spicules et intraclastes d'origine indéterminée.



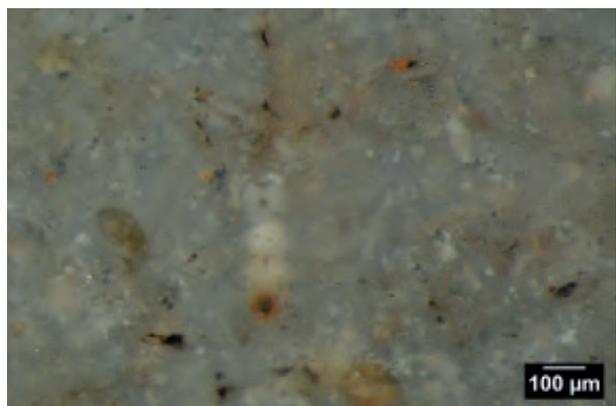
243.4-3 pointe n° 2369, même pétrofabrique que la 243.4-1, à débris de spicules entrecroisés.



243.4-4 pointe n° 2369, même pétrofabrique que la 243.4-1, à spicules et autres bioclastes et débris noirs indéterminés.

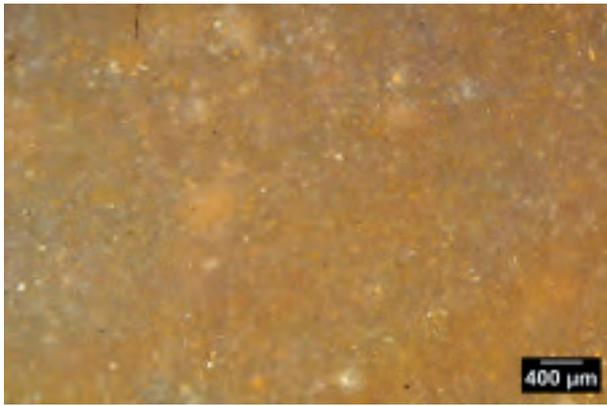


243.4-5 pointe n° 2369, même pétrofabrique que la 243.4-1, riche en spicules et intraclastes d'origine indéterminés.

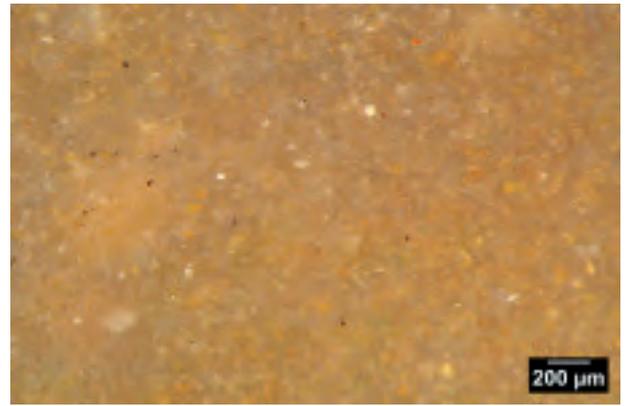


243.4-6 pointe n° 2369, même pétrofabrique que la 243.4-1, à débris noirs et forme pluriloculaire (foraminifère).

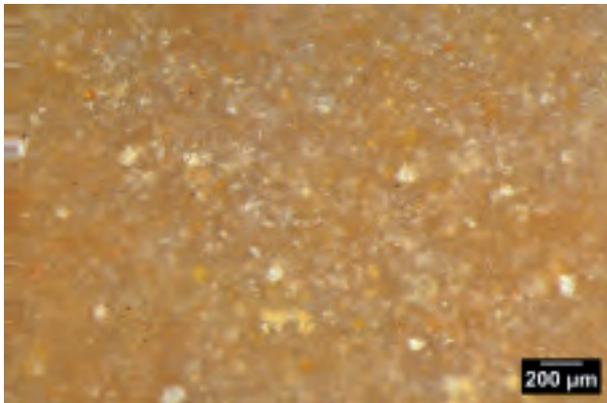
Figure 243.4 : Type 19 : microfaciès qui présente des similitudes avec les silex des calcaires sénoniens du massif des Beauges, lieu de collecte indéterminé.



243.5-1 racloir n° 4734, structure homogène et matrice cryptocristalline, à fréquents pelloïdes, les intraclastes représentent 5% de la matrice.



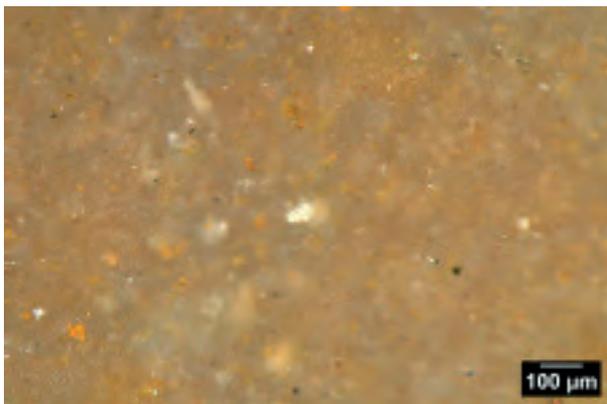
243.5-2 racloir n° 4734, même pétrofabric que la 243.5-1, à pelloïdes et rares rhomboèdres.



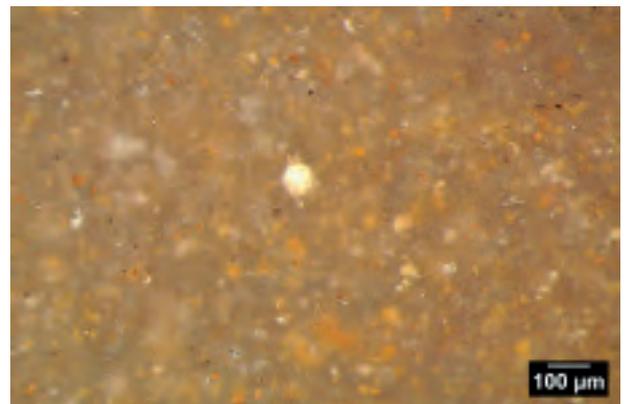
243.5-3 racloir n° 4734, même pétrofabric que la 243.5-1.



243.5-4 racloir n° 4734, même pétrofabric que la 243.5-1, à foraminifère benthique pluriloculaire trochospiralé.



243.5-5 racloir n° 4734, même pétrofabric que la 243.5-1, à foraminifère benthique pluriloculaire bisérié et arêtes vives prononcées.

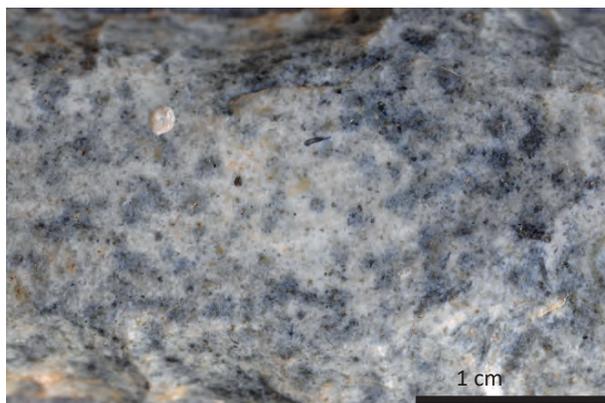


243.5-6 racloir n° 4734, même pétrofabric que la 243.5-1, à bioclaste monocellulaire à ouverture et surface perforée (Pithonnelle ?).

Figure 243.5 : Type F14 : silex issus des conglomérats tertiaires à silex barrémo-bédouliens de la moyenne vallée du Rhône au niveau de Cruas (Ardèche), lieu de collecte indéterminé.



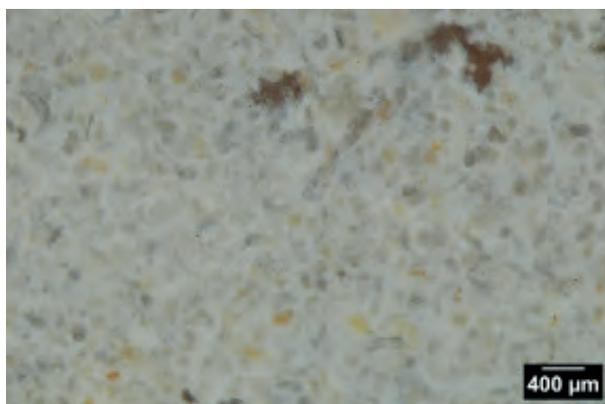
243.6-1 poignard n° 2352.



243.6-2 poignard n° 2352, structure homogène et matrice cryptocristalline, à peloïdes et intraclastes qui représentent 50% de la matrice.



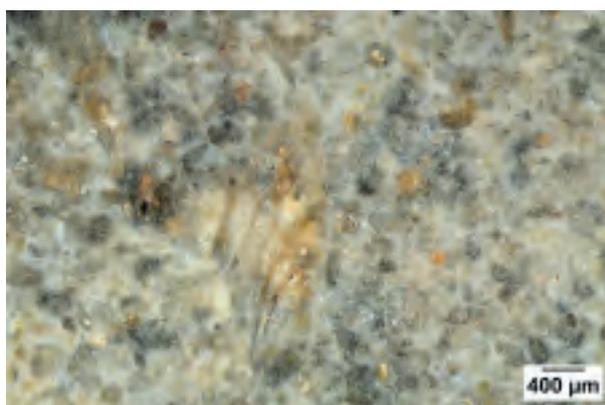
243.6-1 poignard n° 4294.



243.6-4 poignard n° 4294, structure homogène et matrice cryptocristalline, à peloïdes et intraclastes arrondis abondants qui représentent 50% de la matrice.

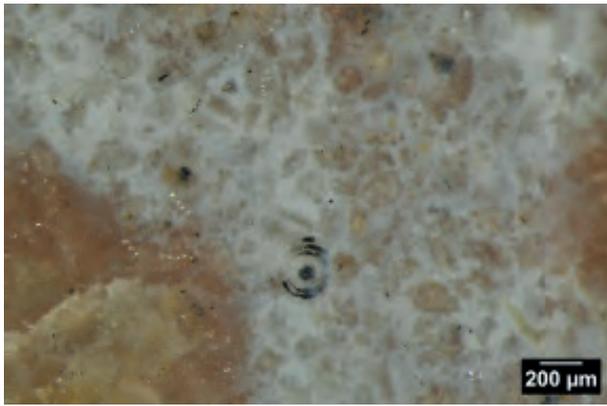


243.6-5 poignard n° 3937.

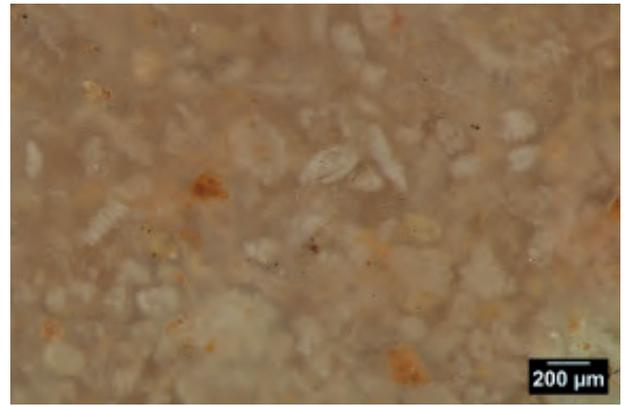


243.6-6 poignard n° 3937, structure homogène et matrice cryptocristalline, à peloïdes et bryozoaires représentant 50% de la matrice.

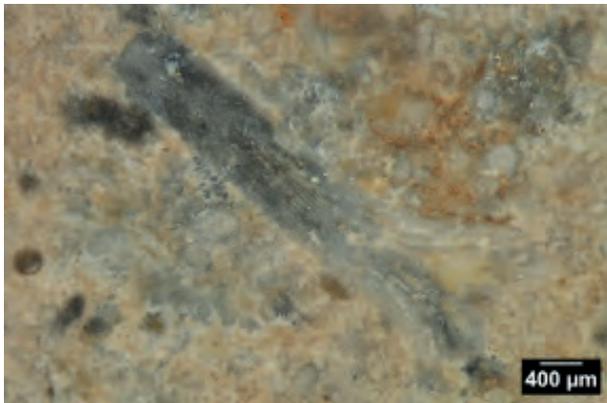
Figure 243.6 : Type D18-1 : silex issus des Calcaires du Crétacé supérieur de la région du Grand-Pressigny, collecte dans les altérites ou formations remaniées issues des altérites.



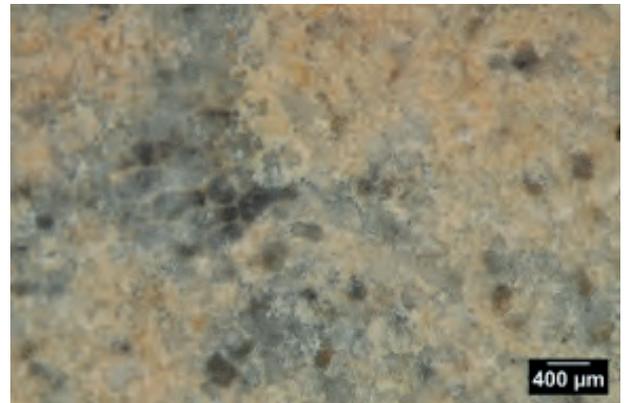
243.7-1 (type D18-1), racloir n° 4903, structure homogène et matrice cryptocristalline à microcristalline, à intraclastes subanguleux et arrondis, quartz détritiques et foraminifère benthique planispiralé (spires serrées) à patine noire (Ammodiscus ?).



243.7-2 (type D18-1), racloir n° 4851, structure homogène et matrice cryptocristalline à microcristalline, riche en foraminifères benthiques dont Miliolidae. Les intraclastes représentent 50% de la matrice.



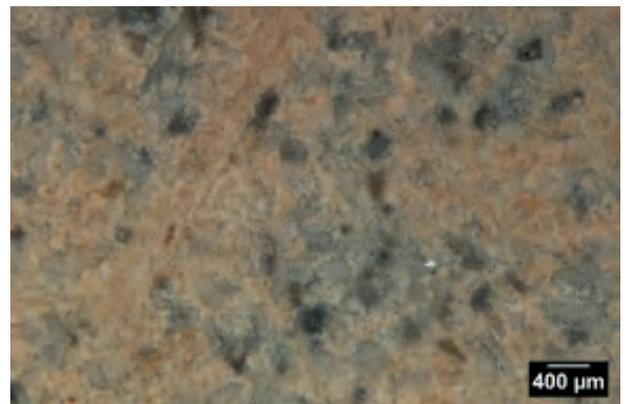
243.7-3 (type D18-9), poignard n° 2303, structure homogène et matrice cryptocristalline à microcristalline, riche en formes peloïdes de grande taille et débris de bryozoaires.



243.7-4 (type D18-9), poignard n° 2303, structure homogène et matrice cryptocristalline à microcristalline, à bryozoaire.



243.7-5 (type D18-9), poignard n° 2303, même pétrofabric que sur la 243.7-3, à débris de bivalve.



243.7-6 (type D18-9), poignard n° 2303, même pétrofabric que sur la 243.7-3, à débris de bryozoaires.

Figure 243.7 : Type D18-1 et D18-9 : silex issus des Calcaires du Crétacé supérieur de la région du Grand-Pressigny, collecte dans les altérites ou formations remaniées pour D18-1, lieu de collecte indéterminé pour D18-4.



243.8-1 racloir n° 5090, à patine blanche post-dépositionnelle.



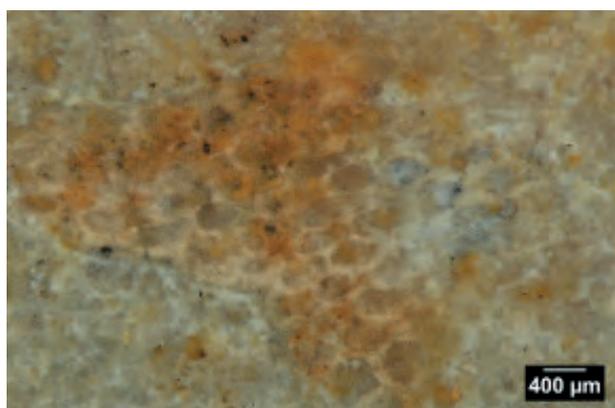
243.8-2 racloir n° 5090, néocortex de colluvions impacté par la dissolution sans trace de chocs.



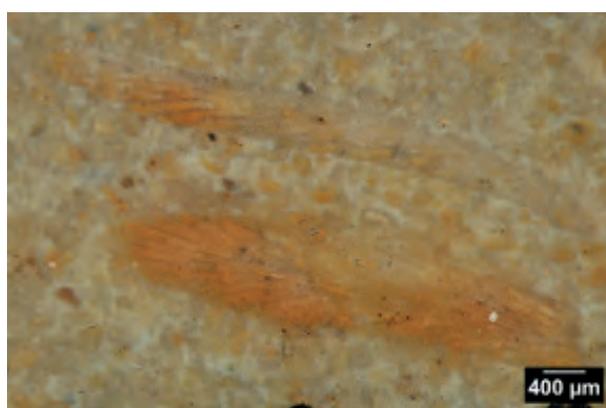
243.8-3 racloir n° 5090, structure homogène et matrice cryptocristalline, à intraclastes roulés dont grands débris de bivalves.



243.8-4 scie n° 157, structure homogène et matrice cryptocristalline, avec grands débris de coraux.



243.8-5 scie n° 157, structure homogène et matrice cryptocristalline, à grands débris de bryozoaires (Cheilostome).

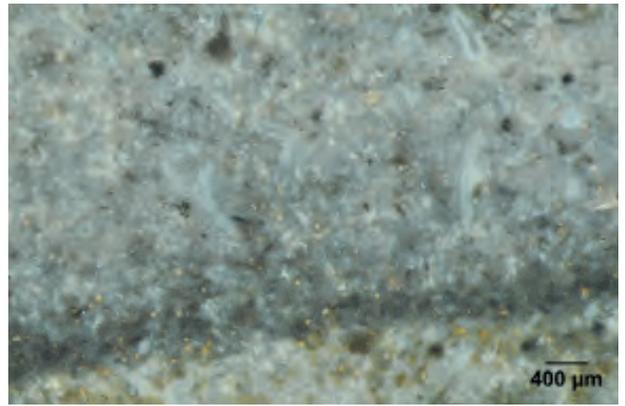


243.8-6 scie n° 157, structure homogène et matrice cryptocristalline, à grands débris de bryozoaires.

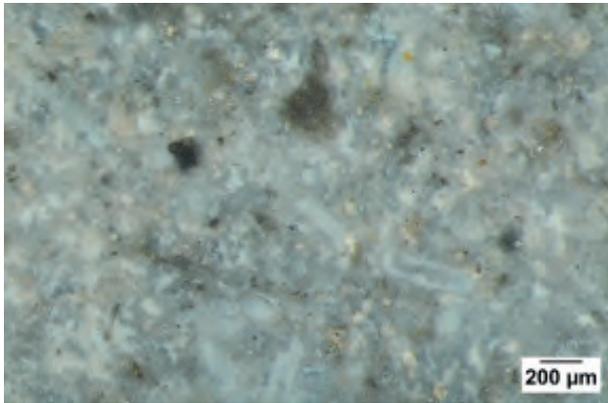
Figure 243.8 : Type D18-4 : silex issus des Calcaires du Crétacé supérieur de la région du Grand-Pressigny, collectés dans les altérites ou formations remaniées issues des altérites.



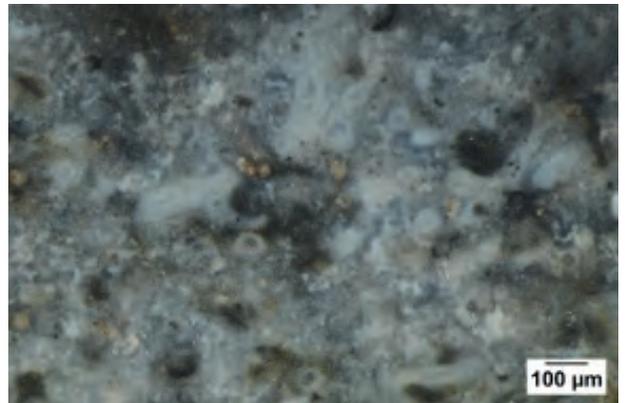
243.9-1 poignard n° 166, à double patine post-dépositionnelle.



243.9-2 poignard n° 166, structure zonée et matrice cryptocristalline à microcristalline, les intraclastes représentent 20 à 50 % de la matrice. On note la présence de rhomboèdres, de débris de spicules et de foraminifères benthiques dont Gloiospira débris à patine noire indéterminés.



243.9-3 poignard n° 166, pétrofabrication similaire à celle de la 243.9-2, à rhomboèdres, incertae sedis et boxworks.



243.9-4 poignard n° 166, pétrofabrication similaire à celle de la 243.9-2.

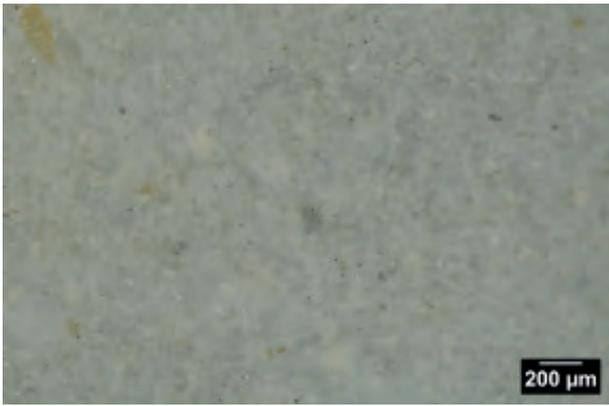


243.9-5 lame n° 1955, pétrofabrication similaire mais plus altérée, la patine blanche a oblitéré une partie des intraclastes.



243.9-6 lame n° 2356, pétrofabrication similaire mais plus altérée, à spicules et foraminifère bisérié.

Figure 243.9 : Type 7 : silex issus des Calcaires barrémo-bédouliens du Mont Ventoux, collecte en position secondaire.



243.10-1 lame n° 2355, la pétrofabrication initiale est oblitérée par la patine post-dépositionnelle seuls certains bioclastes dont (*Glomospira*) à patine brune ou noire sont visibles.



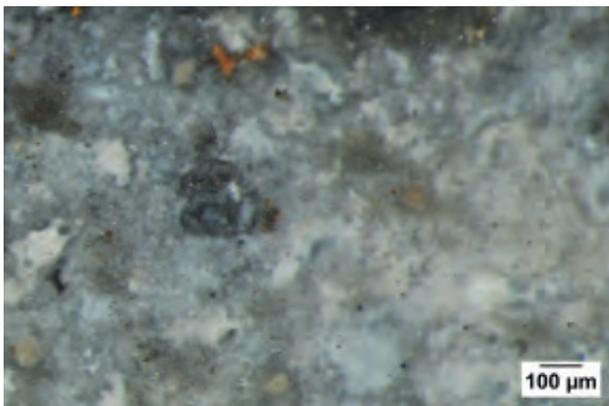
243.10-2 lame n° 2355, aspect identique à la 243.10-1.



243.10-3 lame n° 1955, aspect identique à la 243.10-1, à *Glomospira* et autres foraminifères benthiques et planctoniques.

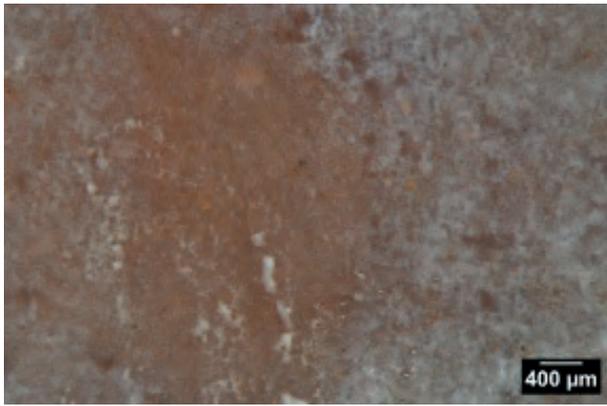


243.10-4 poignard n° 166, *Glomospira*.



243.10-5 poignard n° 166, *Glomospira*.

Figure 243.10 : Type 7 : silex issus des Calcaires barrémo-bédouliens du Mont Ventoux, collecte en position secondaire.



243.11-1 grattoir n° 4739, structure homogène à matrice cryptocrystalline, les intracrystaux représentent 5 % de la matrice.



243.11-2 grattoir n° 4739, structure homogène à matrice cryptocrystalline, les intracrystaux représentent 10 % de la matrice. La patine blanche post-dépositionnelle révèle la présence de spicules.



243.11-3 racloir HS 83, aspect proche de la 243.11-1, avec grand spicule.



243.11-4 racloir HS 83, aspect proche de la 243.11-1, à quartz détritiques.

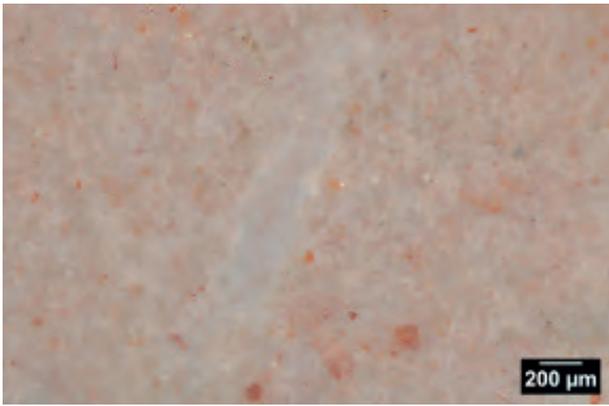


243.11-5 racloir HS 83, aspect proche de la 243.11-1, à péloïdes ferruginisés.

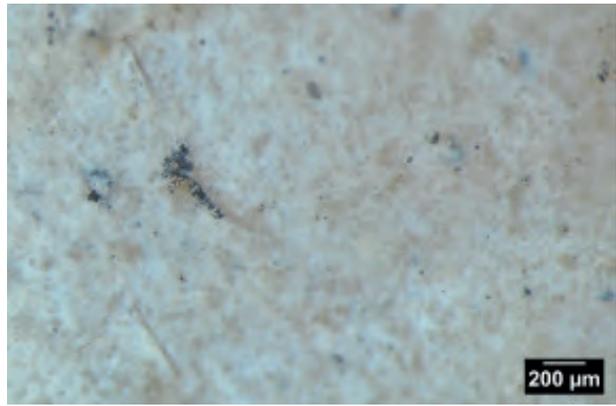


243.11-6 racloir HS 83, aspect proche de la 243.11-1, à rares rhomboèdres.

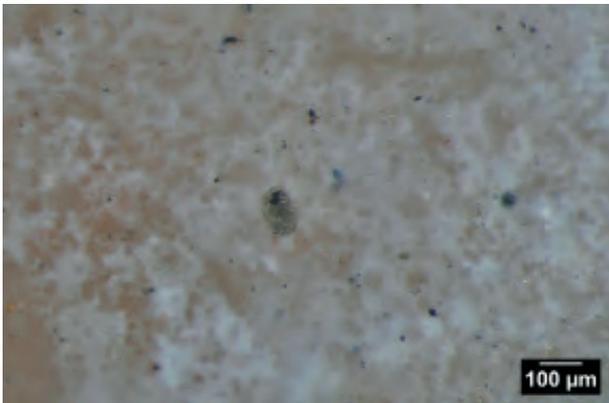
Figure 243.11 : Type 22 : silex blonds issus des Calcaires bédouliens provençaux (environ du Mont Ventoux ou monts du Vaucluse), lieu de collecte indéterminé.



243.12-1 pointe n° 633, structure homogène à matrice cryptocristalline, les intracrastes représentent entre 5 et 20 % de la matrice. Intraclaste indéterminé et boxworks rhomboédriques.



243.12-2 armature n° 4502, structure homogène à matrice cryptocristalline, les intracrastes représentent entre 5 et 20 % de la matrice. On note la présence de pyrite.

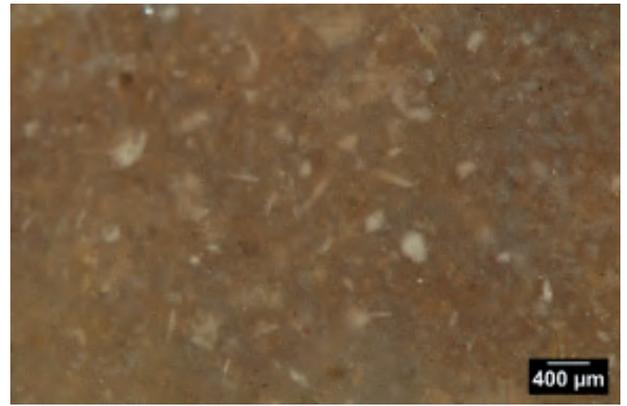


243.12-3 armature n° 4502, structure homogène à matrice cryptocristalline, les intracrastes représentent entre 5 et 20 % de la matrice à foraminifères benthiques dont Glomospira.

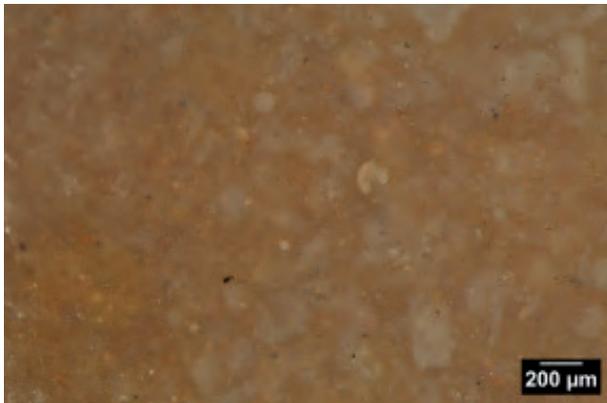
Figure 243.12 : Type 22c : silex blonds issus des Calcaires bédouliens provençaux (environ du Mont Ventoux ou monts du Vaucluse), lieu de collecte indéterminé.



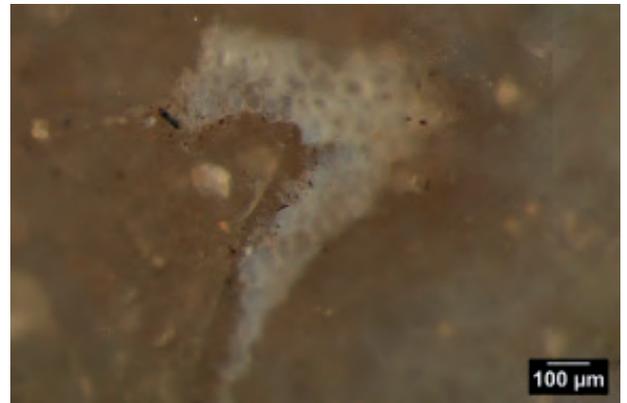
243.13-1 racloir biface n° 4958.



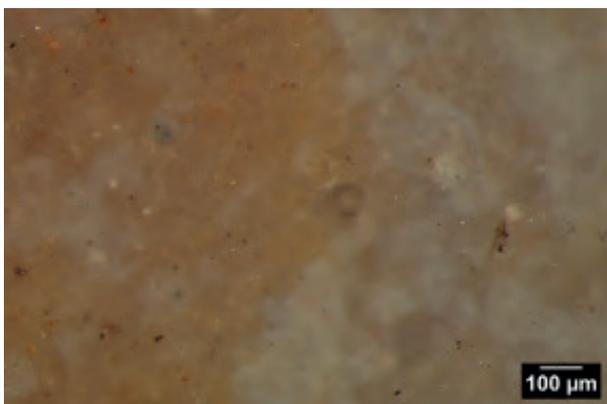
243.13-2 racloir n° 4958, structure bioturbée à matrice cryptocristalline, les intraclastes représentent 10 à 40% de la matrice. On note la présence de spongiaires, petits foraminifères dont *Glomospira*, radioles, bryzoaire, *incertae sedis*.



243.13-3 racloir n° 4958, bioclastes indéterminés.



243.13-4 racloir n° 4958, fragment de bryozoaire.



243.13-5 racloir n° 4958, *incertae sedis*.



243.13-6 racloir n° 4958, *Glomospira*, l'enroulement est d'abord irrégulier, puis a tendance à se faire dans un plan pour les derniers tours.

Figure 243.13 : Type 3 : silex blonds issus des Calcaires bédouliens provençaux (environ du Mont Ventoux ou monts du Vaucluse), lieu de collecte indéterminé.



243.14-1 nucléus n° B41 2263.



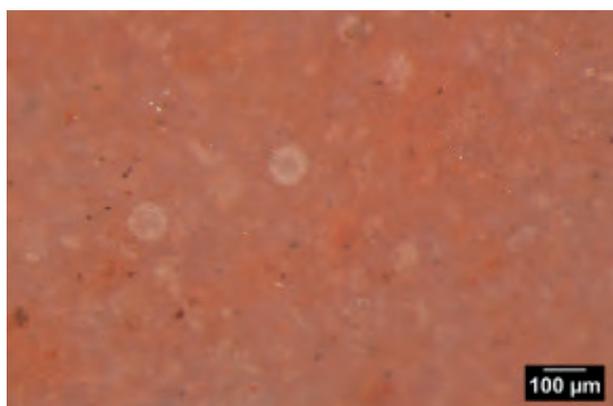
243.14-2 nucleus n° B41 2263, détail macroscopique.



243.14-3 nucléus n° B41 2263, structure homogène à matrice cryptocristalline, les intraclastes représentent 40% de la matrice. On note la présence de radiolaires de spicules et de foraminifères indéterminés.



243.14-4 nucléus n° B41 2263, radiolaires et foraminifères indéterminés.

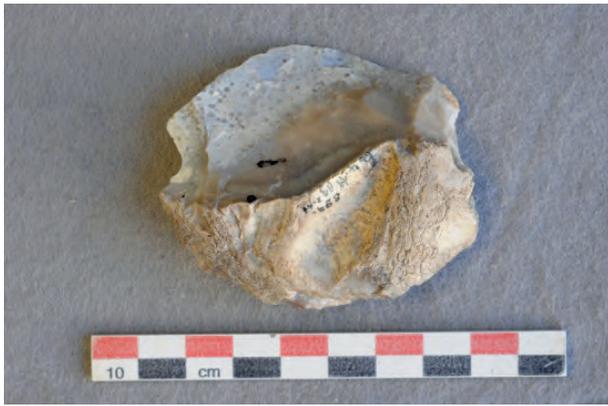


243.14-5 nucléus n° B41 2263, détail radiolaires.

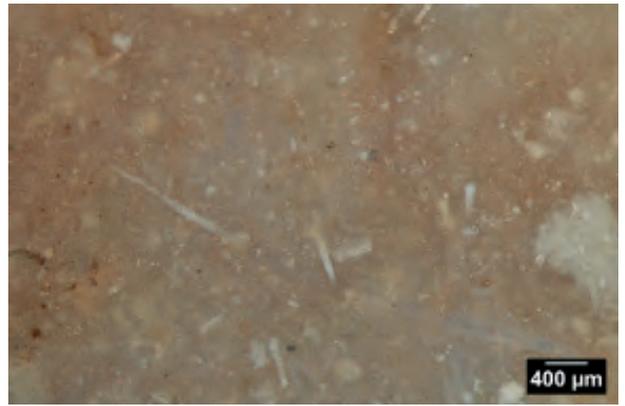


243.14-6 nucléus n° B41 2263, forme sphérique indéterminée.

Figure 243.14 : Type 12 : silicifications probablement issues des Calcaires créacés et éocènes de la Scaglia Rossa (en Ligurie et Emilie-Romagne, Italie, lieu de collecte indéterminé).



243.15-1 racloir n° 884.



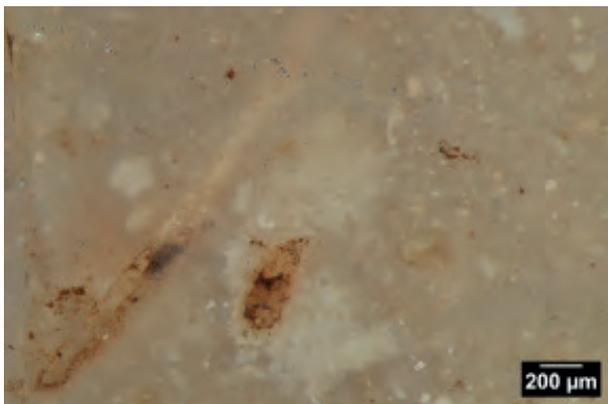
243.15-2 racloir n° 884, structure zonée à matrice micro à cryptocristalline, les intraclastes représentent 30% de la matrice. On note la présence de débris de spongiaire dont spicules (moxanes et triaxones) et probablement de bryzoaire et d'échinides.



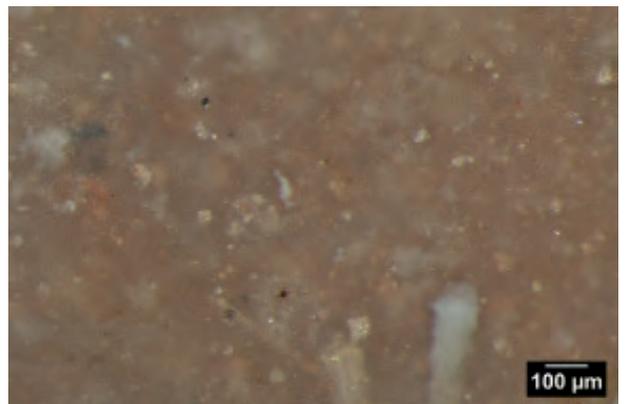
243.15-3 racloir n° 884, spicule triaxones (Triactine régulière).



243.15-4 racloir n° 884, rhomboèdres, spicules et bioclastes indéterminés.



243.15-5 racloir n° 884, bioclastes indéterminés.

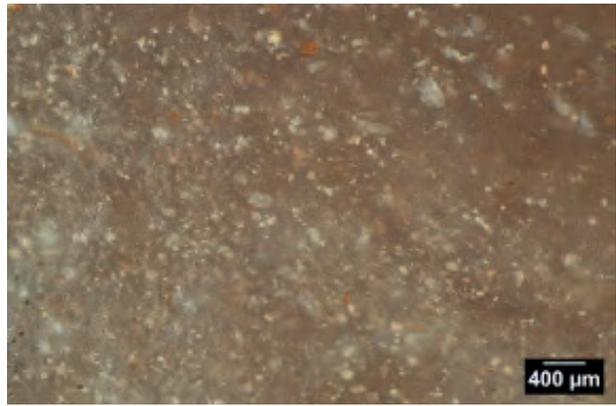


243.15-6 racloir n° 884, rhomboèdres et bioclastes indéterminés.

Figure 243.15 : Type 5 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



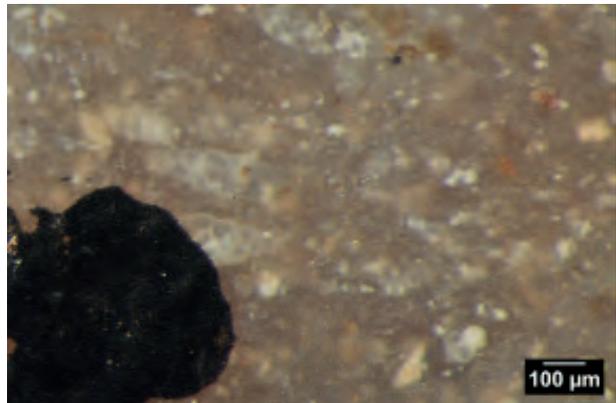
243.16-1 lamelle n° HS 111.



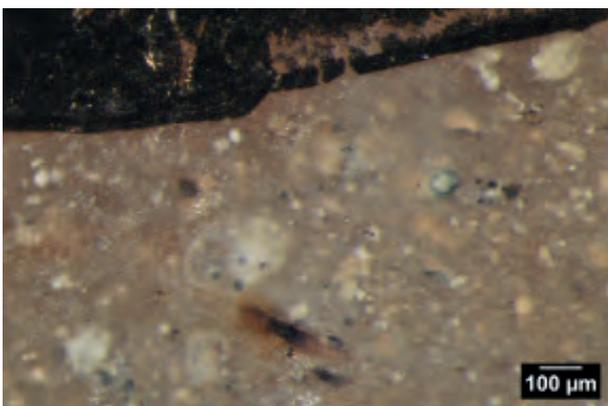
243.16-2 lamelle n° HS 111, structure homogène à matrice cryptocristalline, les intraclastes représentent 40% de la matrice. On note la présence de foraminifères benthiques associés à débris de tests indéterminés.



243.16-3 lamelle n° HS 111, à foraminifères trisériés.



243.16-4 lamelle n° HS 111, à foraminifères trisériés avec une partie du test nettement bisériée.



243.16-5 lamelle n° HS 111, à foraminifères indéterminés.



243.16-4 lamelle n° HS 111, fragment de test.

Figure 243.16 : Type 6 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



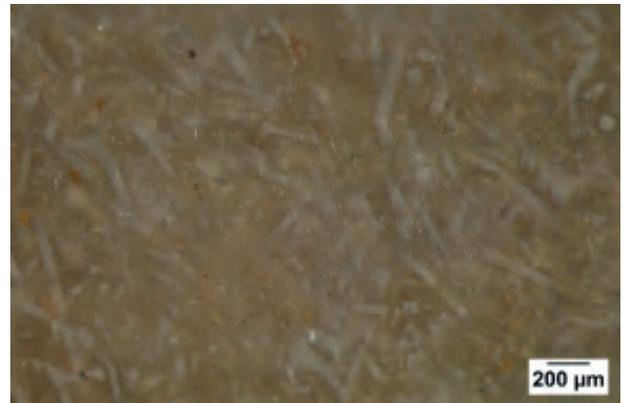
243.17-1 briquet n° 2387, néocortex alluvial impacté par processus d'altération tardifs (stries et traces de dissolution).



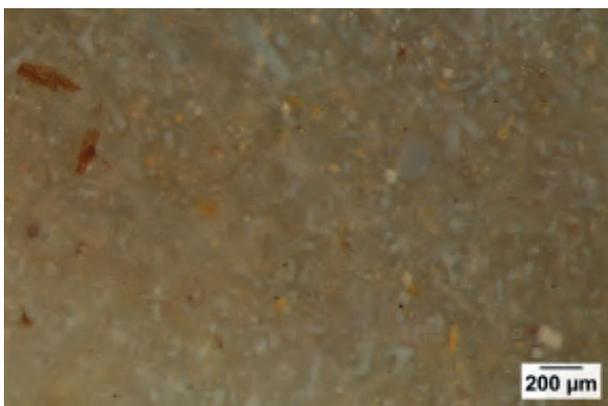
243.17-2 briquet n° 2387, néocortex alluvial (fort émoussé et racines de coups d'ongles) impacté par processus d'altération tardifs (stries et traces de dissolution).



243.17-3 briquet n° 2387, structure homogène à matrice micro à cryptocristalline, les intraclastes représentent 30% de la matrice. On note une présence importante de débris de spicules.



243.17-4 briquet n° 2387, détail de la zone la plus riche en bioclastes.

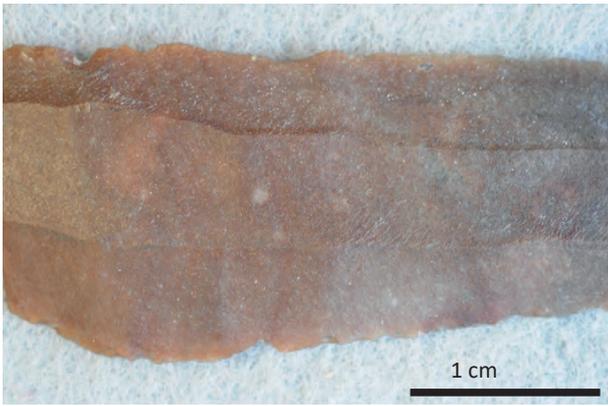


243.17-5 briquet n° 2387, spicules triaxones entrecroisées associés à des débris noirs et des rhomboèdres.

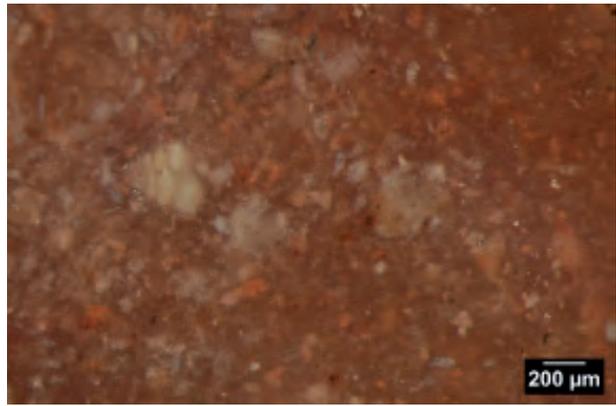


243.17-6 briquet n° 2387, spicules moaxes et triaxones.

Figure 243.17 : Type 9 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



243.18-1 lame n° HS 113.



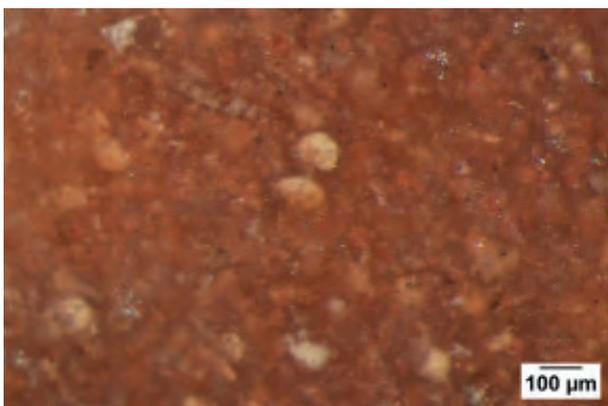
243.18-2 briquet n° 634, structure zonée à matrice cryptocristalline, les formes péloïdes sont majoritaires, les clastes représentent 50% de la matrice. On note la présence de foraminifères benthiques à tests planispiralés, bisériés et quinquéloculins.



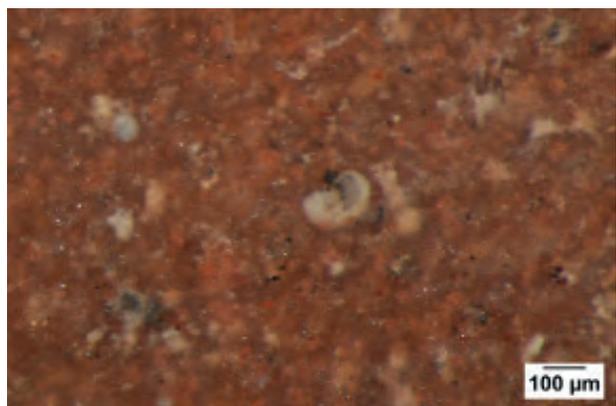
243.18-3 briquet n° 634, test quinquéloculin.



243.18-4 lame n° HS 113, débris indéterminés.



243.18-5 lame n° HS 113 foraminifères à tests planispiralés.



243.18-6 lame n° HS 113 détail, foraminifères à tests à contour arrondi planispiralés et son ouverture sur la dernière loge.

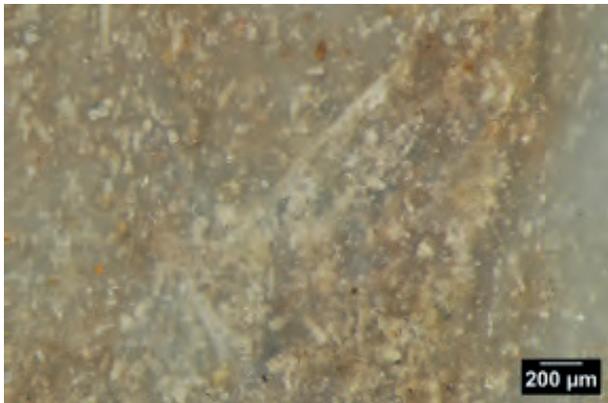
Figure 243.18 : Type 10 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



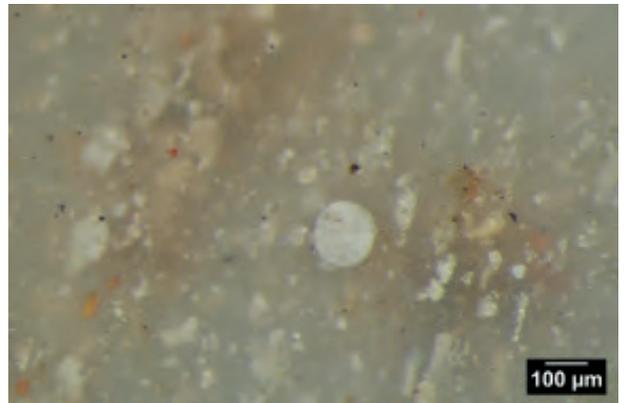
243.19-1 microdenté n° 620.



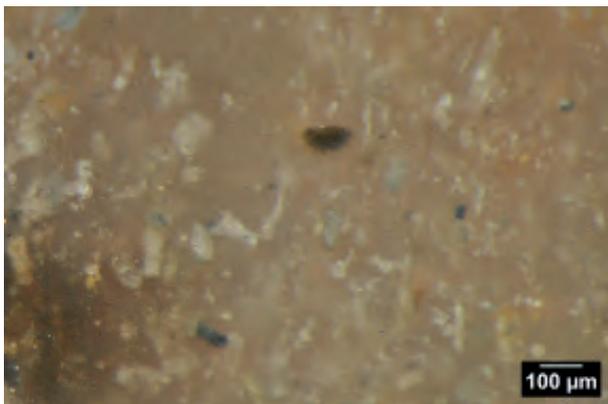
243.19-2 microdenté n° 620, structure litée à matrice cryptocristalline, les clastes représentent 30 à 40% de la matrice. On note la présence de spicules fins en abondances associés à des débris indéterminés.



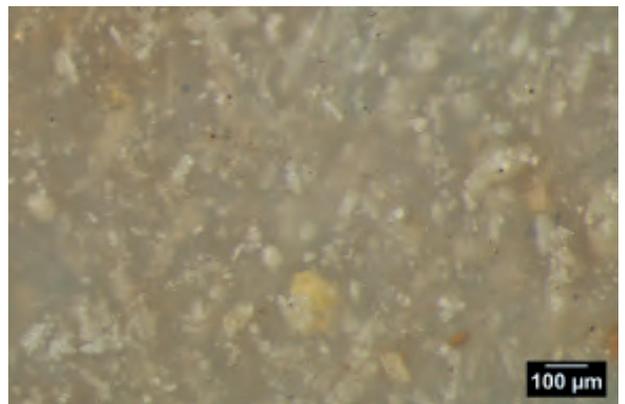
243.19-3 microdenté n° 620, bioclastes indéterminés.



243.19-4 microdenté n° 620, bioclastes indéterminés.



243.19-5 microdenté n° 620, bioclastes indéterminés.



243.19-6 microdenté n° 620, bioclastes indéterminés.

Figure 243.19 : Type 11 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



243.20-1 microdenticulé n° 4640.



243.20-2 microdenticulé n° 4640, structure homogène à matrice cryptocristalline, les intraclastes représentent 50% de la matrice. On note la présence de foraminifères bisériés, d'ostracodes et de spicules rares.



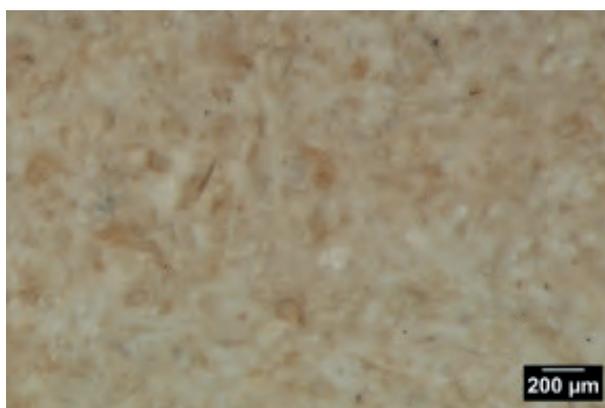
243.20-3 microdenticulé n° 4640, à foraminifère bisérié allongé à loges anguleuses vers l'apex.



243.20-4 microdenticulé n° 4640, à foraminifère planispiralé involutes.

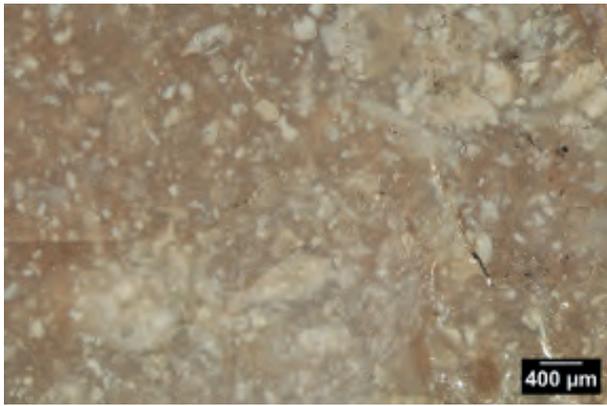


243.20-5 lamelle n° 551, structure similaire au n° 4640 à bioclastes indéterminés.

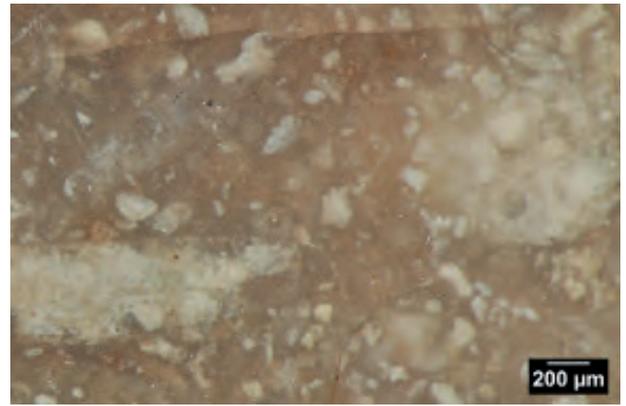


243.20-6 lamelle n° 551, structure similaire au n° 4640 à bioclastes indéterminés.

Figure 243.20 : Type 13 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



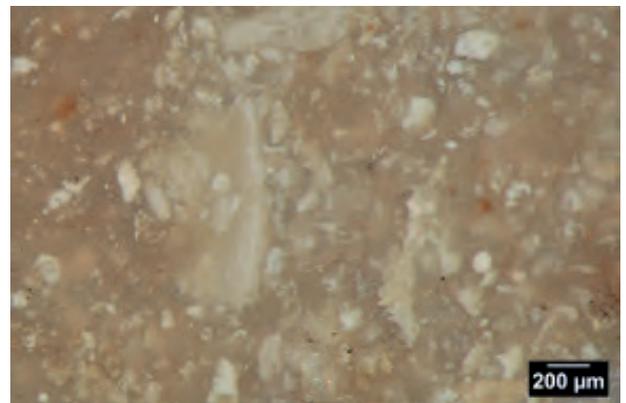
243.21-1 armature n° 251, structure hétérogène à matrice micro à cryptocristalline, les intraclastes représentent 30 à 50 % de la matrice. On note la présence de foraminifères divers, de Dasycladacées, spicules et débris d'échinides.



243.21-2 armature n° 251, à foraminifères benthiques bisériés et planispiralés, associés à des fragments plus grossiers indéterminés.



243.21-3 armature n° 251, à foraminifères benthiques indéterminés.



243.21-4 armature n° 251, à fragment de test indéterminé.



243.21-5 armature n° 631, à débris de Dasycladacées.

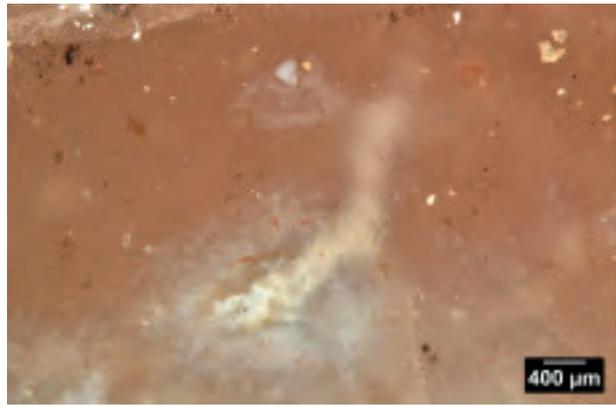


243.21-6 armature n° 631, à débris de Dasycladacées.

Figure 243.21 : Type 20 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



243.22-1 éclat retouché n° B1-915 à néocortex alluvial et pédologique.



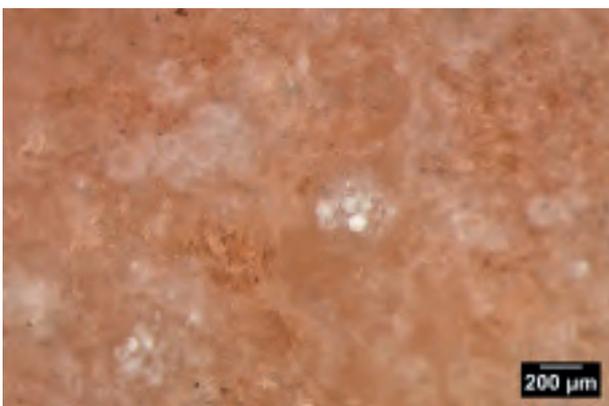
243.22-2 éclat retouché n° B1-915, structure hétérogène à matrice micro à cryptocristalline, on note la présence de rares racines.



243.22-3 éclat retouché n° B1-915, à formes collomorphes.



243.22-4 éclat retouché n° B1-915, à formes collomorphes.

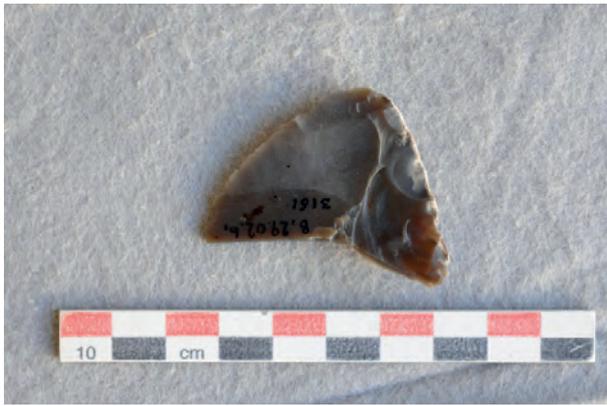


243.22-5 éclat retouché n° B1-915, à formes collomorphes.

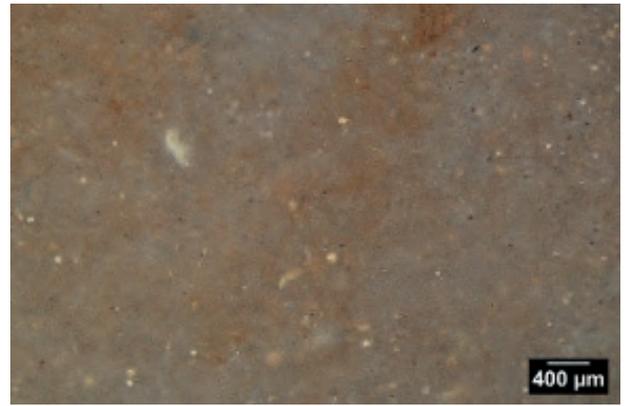


243.22-6 éclat retouché n° B1-915, à formes collomorphes et patine blanche.

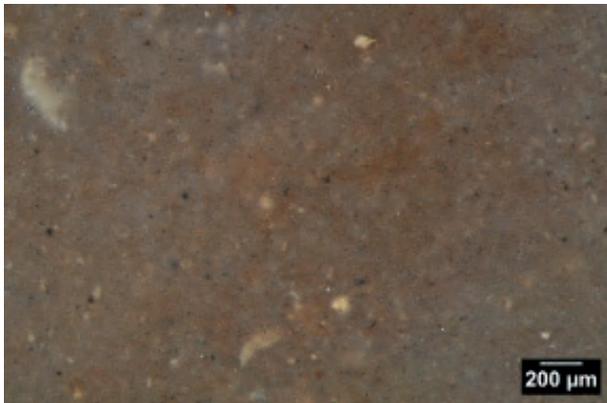
Figure 243.22 : Type 21 : silcrètes tertiaires issues de formations secondaires indéterminées



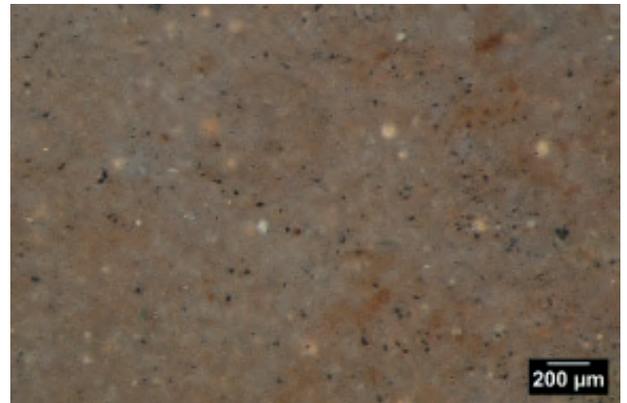
243.23-1 éclat retouché n° 3161 à néocortex alluvial et pédologique.



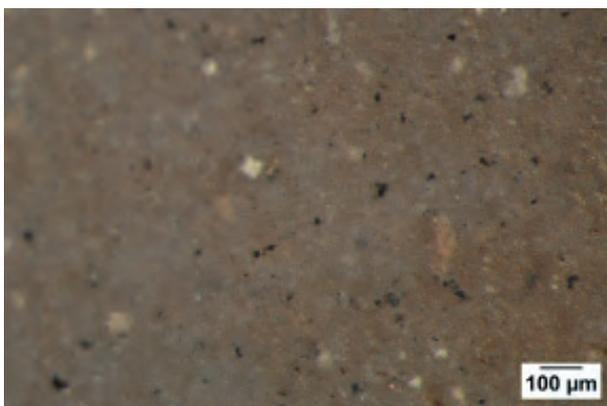
243.23-2 éclat retouché n° 3161, structure homogène à matrice cryptocristalline, les intraclastes représentent 10% de la matrice. On note la présence de débris noirs et de bioclastes indéterminés.



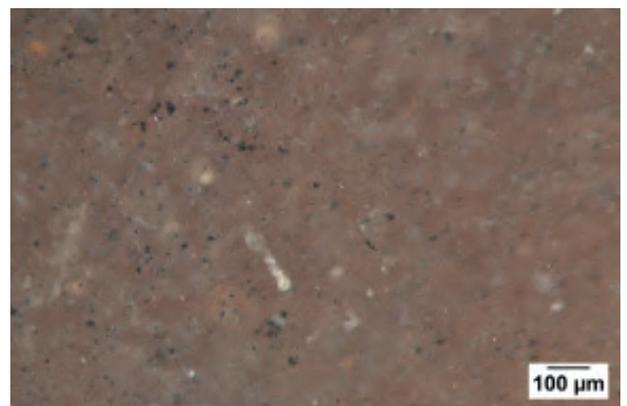
243.23-3 éclat retouché n° 3161, détail de la photo précédente.



243.23-4 éclat retouché n° 3161, abondance de débris noirs.



243.23-5 éclat retouché n° 3161, présence de rhomboèdres.



243.23-6 éclat retouché n° 3161, à bioclastes de petite taille indéterminés.

Figure 243.23 : Type 15 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



243.24-1 lame n° B1-952, structure homogène à matrice micro à cryptocristalline, les intraclastes représentent 50 % de la matrice. On note la présence de Dasycladacées associées à des foraminifères et des spicules.



243.24-2 lame n° B1-952, détail de la photo précédente.



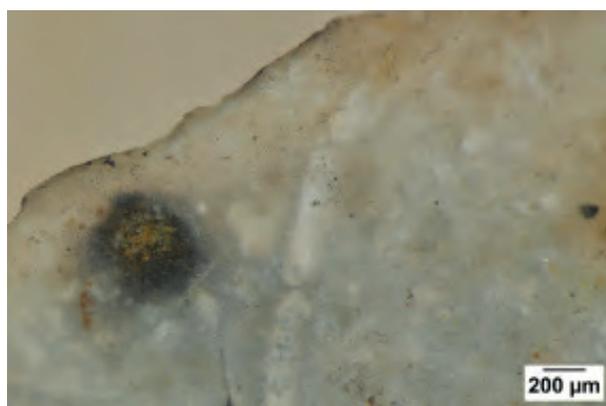
243.24-3 lame n° B1-952, à section de Dasycladacées.



243.24-4 lame n° B1-952, à foraminifères et autres bioclastes indéterminés.



243.24-5 lame n° B1-952, à bioclastes indéterminés.



243.25-6 lame n° B1-952, à bioclastes indéterminés.

Figure 243. 24 : Type 16 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées



243.25-1 éclat n° 554, structure homogène à matrice micro à cryptocristalline, les intraclastes représentent 20 % de la matrice. On note la présence de valves d'ostracodes associées à des débris présentant des aspects proches de certains bryozoaires et à de rares spicules. La patine blanche oblitère une partie des informations.



243.25-2 éclat n° 554, débris de bryzoaire ?



243.25-3 éclat n° 554, valve d'ostracode.



243.25-4 éclat n° 554, bioclastes indéterminés.

Figure 243.25– Type 17 : silex marin issus de formations secondaires indéterminées

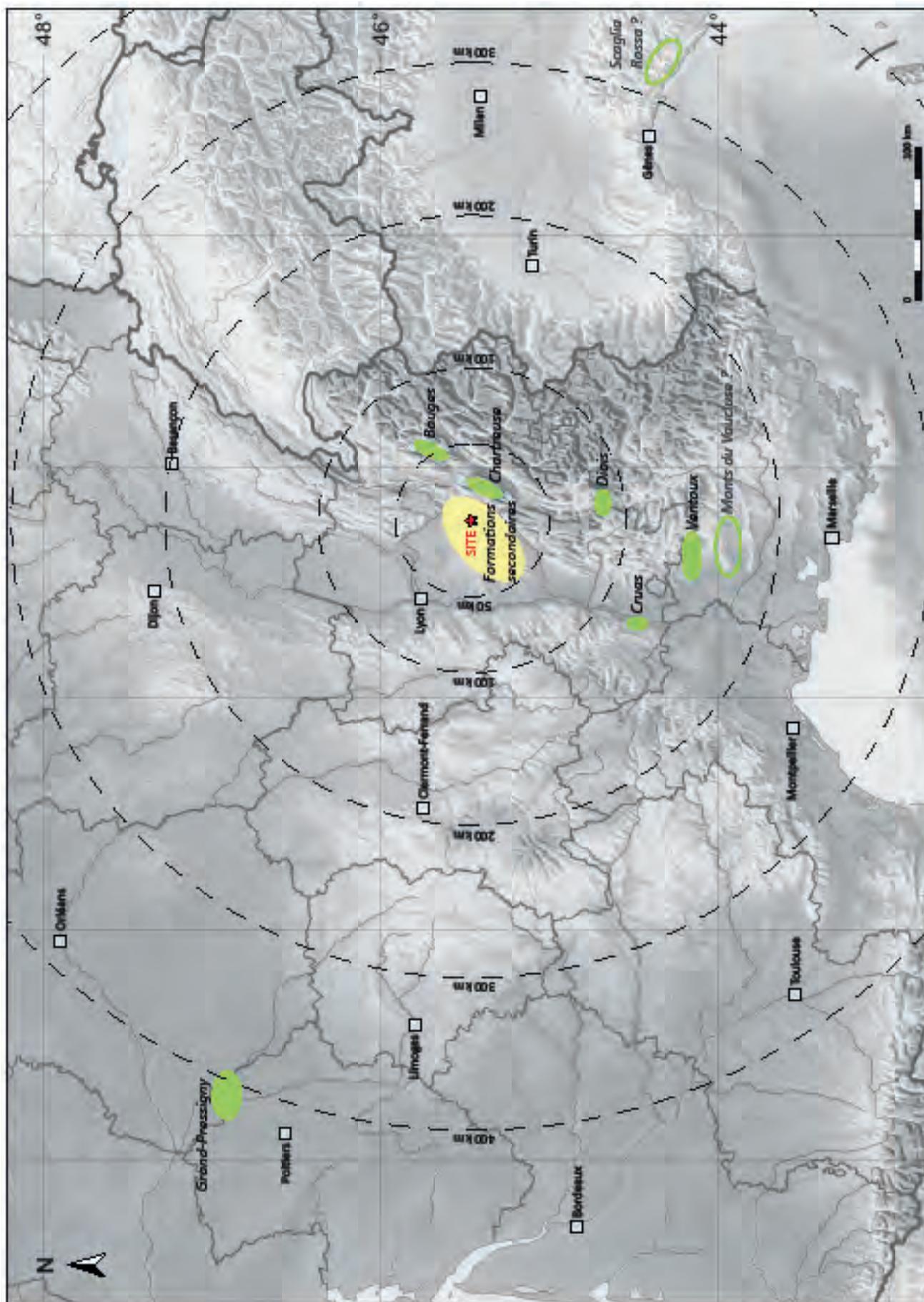


Figure 243.26 : Carte des différentes provenances identifiées et probables

2.4.4. PÉTROGRAPHIE, TECHNOLOGIE, QUELS ENJEUX POUR LE NÉOLITHIQUE MOYEN CHASSÉEN DU GOURNIER À MONTÉLIMAR (DRÔME) ? (XD)

Ce texte interroge l'intérêt d'intégrer l'étude portant sur la circulation des matières premières du site du Gournier à Montélimar (Drôme) selon le modèle récent reposant sur la mise en place de bases de données géoréférencées. Cette démarche s'appuie sur une méthodologie d'étude pétrographique refondée, intégrant les propriétés d'enregistrement des changements paléoenvironnementaux affectant les états de surface des échantillons de silex (Fernandes 2012, Fernandes et al. 2015). Ces travaux faisant le lien entre points de collecte en contexte de formation primaire et de formation secondaire, les auteurs proposent la restitution des étapes d'un parcours paléogéographique. Cette démarche semble particulièrement cohérente en Drôme en raison des différents programmes de recherches menés depuis plus de trente ans par l'équipe du Centre Archéologique de Valence, actuel CAPRA.

C'est en effet l'approche interrogeant les relations unissant l'homme à son milieu naturel ainsi qu'au territoire exploité qui a été au cœur des problématiques de recherche touchant principalement le Néolithique moyen chasséen de la moyenne vallée du Rhône et de ses marges (Beeching, 1989, 2005 ; Beeching et Brochier 1989a, 1989b, 2011).

La question de l'origine et de l'utilisation des différents gîtes siliceux de la Drôme a également été documentée au fil de programmes de prospections et de publications dressant un bilan des ressources recensées (Beeching et al. 1994 ; Riche 2005 ; Bressy 2007 ; Bressy et al. 2010).

Ces travaux ont mené à la reconnaissance de nombreuses installations chasséennes regroupées principalement au sein des bassins drômois d'une part et valdainais d'autre part.

Parmi ceux-ci, les implantations concernant les grands sites de plaine ont suscité nombre d'interrogations concernant le statut de telles occupations au sein d'un territoire néolithique alors interprété comme étant structuré selon un réseau, dont les différentes modalités de fonctionnement sont régulièrement documentées par les avancées d'approches interdisciplinaires (Beeching 1991, 2003 ; Bréhard, 2007 ; Bréhard et al., 2010 ; Thirault et al., 2016).

Contexte de recherches

Intégrant les problématiques de l'A.C.R. intitulée « Les grands sites de terrasses chasséens dans le contexte de recherches rhodaniennes » (Beeching et al. 2006), un mémoire de

maîtrise soutenu sous le régime des Master 1 de l'Université Lumière Lyon 2 en 2016 a été l'occasion d'aborder la structuration de niveaux d'occupation chasséens du secteur de Fortuneau du site du Gournier à Montélimar, Drôme (Deparnay 2016). Ce travail a permis de documenter sur le site du Gournier les modalités d'acquisition et de transformation propres aux silex blonds barrémo-bédouliens bien représentés dans la moitié sud de la France durant le Chasséen (Binder 1998, Léa 2004a). La mise en évidence d'un haut niveau de spécialisation technique des ateliers pour la mise en forme avant et après traitement thermique, la diffusion de supports laminaires et de nucléus préformés destinés au débitage par pression, sont un enjeu majeur dans la compréhension des relations complexes unissant sites producteurs et sites consommateurs. Pour l'heure, les connaissances concernant de tels ateliers spécialisés dans la mise en forme et le traitement thermique des nucléus ont trait à la proximité des gîtes d'extraction du Vaucluse (Léa 2004b, 2005, 2010).

Les silex « barrémo-bédouliens vauclusiens » du secteur Fortuneau du Gournier

La moyenne vallée du Rhône constitue un axe de circulation majeur pour la diffusion des productions en silex bédoulien du Vaucluse vers le Nord (Léa, 2004a). Si l'on observe sur les sites consommateurs drômois et notamment au Gournier la persistance de modalités d'acquisitions et d'utilisation propres aux traditions chasséennes du sud de la France (Deparnay, 2016), qu'en est-il de la proportion de matériaux bédouliens drômois dont la qualité et l'aspect macroscopique les rendent difficilement différenciables des silex bédouliens du Vaucluse ?

Lors de notre étude technologique des silex issus de la zone G du secteur Fortuneau du Gournier, il n'a pas été possible de croiser nos observations avec une approche proprement pétrographique de la série. Une certaine variabilité recouvre néanmoins l'appellation « silex blonds bédouliens » de Fortuneau, à l'instar de l'armature géométrique trapézoïdale n° 590 que nous avons pu rattacher à une phase du Chasséen récent rhodanien. Si sa détermination pétrographique reste en suspens, voir en souffrance, nous avons trouvé les plus proches éléments de comparaison sous loupe binoculaire avec des échantillons de la lithothèque du CAPRA Valence provenant du gîte crétacé de Malataverne « Le Colombier » (Drôme).

Ce type d'armature de flèche étant réalisé durant le Chasséen récent préférentiellement sur support lamellaire, comment interpréter la possible provenance de son matériau d'origine

depuis un gîte non pas situé en territoire vauclusien mais bel et bien drômois, qui plus est situé à mi-distance des grands sites de plaine chasséens que sont le Gournier de Montélimar et Les Moulins de Saint-Paul-Trois-Châteaux ? Notons la présence dans notre série d'un élément au statut technique particulier, en l'occurrence une pièce esquillée réalisée sur éclat laminaire très robuste. Cet éclat semble tenir une position à part dans les chaînes opératoires du silex blond traité thermiquement. Débité après chauffe, il présente sur sa face supérieure deux négatifs d'éclats laminaires mats recoupés par un dernier enlèvement réalisé après chauffe. Il est en outre porteur d'enlèvements irréguliers discontinus sur ses bords droits et gauches et d'esquillements en parties distale et proximale. Une telle pièce esquillée ne s'accorde pas avec le schéma incluant les éclats bédouliens chauffés dans la reprise par percussion des nucléus en fin de débitage lamellaire. Elle évoque en revanche la possibilité d'une arrivée sur le site, conjointement aux préformes de nucléus lamellaires chauffés et de lamelles non chauffées déjà débitées, d'éclats robustes de silex bédoulien chauffés. En zone G de Fortuneau, ces éclats importés ne sont donc pas tous voués à un débitage lamellaire, ni débités jusqu'à l'épuisement du support. Ils correspondent à des besoins fonctionnels gérés de la même manière que les éclats associés aux productions lithiques en silex autochtone. En outre la présence à Fortuneau d'une série d'éclats d'ouverture de plans de pression atteste du statut particulier de la position de l'occupation en tant que site consommateur.

L'opération préventive touchant ce secteur durant l'année 2006 a ainsi livré des éclats d'ouverture de plan de pression débités après traitement thermique. Sept ont été trouvés dans la zone C (Léa, 2006). Plusieurs d'entre eux évoquent ceux découverts en contexte d'atelier de Saint-Martin à Malaucène en Vaucluse (Léa, 2005). Ce secteur de Fortuneau atteste donc d'une « fin de mise en forme sur place des préformes en silex bédouliens chauffés » (Léa, 2006 : 328). Ces éléments attestent ainsi un déplacement de certaines activités de taille généralement effectuées sur les ateliers vers certains secteurs du Gournier. Ils en soulignent ainsi la proximité, peut être reflétée par un statut intermédiaire qui n'existe pas dans le schéma classique d'interaction entre sites producteurs et sites consommateurs. La question de la place du site dans le réseau des sites producteurs et consommateurs de silex bédoulien rappelle également les problématiques de gestions et de structurations territoriales de la Drôme durant le Chasséen. Le modèle d'un grand site de plaine faisant converger sur son aire nucléaire des activités humaines spécifiques,

dont des comportements rituels liés aux faits funéraires (Beeching, 1991) fait un écho singulier au statut des productions lithiques importées ou produites sur le site.

Conclusion

« La caractérisation précise des ressources fixes – et notamment celle des silex qui forment l'essentiel des équipements des groupes humains préhistoriques qui parviennent aux archéologues – revêt un intérêt particulier en ce qu'elle permet de dessiner des espaces parcourus et d'identifier des modes de transport des artefacts qui renseignent sur les formes sociales et les régimes de mobilité » (Fernandes, 2015 : 17). Ce constat s'applique particulièrement bien à l'espace géographique drômois dont les problématiques de recherche touchant le Chasséen se sont notamment focalisées sur l'interaction entre l'homme et son milieu naturel (Beeching 1989, 2005 ; Beeching et Brochier 1989a, 1989b, 2011). L'importance de la question des réseaux d'échanges et de circulation des matières premières durant le Chasséen ne fait que renforcer l'intérêt d'une caractérisation pétrographique fine des éléments en silex des grands sites de plaine, à l'instar du Gournier qui tient une place à part dans le tissu de relations inter-sites du Néolithique moyen drômois.

2.5 AXE 5 : VALORISATION ET DIFFUSION DES RÉSULTATS

Le PCR est également un support de diffusion de l'information, dont l'objectif est de rendre disponible l'ensemble des données acquises et techniques mises en œuvre aux membres du PCR, mais également à tous les acteurs scientifiques se sentant concernés. Nos travaux font donc l'objet de sessions d'apprentissage à destination des étudiants (cours et séminaires) et/ou des professionnels, mais également de communications à l'échelle régionale, nationale et internationale, puisque les savoir-faire développés dans le cadre du PCR retiennent de plus en plus l'attention de collègues s'interrogeant sur les relations Hommes / géomatères / environnement.

Outre les interventions lors de cours magistraux de Master dispensé par deux d'entre nous à l'Université de Nice (cf. M1 du CEPAM par PF) et de Clermont-Auvergne (cf. M1 de GEOLAB par VD) Plusieurs participations à des journées d'étude et colloques nationaux et internationaux touchant aux divers aspects de nos travaux ont été effectuées cette année : 1) Table ronde du réseau CAIRN à Nice (structuration du PCR), 2) Réunion scientifique « cartographie » du laboratoire PACEA (cartographie des formations à

silex), 3) « Journée lithothèque » du laboratoire CreAAH de Rennes (méthode de caractérisation des silicites), 4) « *Symposium Rockview* » de Bern en Suisse (méthode de caractérisation des silicites), 5) Journée d'étude du réseau ISA de Pau (cartographie des formations à silex)

**2.5.1. SÉMINAIRE CARACTÉRISATION DES SILEX
-CITÉE DE LA PRÉHISTOIRE MUSÉE D'ORGNAC
-15-17 FÉVRIER 2017 (PF, VD, MP, LC, PG)**

Ce séminaire, co-organisé par P. Fernandes, V. Delvigne et P. Guillermin, avec le soutien du Musée de Préhistoire d'Ornac (Ardèche) était à destination des étudiants. Il a réuni 14 étudiants en M1, M2 et thèse venant de différentes universités : Toulouse, Paris, Montpellier, Bordeaux, Dijon, Lyon et Aix-Marseille.

Le programme de ce séminaire était le suivant :

MERCREDI 15 FÉVRIER

- 11h : accueil des participants, visite de la Cité de la Préhistoire

12h30 : déjeuner sur site (plateaux-repas)

- 14h00 - 15h30 : Archéologie : silex et culture, silex et territoires (V. Delvigne). L'étude de l'origine des silex s'inscrit dans une recherche globale sur les modes d'exploitation des ressources et la territorialité des groupes humains. Enjeu majeur dans le développement des connaissances sur des sociétés préhistoriques, la caractérisation précise des silex revêt un intérêt tout particulier : elle permet d'inférer des espaces parcourus, d'identifier des modes de transport des matières brutes et des objets à divers stades de fabrication et renseigne donc avec un degré de résolution significatif sur les sociétés du passé, leurs économies et leurs réseaux de mobilité.
- 15h45 - 17h15 : Géochimie et autres méthodes de caractérisation : analyses critiques des protocoles et des techniques, bilan des travaux récents et prospective (M. Piboule). Les problèmes de discrimination posés par les analyses chimiques nous obligent à engager une double réflexion méthodologique avec, d'une part, le choix d'une palette analytique pertinente adaptée aux problématiques géochimiques des silex et, d'autre part, des choix très sélectifs des objets (et des zones) à analyser comme les plus représentatifs de la chaîne évolutive. La caractérisation des états géochimiques successifs relatifs à l'évolution d'un échantillon selon un

itinéraire paléogéographique déterminé au cours de l'étude pétrographique peut être riche d'enseignements sur la provenance de l'échantillon.

- 17h30 : Discussions

18h : Apéritif offert par la Mairie d'Ornac-l'Aven

20h : Dîner à l'hôtel du Diaprysius

JEUDI 16 FÉVRIER

- 9h – 10h30 : Géomatique : cartographie dynamique des formations à silex (V. Delvigne et C. Tufféry). Les archéologues doivent pouvoir disposer de cartes dynamiques révélant la diffusion d'un certain nombre de type de silex depuis leur formation d'origine jusqu'aux formations secondaires les plus distales. Ces cartes sont associées à des fiches descriptives prenant en compte l'évolution de chaque type de silex au cours des différents itinéraires naturels parcourus, sur le modèle de la base de données géoréférencées des principales formations à silex du sud de la France (un des outils produits par le projet collectif de recherche Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes).

- 10h45- 12h15 : Paléoenvironnements : interactions silex et environnements de formation (P. Fernandes). Les objectifs de ce thème sont de rappeler qu'un milieu de dépôt à silex est caractérisé par une succession de processus constitutifs qui sont saisissables. Pour ce faire on dispose de références, de méthodes et de modèles aujourd'hui fixés.

12h 30 : déjeuner sur site (plateaux-repas)

- 14h-15h30 : Comportements de la silice : détermination de l'histoire sédimentaire et mesure de l'évolution post-génétique (P. Fernandes). L'évolution de la nature, de la forme et de la disposition des minéraux est la traduction directe des altérations subies par l'échantillon après la diagenèse. La prise en compte des transformations minérales, texturales et des associations de stigmates permet de déterminer l'origine des objets affectés par l'altération.
- 15h45- 17h15 : Pétrographie et pétrologie : identification des clastes et mesure de l'évolution pré- et post-dépositionnelle des microfaciès et des surfaces (P. Fernandes, V. Delvigne). L'analyse des silex nécessite l'utilisation de modèles dynamiques afin de décrypter les étapes de la phase diagénétique et l'historique des processus pré et post-dépositionnels. En fait, chaque

environnement du silex a imposé une série de traits communs caractéristiques dans une unité paléogéographique déterminée. C'est sur le postulat de décryptage de la variabilité, qu'elle soit génétique et/ou post-génétique, qu'est fondée notre conception de la pétroarchéologie du silex.

19h30 : Dîner à l'hôtel du Diaprysius

VENDREDI 17 FÉVRIER

- 9h00- 10h30 : Distinction traces naturelles – traces anthropiques (L. Chesnaux)
La tracéologie repose sur l'observation des traces de fabrication et d'utilisation présentes à la surface des outils préhistoriques. Comme vu dans le cadre des autres modules, la structure du silex enregistre l'ensemble des processus pré- et post-dépositionnels auquel il est soumis. Ces derniers peuvent masquer ou modifier les traces d'origine technique et/ou fonctionnelle. La prise en compte systématique de l'évolution post-dépositionnelle des surfaces nous permet ainsi de discriminer clairement les traces taphonomiques des traces anthropiques.
- 10h45- 11h30 : Synthèse et discussions

2.5.2. ÉCOLE DE TERRAIN PCR À SAINT-CYR-EN-VAL, INRAP LES 21 ET 22 SEPTEMBRE 2017 (VD, PF, CT)

En plus du séminaire à destination des étudiants de M1 et M2 de divers universités françaises qui s'est déroulé du 15 au 17 février 2017 à Orgnac-l'Aven en Ardèche (opération conjointe des PCR « Réseau de lithothèques en région Centre-Val-de-Loire », « Réseau de lithothèques en région Nouvelle Aquitaine » et « Réseau de lithothèques en Auvergne-Rhône-Alpes ») et à l'initiative de C. Verjux, il s'agissait d'organiser une école de terrain ouverte aux membres du PCR « Réseau de lithothèques en région Centre-Val-de-Loire » afin de présenter et d'enseigner les nouvelles méthodes de caractérisation des silicites en s'appuyant sur les échantillons de silex turoniens de la région d'Amboise issus des prospections 2015 de H. Lethrosne. Cette école, qui a réuni 12 participants, s'est déroulée à la base INRAP de Saint-Cyr en Val du 20/09/17 au 22/09/2017. Les 12 participants étaient tous membres du PCR : Gabriel Teurquety, Johannes Musch, Michel Philippe, Laure-Anne Millet-Richard, Paul Fernandes, Harold Lethrosne, Clément Recq, Christophe Tufféry, Marie-France Creusillet, Vincent Delvigne, Sandrine Deschamps et Olivia Dupart, à l'exception de Fanny Bouché, doctorante à l'Université Paris I sous la direction de J. Primault et B. Valentin. En raison de son sujet

de recherche et à la demande de ses directeurs, nous avons accepté de l'intégrer à cette formation.

Présentation de l'école

La formation dispensée porte sur l'initiation et la mise à jour des connaissances en matière d'inventaire et de caractérisation des silicites utilisées pour la constitution des outillages par les Hommes préhistoriques. Elle vient à la suite de l'école thématique silex organisée par le CNRS, le MCC, l'Inrap et Paléotime à Nice au mois de novembre 2016 (cf. rapport 2016) et à la demande effectuée par l'un d'entre nous (CV) de voir développer en région ce genre d'initiative. Il répond à un des engagements pris au cours de cette école : contribuer à la diffusion de l'information sur les géomatères. Le premier objectif est de mettre en place des pratiques harmonisées dans le domaine de la constitution des lithothèques. Ces futurs référentiels devront constituer des archives de premier ordre pour mieux aborder les sociétés préhistoriques et leur évolution. Le deuxième objectif est de diffuser les avancées méthodologiques les plus récentes, prenant en compte le concept de « chaîne évolutive », qui permettent de sortir de nombreuses impasses en termes de caractérisation des origines des silicites. Leur dissémination dans le cadre de cette école a l'ambition de renforcer les compétences des participants confrontés à des problématiques technoéconomiques et paléoenvironnementales.

Les grands axes du programme

Les modalités pédagogiques s'articulent autour du triptyque cours (sur les grands axes du programme listé *supra*) / ateliers (pratique analyses macroscopiques et microscopiques, constitution d'une grille d'observation analyse spatiale de la distribution naturelle des silex ...) / tables rondes (réflexion critique sur les méthodes de caractérisation, la réorganisation des lithothèques ...). Ces aspects seront articulés au sein des trois modules thématiques suivants :

A) Méthode d'inventaire et développement de l'outil lithothèques

Outre un bref rappel sur ce que sont les silicites (géologie, pétrologie, minéralogie), étaient décrits et expliqués dans ce module les choix dans l'établissement de la fiche terrain, ainsi que les méthodes et objectifs des prospections dans une perspective dynamique intégrant le concept de chaîne évolutive des silicites.

Durée du cours ≈ 2h00

B) Pétrographie et pétrologie : méthodes et techniques retenues pour améliorer l'analyse de la provenance des silex

Description et explication des trois grilles d'observations (génétique, prédépositionnelle et taphonomique) afin de mesurer l'évolution pré- et post-dépositionnelle des microfaciès et des surfaces. Les objectifs de ce module, qui constitue le cœur de la formation, étaient de rappeler qu'un milieu de dépôt à silex est caractérisé par une succession de processus constitutifs qui sont saisissables. La prise en compte des transformations minérales, texturales et des associations de stigmates, pour lesquelles nous disposons aujourd'hui de références, de méthodes et de modèles fixés, permet de déterminer la provenance des objets affectés par l'altération. C'est sur ce postulat de décryptage de la variabilité, qu'elle soit génétique et/ou post-génétique, qu'est fondée notre conception de la pétroarchéologie du silex.

Durée du cours ≈ 4h00

C) Acquisition et diffusion de données descriptives et cartographiques sur les formations à silex

Les données descriptives sur les formations à silex peuvent être enregistrées dans une base de données mise au point dans MS Access. Le modèle de cette base de données a été mis au point à partir des principales formations à silex du sud de la France. Dans la base de données, trois formulaires ont été conçus pour faciliter l'enregistrement des données qui permettent de rendre compte de l'évolution de chaque type de silicite au cours des différents itinéraires naturels parcourus. Une fois saisies, ces données peuvent être reliées aux données cartographiques sur les formations à silex numérisées selon un protocole harmonisé à partir des cartes géologiques au 1/50 000 du BRGM disponibles sur Infoterre. Les données peuvent ensuite être diffusées et partagées sur une plate-forme comme ArcGisOnLine ou sous forme d'un web service cartographique (WMS). Les données peuvent aussi être consultées, complétées et corrigées sur tablette ou smartphone sur le terrain en situation de mobilité, avec des applications gratuites et simples d'utilisation.

Durée du cours ≈ 2h00

D) Travaux pratiques : observation et description des silex turoniens de la région d'Amboise

La deuxième journée de l'école de terrain était consacrée à l'application des théories et outils vus en cours le jour précédent. Il s'agissait de remplir

les deux premiers formulaires de la base de données de description des silicites (chap. 2.2.1.) pour des échantillons géologiques provenant des prospections effectuées en 2015 par H. Lethrosne dans la région d'Amboise. Les participants étaient divisés en cinq groupes de deux et avaient à disposition la base de données vierge ainsi que des loupes binoculaires allant d'un grossissement x40 à x200.

2.5.3. PARTICIPATIONS À COLLOQUE

Plusieurs participations à des journées d'étude et colloques nationaux et internationaux touchant aux divers aspects de nos travaux ont été effectuées cette année : 1) Table ronde du réseau CAIRN à Nice (structuration du PCR), 2) Réunion scientifique « cartographie » du laboratoire PACEA (cartographie des formations à silex), 3) « Journée lithothèque » du laboratoire CreAAH de Rennes (méthode de caractérisation des silicites), 4) « Symposium Rockview » de Bern en Suisse (méthode de caractérisation des silicites), 5) Journée d'étude du réseau ISA de Pau (cartographie des formations à silex). La liste est donnée ci-dessous.

15/03/2017

JOURNÉE THÉMATIQUE « BASE DE DONNÉES » DU RÉSEAU CAIRN
Université de Nice, CEPAM UMR 7264.

Les projets collectifs de recherches : Réseau de lithothèques, retour d'expérience.

Paul Fernandes, Christophe Tufféry, Vincent Delvigne, André Morala, Céline Léandri-Bressy

12/09/2017

Journée « lithothèques » - conférence invitée.
Université de Rennes II, UMR 6566 CreAAH

La Chaîne évolutive des silex

Paul Fernandes

03/10/2017

Réunion thématique du thème 3 de l'UMR 5199 PACEA : « La carte en archéologie »
Université de Bordeaux, PACEA UMR 5199

L'étude de l'évolution et de la diffusion des silex : les travaux des PCR Réseaux de lithothèques en matière de bases de données descriptives et cartographiques.

Christophe Tufféry, Paul Fernandes, Vincent Delvigne

12/10/2017 et 13/10/2017

International Exploratory Workshop :
« Rockview : Standardizing geochemical and
geological Methods for analysing Prehistoric
Archaeological Flint Stone Artefacts ».
Université de Bern (Suisse), Institute of
Archaeological Sciences

Primary or secondary outcrops ? A dynamic
methodology for characterization of flint.
Vincent Delvigne et Paul Fernandes

30/11/2017 et 01/12/2017

Journée d'étude « Modélisation et élaboration
conceptuelle de bases de données spatiales
en archéologie et en histoire » du réseau ISA.
Université de Pau et des pays de l'Adour,
laboratoire ITEM.

Modélisation de données descriptives et
spatiales sur les silex pour des projets de
recherche collectifs en préhistoire. L'expérience
en cours de plusieurs réseaux de lithothèques.
Christophe Tufféry, Paul Fernandes, Vincent
Delvigne, André Morala, Geneviève Pinçon,
Stéphane Konik

3. Nouvelles des autres PCR «Réseau de lithothèques»

Le PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne-Rhône-Alpes » est fortement relié à deux autres opérations en cours dans des régions voisines. Le PCR « Réseau de lithothèques en région Nouvelle Aquitaine (direction A. Morala) et le PCR « Réseau de lithothèques en région Centre-Val-de-Loire » (direction V. Delvigne). Nous présentons ici le résumé de ces opérations pour l'année 2017.

3.1 RÉSEAU DE LITHOTHÈQUES EN RÉGION NOUVELLE AQUITAINE

Le PCR « Réseau de lithothèque en région nouvelle Aquitaine » s'inscrit dans une volonté de faire progresser la recherche sur les modes d'exploitation des ressources minérales et sur la territorialité des groupes humains préhistoriques. Le PCR est étroitement associé aux autres programmes déjà en place (Auvergne Rhône-Alpes, Centre Val-de-Loire) et participe à la création de nouveaux programmes plus ou moins aboutis (en Ile de France, PACA et Bretagne). Cette démarche commune est soutenue par les deux instituts du CNRS (InEE et InSHS), plusieurs Universités (Bordeaux, Bordeaux Montaigne, Rennes1), la Sous-direction de l'Archéologie, la direction régionale des affaires culturelles (DRAC), le Centre National de Préhistoire de Périgueux (CNP), le Musée national de Préhistoire des Eyzies-de-Tayac-Sireuil, la direction scientifique de l'Inrap et la Société Paléotime. L'enquête nationale diffusée à partir de 2016 dans tous les UMR d'archéologie à l'initiative de C. Bressy-Léandri, Paul Fernandes, Didier Binder et Jean-Paul Raynal qui avait pour but d'identifier les personnels impliqués dans la recherche sur les géomatériaux a confirmé l'adhésion d'une très large communauté au renouvellement conceptuel et méthodologique dorénavant utilisé par les membres du PCR. Cette synergie constitue un des principaux enjeux des études actuelles concernant les sociétés paléolithiques et néolithiques.

En 2017, grâce à l'investissement bénévole, de nos membres, nous avons obtenu un progrès significatif au niveau régional pour plusieurs thématiques : un retour sur le terrain, l'état des lieux des fonds lithothèques, le partage des informations, la synthèse et l'harmonisation des bases de données acquises, la caractérisation fine des types marqueurs et enfin la valorisation des résultats par la constitution de cartes SIG des gîtes. Ce travail a permis la consolidation d'une structure coopérative de recherche à l'échelle régionale sur la caractérisation de la provenance des silex et leur évolution post-dépositionnelle. Désormais, la perspective de participer à la structuration d'une communauté nationale peut devenir une réalité (un projet de GDR coordonné par C. Bressy-Léandri sera déposé en 2018). Ce groupement de recherche aura vocation à articuler à l'échelon national de nombreuses initiatives, anciennes ou récentes, jusqu'à présent diversement connectées les unes aux autres. Ces deux démarches complémentaires se fondent sur des modes d'action similaires :

- Axe 1 : structuration fondée sur l'inventaire et développement de l'outil lithothèque ;
- Axe 2 : une meilleure dissémination de l'état de l'art et des méthodes de caractérisation au moyen de différentes actions ; vers une vision renouvelée de la caractérisation des silex, développements méthodologiques et cas d'étude,
- Axe 3 : sur une harmonisation des fiches d'inventaire, de caractérisations pétrologiques et géochimiques au service du développement de l'outil cartographique,
- Axe 4 : vers les applications, travaux menés sur le mobilier archéologique régional,
- Axe 5 : sur une valorisation des résultats, vers une mise en réseau et une mutualisation des bases de connaissance afin de créer un pôle de compétences pluridisciplinaire régional intégrable au projet national.

Nous avons mis en place une approche multi-

technique et multi-échelle consacrée à l'analyse de l'évolution des propriétés des silex. La mise en corrélation des résultats obtenus permet d'avancer dans la compréhension des mécanismes à l'origine de la variabilité ou de l'immuabilité des silex archéologiques. Nous avons ainsi commencé à constituer un procédé de quantification de la transformation de la structure et de la composition initiale afin de déterminer plus précisément leur provenance et leur évolution dans le site archéologique.

En matière de diffusion et d'homogénéisation des données entre les chercheurs, l'utilisation de la plate-forme ArcGIS Online (AGOL) sur les formations à silex de Dordogne permet de démontrer les possibilités techniques d'une mise en ligne aisée. Les données rassemblées proviennent de la fiche de terrain harmonisée de la BDD sur les silex et même parfois de données géoréférencées numérisées depuis plusieurs années. En cette fin de l'année 2017 l'ambition fédératrice reste donc la composante fondamentale du projet.

Les données recueillies et rendues pérennes grâce aux liens étroits tissés avec le Musée national de Préhistoire des Eyzies-de-Tayac-Sireuil ouvrent de nouvelles perspectives interdisciplinaires. La masse de connaissances ainsi rassemblée, harmonisée et classée représente une base solide et consultable à partir de la fin de l'année 2018 dans les locaux du musée. La possibilité de caractérisation précise des ressources fixes qui découlera de cette nouvelle lithothèque revêt un intérêt prégnant en ce qu'il permettra de dessiner des espaces parcourus et, couplé à la technologie lithique, d'identifier des modes de transport des artefacts. Ce nouvel outil apportera des informations sur les formes sociales et les régimes de mobilité des groupes humains régionaux, permettant de matérialiser des processus d'interaction qui mettent parfois en jeu des entités culturelles perçues comme distinctes.

Ce programme est la fois bien positionné sur une démarche novatrice et en interaction forte avec des thématiques portées par plusieurs laboratoires représentant plusieurs disciplines (PACEA, CRP2A, CEPAM, CReAAH). Son originalité est de présenter des qualités dans les domaines de l'expérimentation, de la mise en réseau et la mutualisation des bases de connaissance. Grâce à nos contributions et nos collaborations, la pétroarchéologie bénéficie d'une avancée significative.

3.2 RÉSEAU DE LITHOTHÈQUES EN RÉGION CENTRE-VAL-DE-LOIRE

Le PCR « Réseau de lithothèques en région Centre - Val de Loire » s'inscrit dans une perspective de recherche sur les modes d'exploitation des ressources minérales et sur la territorialité des groupes humains préhistoriques à l'échelle nationale. Dans ce contexte, la caractérisation précise des ressources fixes – et notamment des roches siliceuses – revêt un intérêt particulier en ce qu'elle permet de dessiner des espaces parcourus et, couplée à la technologie lithique, d'identifier des modes de transport des artefacts. Ces réalités renseignent sur les formes sociales et les régimes de mobilité des groupes humains, permettant de matérialiser des processus d'interaction qui mettent parfois en jeu des entités culturelles perçues comme distinctes.

Dans le sillage des découvertes d'ateliers de taille de grandes lames qui suscitèrent, très tôt, un vif intérêt pour les silex de la région, la région Centre-Val de Loire a depuis longtemps servi de moteur à la réflexion sur la diffusion du silex. Malgré la qualité des travaux, le constat d'être parvenu à un palier est largement partagé. Il persiste des difficultés pour établir de véritables corrélations entre l'objet archéologique et le référentiel géologique, rendant impossible toute détermination de la source de certains matériaux représentés dans les séries archéologiques. En réponse à cette problématique le PCR développe trois missions :

- Mission 1 : Inventaire, développement et enrichissement de l'outil lithothèque.
- Mission 2 : Vers une vision renouvelée des types de silex.
- Mission 3 : Diffusion des connaissances.

Concernant l'axe 1, les travaux 2017 se sont évertués à compléter l'inventaire des lithothèques contenant un nombre conséquent de matériaux régionaux, et notamment celle de l'Ar-Geo-Lab de J. Affolter et celle de P. Forré sise à l'Université de Rennes. En lien avec les travaux archéologiques en cours dans le département du Cher, nous avons tâché d'enrichir des référentiels régionaux et plus particulièrement les formations à silex du département du Cher.

Outre un important travail d'homogénéisation des données, commun à tous les PCR « Réseaux de lithothèques » (en Auvergne-Rhône-Alpes et en Nouvelle Aquitaine), pour la proposition de tables de données harmonisées, il s'agissait dans l'axe 2 de mener de front le travail de terrain et de laboratoire, notamment pour les prospections

réalisées dans le nord du Cher, en questionnant les ubiquités de faciès avec les silex marins du Turonien inférieur de la Basse vallée du Cher.

Dans le cadre de l'axe 3, nous avons organisé une école de terrain ouverte aux membres du PCR, afin de présenter et d'enseigner les nouvelles méthodes de caractérisation des silicites en s'appuyant sur les échantillons de silex turoniens de la région d'Amboise. Cette école, qui a réuni 12 participants, s'est déroulée à la base INRAP de Saint-Cyr en Val du 20/09/17 au 22/09/2017. L'axe 3, est également marqué par la participation à colloques touchant aux divers aspects de nos travaux : Table ronde du réseau CAIRN à Nice, Réunion scientifique « cartographie » du laboratoire PACEA, « Journée lithothèque » du laboratoire CreAAH de Rennes, « *Symposium Rockview* » de Bern (Suisse), Journée d'étude du réseau ISA de Pau et 11ème ISKM de Buenos-Aires (Argentine).

Enfin, cette année, nous avons développé un nouvel axe « Travaux collaboratifs : étude de collections archéologiques » ayant trait à notre participation dans les différents programmes d'archéologie, dans les domaines pour lesquels nous sommes compétents et auxquels plusieurs de nos membres participent : Les Bouloises à Parassy (Dir. R. Angevin), La Picardie à Preuilley-sur-Claise (Dir. L. Klaric), et Epineuil le Fleuriel (Prospection inventaire coordonnée par P. Defaix).

4. Conclusions et perspectives

Ce rapport vient conclure un programme triennal (2015-2017) riche en regroupements et résultats. Il s'inscrit dans une volonté de faire progresser la recherche sur les modes d'exploitation des ressources minérales et sur la territorialité des groupes humains préhistoriques. Le PCR réseau de lithothèques en Auvergne Rhône-Alpes est étroitement associé aux autres programmes déjà en place (Nouvelle Aquitaine, Centre Val-de-Loire) et participe à la création de nouveaux programmes plus ou moins aboutis (en Ile de France, PACA et Bretagne). La démarche commune poursuivie au cours de ces trois années est soutenue par les deux instituts du CNRS (InEE et InSHS), plusieurs Universités (Bordeaux, Bordeaux Montaigne, Nice, Rennes1, Savoie Mont-Blanc), la Sous-direction de l'Archéologie, les directions régionales des affaires culturelles (DRAC) concernées, le Centre National de Préhistoire de Périgueux (CNP), plusieurs musées nationaux ou départementaux, la direction scientifique de l'Inrap et la Société Paléotime. L'enquête nationale diffusée à partir de 2016 dans tous les UMR d'archéologie à l'initiative de C. Bressy-Léandri, Paul Fernandes, Didier Binder et Jean-Paul Raynal qui avait pour but d'identifier les personnels impliqués dans la recherche sur les géomatériaux a confirmé l'adhésion d'une très large communauté au renouvellement conceptuel et méthodologique initié par les membres du et des PCR. Cette synergie constitue un des principaux enjeux des études actuelles concernant les sociétés paléolithiques et néolithiques.

Les différents axes présentés *supra*, à la fois patrimoniaux, recherche - développement, et valorisation - diffusion - formation, témoignent du dynamisme d'une équipe soudée, au fil des années. Il s'agit de répondre à une réalité scientifique qui amène à envisager les questions de diffusion des matières premières à l'échelle la plus large possible. Une échelle qui dépasse

les frontières régionales ou même nationales. Les atouts de ce projet fédérateur reposent sur une équipe interdisciplinaire aguerrie et un outil de communication et d'intégration des données idoine. Le PCR offre le cadre pour un travail de fonds, sur des problématiques régionales de caractérisation de matériaux, sur les lithothèques d'un territoire et la manière de les constituer. Il favorise la mise en relation des chercheurs et leur formation. Il a abouti à la réalisation et la diffusion d'une fiche de données de terrain commune. Cette fiche « fiche terrain » doit servir aussi bien sur le terrain que lors de l'inventaire des lithothèques. Elle est un outil pratique qui permet le travail en interopérabilité. C'est cette base de données, qui sert de modèle aux autres PCR Réseau de lithothèques ou en passe de l'être en Île de France (dir. P. Allard) et aux membres du bureau à l'origine du futur projet national (GDR SILEX, dir C. Bressy-Léandri).

En matière de diffusion et de partage des données entre les chercheurs, l'utilisation de la plateforme AGOL par les membres des divers PCR permet de démontrer les possibilités techniques d'une mise en ligne aisée de données provenant soit de la fiche de terrain soit d'une BDD sur la caractérisation des silex comme celle développée sous Access et présentée ci-dessus soit de données géoréférencées comme celles numérisées depuis plusieurs années dans le cadre des PCR en cours. En termes d'amélioration de la qualité et de l'interopérabilité des données, le choix de formats standards et la saisie de métadonnées sont deux axes essentiels, ils constituent un pas important dans le travail qu'il convenait de réaliser pour permettre aux divers acteurs du PCR de se référer à un même document pour la saisie des données. En cette fin de l'année 2017 l'ambition fédératrice reste la composante fondamentale du projet.

En 2018, il a été décidé de privilégier plus particulièrement les axes : 1, 2 et 4 sachant que les travaux émergeant sur les autres axes seront poursuivis.

Axe 1 : en juin 2017 le PCR a pris en charge financièrement le nettoyage, le recollement et le rangement dans des caisses plus appropriées de cette collection importante (759 gîtes recensés). Dans un même casier, sont rangés la totalité des filiations d'un même type génétique. La collection couvre l'ensemble des départements de la nouvelle grande région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est bien entendu déjà consultable par les étudiants ou les chercheurs qui seraient intéressés. Ce travail entrepris par Xavier Deparnay (membre du PCR) doit être finalisé dans le premier trimestre de 2018. Le récolement des lithothèques régionales d'Ornac et de Valence, n'ayant pu être mis à exécution en 2017, doit absolument être engagé. Il est de notre devoir de finaliser cette action au cours de la prochaine triennale si cette dernière nous est accordée. Il en va de même des lithothèques de l'Archéologis à Laussonne, du Musée d'Ornac et du CAPRA à Valence, pour lesquelles nous disposons déjà de données, mais qu'il s'agit maintenant de formaliser.

Axe 2 : nous désirons mettre en place une approche multi-technique et multi-échelle consacrée à l'analyse de l'évolution des propriétés des silex. La mise en corrélation des résultats obtenus permet d'avancer dans la compréhension des mécanismes à l'origine de la variabilité et de l'immuabilité des objets archéologiques en silex. On a ainsi commencé à constituer un procédé de quantification de la transformation de la structure et de la composition initiale.

Axe 4 : les perspectives à venir concernant les travaux menés sur le matériel archéologique s'annoncent riches d'enseignements pour le Paléolithique et le Néolithique.

Dans le cadre de la publication de la monographie de la fouille de Saint-Paul-Trois-Châteaux « les Moulin, » (Drôme), nous avons en association avec A. Beeching et V. Léa entamé une étude pétroarchéologique sur une sélection de 250 objets représentant la variabilité de la série issue des différentes années de fouilles. Lors de cette phase préliminaire, nous avons pu constituer des grands groupes de matériaux ainsi que, pour plusieurs types de silex, de nombreux sous-groupes (faciès) dont il faudra tester la pertinence en 2018. En parallèle à cette étude il est prévu de faire la diagnose d'un certain nombre d'objets caractéristique des comportements dans les sites chasséens de Daurelle et Pélican. De belles problématiques en perspectives qui permettront de faire des liens entre a) gîtes de matériaux

vauclusiens / drômois, b) ateliers-producteurs et c) sites consommateurs ou producteurs-consommateurs.

Dans le cadre de la thèse en Préhistoire d'Erwan Vaissé (membre du PCR) inscrit à PACEA Université de Bordeaux en 2017, nous allons participer à la diagnose de plusieurs séries lithiques moustériennes du et autour du Massif central dont : Baume-Vallée en Haute-Loire, et Champ Grand dans la Loire. Ce projet d'encadrement par plusieurs membres du PCR va permettre d'aborder au mieux la question des occupations humaines de la fin du Paléolithique moyen dans le Massif central et ses marges. L'intégration d'une analyse pétroarchéologique poussée de ces deux gisements dans le PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne Rhône-Alpes » permettra à l'étudiant d'avoir accès à un corpus de données actualisées et donnera lieu à une meilleure contextualisation des sites dans leur cadre régional.

Pour l'axe 5, nous devront engager les travaux d'harmonisation de la table attributive du SIG et grâce aux protocoles de numérisation déjà existants (voir *supra*) chaque membre du PCR qui le souhaite pourra digitaliser une partie des formations à silex de l'espace régional, les centraliser puis les mettre en réseau sur le web par le biais de la plate-forme de partage (cf. AGOL). Les polygones dessinés, qui esquissent le contour des formations à silex et fait l'objet d'une couche dans le SIG, sont augmentés des données de terrain et des fiches de caractérisation. À ce titre, il faudra poursuivre le travail engagé afin de terminer les diagnoses pétrographiques des échantillons encore indéterminés au sein des lithothèques régionales.

Les données acquises entre 2015 et 2017 ouvrent de nouvelles perspectives interdisciplinaires de recherche dans le domaine de l'origine des matériaux, des comportements techno-économiques et de l'intégrité des sites. Tous ces efforts mettent l'accent sur la nécessité de maintenir cette synergie dans les années à venir.

5. Publications

Plusieurs travaux en lien avec le PCR ont fait, font ou feront l'objet de publication. Les articles surlignés en gras sont présentés à la suite de cette liste.

CARMIGNANI L., MONCEL M.-H., FERNANDES P., WILSON L. (2017) – « Technological variability during the Early Middle Palaeolithic in Western Europe. Reduction systems and predetermined products at the Bau de l'Aubesier and Payre (South-East France) ». *Plos One*, **12(6)**, 2017, 49 p. : e0178550. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550>.

DELVIGNE, V., FERNANDES, P., BINDON, P., BRACCO, J.-P., KLARIC, L., LAFARGE, A., LANGLAIS, M., PIBOULE, M., RAYNAL J.-P. (soumis). Geo-resources and techno-cultural expressions in the south of the French Massif Central during the Upper Palaeolithic: determinism and choices. *In*: H. Collet, A. Hauzeur et F. Bostyn (Dir.) Reports of the 7th international conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric times. Mons and Spienne (Belgique), september 2016. Namur : SPW (Ed.) (Etudes & Documents Archéologie).

FERNANDES P., TALLET P. (sous presse) - Étude pétroarchéologique d'une série de silex du site des baigneurs, à Charavines (Isère, France). *In* : *l'Homme dans les Alpes, de la pierre au métal*. Actes table ronde Villard-de-Lans (13 au 16 octobre 2016). Chambéry : EDITEM (Ed.)

FERNANDES, P., DELVIGNE, V., DUBERNET, S., LE BOURDONNEC, F.- X., MORALA, A., MOREAU, L., PIBOULE, M., TURQ, A., RAYNAL, J.-P. (soumis). Flint studies revisited: the "chaîne évolutive" concept. *In*: H. Collet, A. Hauzeur et F. Bostyn (Dir.) Reports of the 7th international conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric times. Mons and Spienne

(Belgique), september 2016. Namur : SPW (Ed.) (Etudes & Documents Archéologie)

MONCEL M.-H., GEMA CHACON NAVARRO M., La PORTA A., FERNANDES P., HARDY B., GALLOTI R. (soumis) – « Middle Palaeolithic technical behavior in a rock shelter in southeastern France : the Abri du Maras. », *JAS*.

MONNEY J., BOCCACCIO G., FERNANDES P. (à paraître) « le bloc à cupule en silex de la Grotte aux Points d'Aiguèze : analyse descriptive et mise en contexte d'un objet singulier. *Karstologia*.

PASQUINI A., MONIN G., FERNANDES P. (à paraître) – « Integrated functional studies of Badegoulian lithic industry. Preliminary results of Le Péhau (Coimères, France) », Proceedings of the International conference on use-wear analysis, Faro, Portugal, 10-12 octobre 2012.

PIBOULE M., DELVIGNE V., FERNANDES P., LAFARGE A., RAYNAL J.-P. (sous presse) – « Principales matières premières lithiques disponibles entre Bassin Parisien et l'Auvergne : partie 1 – Allier, Cher et Indre. Grande variété des matériaux et leurs transits au Paléolithique moyen », *In* : O. Troubat (Dir.) *Préhistoire de la France centrale. Actualité de la recherche. Actes du colloque interrégional de Montluçon (19 Novembre 2016, Montluçon). Cercle d'archéologie de Montluçon et de la région (Ed.) : Montluçon, pp. 9-25. (Etudes archéologiques 18)*.

TOMASSO A., BINDER D., FERNANDES P., MILOT J., LEA V. (2017) – The Urgonian chert from Provence (France): the intra-formation variability and its exploitation in petro-archaeological investigations. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1-17.

TUFFERY C., TALEC D., CAVERNE J.-B., TALLET P., PINÇON G., KONIK S., PLATEL J.-P., TURQ A., MORALA A., FERNANDES P., (2017) - « Vrais trous et fausses erreurs : le contrôle de la numérisation de contours des formations à silex en Dordogne à l'aide d'un SIG. © 2017 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience.fr / disponible à : <https://www.openscience.fr/Vrais-trous-et-fausses-erreurs-le-contrôle-de-la-numérisation-de-contours-des>

TUFFERY C., TALLET P., DAVTIAN G., BRESSY-LEANDRI C., AFFOLTER J., BAZILE F., BRACCO J.-P., CAVERNE J.-B., DELVIGNE V., DESSAINT P., FOUCHER P., GAILLOT S., LIAGRE J., MILLET F., MILLET D., MORALA A., PIBOULE M., PICAVET R., SCHMIDT P., TOMASSO A., TURQ A., RAYNAL J.-P., BINDER D., FERNANDES P. (sous presse) – Towards a new methodology of studying flints, by using GIS and a georeferenced database in the South of France. *In : Computer Applications and Quantitative methods in Archaeology*, Rotterdam.

VAISSIE E., DELVIGNE V., FAIVRE J.-P., FERNANDES P., TURQ A., RAYNAL J.-P. (2017) – « Techno-économie et signification culturelle de l'occupation moustérienne supérieure de Baume-Vallée (Haute-Loire) ». *Comptes Rendus Palevol*,16, 804-819.

WRAGG SYKES, R.W., DELVIGNE, V., FERNANDES, P., PIBOULE, M., LAFARGE, A., DEFIVE, E., SANTAGATA, C., RAYNAL, J.-P. (2017). "Undatable, unattractive, redundant"? The Rapavi silcrete source, Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire, France): Challenges studying a prehistoric quarry-workshop in the Massif Central mountains. *Journal of Archaeological science : reports*, 15, 587-610.

RESEARCH ARTICLE

Technological variability during the Early Middle Palaeolithic in Western Europe. Reduction systems and predetermined products at the Bau de l'Aubesier and Payre (South-East France)

Leonardo Carmignani^{1,2,3,4*}, Marie-Hélène Moncel⁵, Paul Fernandes⁶, Lucy Wilson⁷

1 IDQP Phd candidate, IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, Tarragona, Spain, **2** Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Tarragona, Spain, **3** Dipartimento di Studi Umanistici, Università degli Studi di Ferrara, Ferrara, Italy, **4** External Member of UMR 7041 ArScAn, Anthropologie des Techniques, des Espaces et des Territoires au Pliocène et Pléistocène (AnTET), Maison de l'Archéologie et de l'Ethnologie, Nanterre, France, **5** UMR7194 – HNHP Department of Prehistory (CNRS – MNHN – UPVD – Sorbonne Universités), Paris, France, **6** Paleotime, Villars-de Lens, France, **7** Department of Biological Sciences, University of New Brunswick in Saint John, Saint John, New Brunswick, Canada

* leonardo.carmignani76@gmail.com


 OPEN ACCESS

Citation: Carmignani L, Moncel M-H, Fernandes P, Wilson L (2017) Technological variability during the Early Middle Palaeolithic in Western Europe. Reduction systems and predetermined products at the Bau de l'Aubesier and Payre (South-East France). *PLoS ONE* 12(6): e0178550. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550>

Editor: Michael D. Petraglia, Max Planck Institute for the Science of Human History, GERMANY

Received: February 6, 2017

Accepted: May 15, 2017

Published: June 7, 2017

Copyright: © 2017 Carmignani et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files. Collections of Payre are available at the Department of Prehistory, National Museum of natural History, Institut de Paléontologie Humaine, 1 René René Panhard, 75013, Paris. Collections of Bau de l'Aubesier are available at Vaison la Romaine, storage building of the Ministry of Culture, France. The total of specimens at Paye is 8275 and at Bau de l'Aubesier 3249.

Abstract

The study of the lithic assemblages of two French sites, the Bau de l'Aubesier and Payre, contributes new knowledge of the earliest Neanderthal techno-cultural variability. In this paper we present the results of a detailed technological analysis of Early Middle Palaeolithic lithic assemblages of MIS 8 and 7 age from the two sites, which are located on opposite sides of the Rhône Valley in the south-east of France. The MIS 9–7 period is considered in Europe to be a time of new behaviours, especially concerning lithic strategies. The shift from the Lower Palaeolithic to the Early Middle Palaeolithic is “classically” defined by an increase in the number of core technologies, including standardized ones, which are stabilized in the full Middle Palaeolithic (MIS 5–3), associated with the decline of the “Acheulean” biface. Applying a common technological approach to the analysis of the two assemblages highlights their technological variability with respect to reduction systems and end products. Differences between Payre and the Bau de l'Aubesier concerning raw material procurement and faunal exploitation only partially explain this multifaceted technological variability, which in our opinion also reflects the existence of distinct technological strategies within the same restricted geographic area, which are related to distinct traditions, site uses, and/or as yet unknown parameters.

Funding: This work was done with support of the IDQP (International Doctorate in Quaternary and Prehistory). The fieldwork at Payre and at the Bau de l'Aubesier have been financially supported by the French Ministry of Culture, Service Régional de l'Archéologie, Rhône Alpes and Provence- Alpes- Côte d'Azur, and by the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada. The analyses of raw materials have been supported by a "Projet collectif de Recherche" financially supported by the French Ministry of Culture.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

Introduction

The MIS 9 to 7 time-span in Europe, roughly 350,000 to 200,000 B.P., is considered to have recorded a behavioural change commonly described as the shift from the Lower to the Middle Palaeolithic or again as the threshold from Mode 2, including bifaces, to Mode 3, linked to the development of different core technologies [1]. From a general point of view the continuity in biface production and the increase in predetermined flaking systems, even if not generalizable, are recurrent features which are valid during all this period on a continental scale. Attribution of an assemblage to the Upper Acheulean (UA) or to the early Middle Palaeolithic (EMP) is often based on the proportion of bifaces and/or pebble tools alongside flake standardized production. This distinction does not take into consideration the mosaic of changes found over time between MIS 9 and 6 at various sites. In fact, it is difficult to find a clear chronological and behavioural boundary between the Lower and Middle Palaeolithic which could be used to name the assemblages of this age.

Over this large chronological timespan, we find not only new technological features, but also other changes regarding subsistence strategies, such as the wooden throwing spears discovered at Schöningen, Germany [2] and recently re-dated to the MIS 9, that provide evidence of specialized hunting [3].

The iconic example of the development of more complex flaking technology is the rise of the Levallois concept, which is based on preparation of the core volume (convexities, striking platform) in order to obtain blanks of a predetermined shape by means of a parallel exploitation of the flaking surface [4]. Early evidence of Levallois technology is most commonly documented in Western Europe at the end of MIS 9 [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19], although the emergence of this concept is recognized, sporadically, in a few earlier sites: in France at Cagny la Garenne and Cagny Cemetery dated to MIS 12–11 [20, 21, 22, 23, 24], in the Iberian Peninsula at Grand Dolina TD10 and Ambrona dated to MIS 10–9 [25, 26, 27, 28, 29] and more recently in the Italian peninsula at Guado San Nicola dated to the end of MIS 11-beginning of MIS 10 [30].

Another element of variability in reduction strategies that partially overlaps the rise of the Levallois concept during the EMP is the development of blade production in northern Europe, either by volumetric systems or by *débitage* of a surface [31, 32]. Early evidence of laminar production dates back to MIS 7 and the end of MIS 8 in the north of Europe, for instance at the sites of Saint-Valéry-sur-Somme [33], Bapaume-les Osiers [34] and Therdonne [35] in France, and Rissori [36, 37] in Belgium. Unlike bifacial and Levallois production, which can be considered as a more global phenomenon, blade production was restricted to northern Europe for a long time. However by MIS 5 blade production covered a larger area, including northeast Germany in the site of Tönchesberg [38], and Wallertheim [39], and in central and southern France, the sites of Angé [40], Vinneuf [41], Baume Flandin [42, 43, 44], Cantalouette [45] and Baume Bonne [46, 47] (Fig 1). In all of these sites blades rarely assumed a dominant role but co-existed with a variety of reduction systems (Levallois, Discoid, etc.) as well as with shaping systems, such as at the sites of Bapaume-les Osiers [34] and Vinneuf [41].

In parallel with these new trends in core technologies, bifaces persisted throughout the EMP and into the late Middle Palaeolithic [48]. In south-western France, the MTA industries record shaping processes as part of the Neanderthal techno-cultural equipment during the late Middle Palaeolithic (MIS 4–3), although their features are not comparable to the Acheulean bifaces [49, 50, 51, 52].

Even from this brief overview it is clear that it is extremely difficult to define a unique trend in lithic technological development that can be valid at a large scale of analysis. Depending on the geographic scale of analysis and the choice of parameters used to describe the lithic



Fig 1. Location of the Bau de l'Aubesier and Payre and of the main sites cited in this paper.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g001>

industries, different scenarios can be created. The problems connected to the choice of the scale of analysis for the comprehension of material culture in prehistory have been underlined by several authors [see for example [53, 54]]. Using as a primary technological parameter the distinction between shaping and flaking processes in assemblages during the EMP, we recognize two variants: (1) industries only due to flaking technologies, and (2) industries where biface and flaking reduction systems co-exist in various proportions. At the European continental scale these two categories are ubiquitous and are not linked to a specific geographic area. On the other hand, if we reduce our scale of analysis by taking into account more of the details of the reduction systems, it is possible to distinguish macro-areas, such as in the case of northern European blade production.

Over the last few years, new approaches in lithic studies, better-defined chronologies and the discovery of new sites have helped us with the recognition of specific technological features. Recently some authors have proposed tracing the onset of some regional differentiation in the technological behavioural changes starting from the Lower Palaeolithic [55, 56, 57]. This

complex scenario has generated widespread debate about the definition of the chronological limits between the Lower and the Middle Palaeolithic as well as on the definition of the relevant archaeological data to be considered as the marker of these behavioural changes [58, 12, 13, 59, 60, 61, 62]. If the evidence of technological variability during the Middle Palaeolithic is now commonly accepted, the causes of this variability are still in contention. This question, which originated in the transatlantic debate between Binford [63, 64] and Bordes [65, 66], has continued and is still one of the central topics in the understanding of material culture. Different explanations of the possible causes of technological variability have been proposed in the last decades: climatic change, raw material economy, subsistence strategy, demography, or mobility patterns. To reduce the impact of external factors, the analysis of technological features needs to be tested in a small geographic area with a common environmental context. Furthermore, to identify the particular technological features used by the human groups, we have to go further than a macro-technological subdivision (i.e., Levallois: Non-Levallois; Biface: Non-Biface) especially if applied on a large geographical scale.

For all these reasons, the main aim of this paper is to discuss the technological changes that affect the EMP through a detailed technological analysis applied on a small regional scale. The assemblages of the Bau de l'Aubesier and Payre, located in south-eastern France on opposite sides of the Rhône corridor, are considered through a detailed comparative technological analysis. The choice of these two sites is motivated by geographical and chronological parameters: (1) the two sites yielded layers dated to the MIS 8 and MIS 7, a crucial period of time for understanding the technological changes to the EMP in Western Europe; (2) they are located within the same region and in similar environments. A basic question guides our analysis: Does technological variability on a regional scale exist in the EMP and if so, is it due to external factors and constraints, or is it evidence of diversification of the techno-cultural traditions of human groups as early as the EMP?

Materials and methods

The sites of Payre and the Bau de l'Aubesier

Payre. Located in the Rhône Valley (south-eastern France) (Fig 1), Payre is a small cave above the confluence of the Rhône and Payre Rivers at the intersection of various biotopes [67, 68, 69, 70]. The 5m thick stratigraphic sequence yielded 8 occupation layers in 4 phases (units). The basal units G and F that we investigate here are dated by several radiometric methods (ESR, TL, U-Th, TIMS) to MIS 8–7, roughly 250,000 to 200,000 years before present [71, 72]. The biochronology places the bottom of the sequence (units G and F) in a temperate event (beginning of MIS 7). A chronological boundary is visible between the top of unit F and level D, dated to the end of MIS 6. The units are sub-divided into several levels including levels Ga, Gb and levels Fa, Fb, Fc, Fd. Unit G is composed of 6 lenses or sedimentological sub-layers. Level Ga is a dense concentration of artefacts related to lenses G4 and G5, 50 to 65 cm thick and composed of many small blocks. Unit F is composed of 7 lenses or sedimentological sub-layers. Level Fb is strictly related to the grey lens F3, 15–20 cm thick and free of limestone blocks. Unit G was excavated over 50 m² and unit F over 20 m².

Human occupations were identified on the basis of the vertical and horizontal distributions of pieces. The density of pieces at different levels indicates distinct phases of occupation, the remains of palimpsests close in time, as is commonly observed in cave sites. Some horizontal lithic refittings attest to only a slight displacement of material, confirmed by refittings of faunal remains and anatomical connections found *in situ*. Moreover, the thin edges of the artefacts are still relatively fresh, which indicates that post-depositional processes in each unit have been minor. The lithic material found in units G and F is attributed to the Early Middle Palaeolithic,

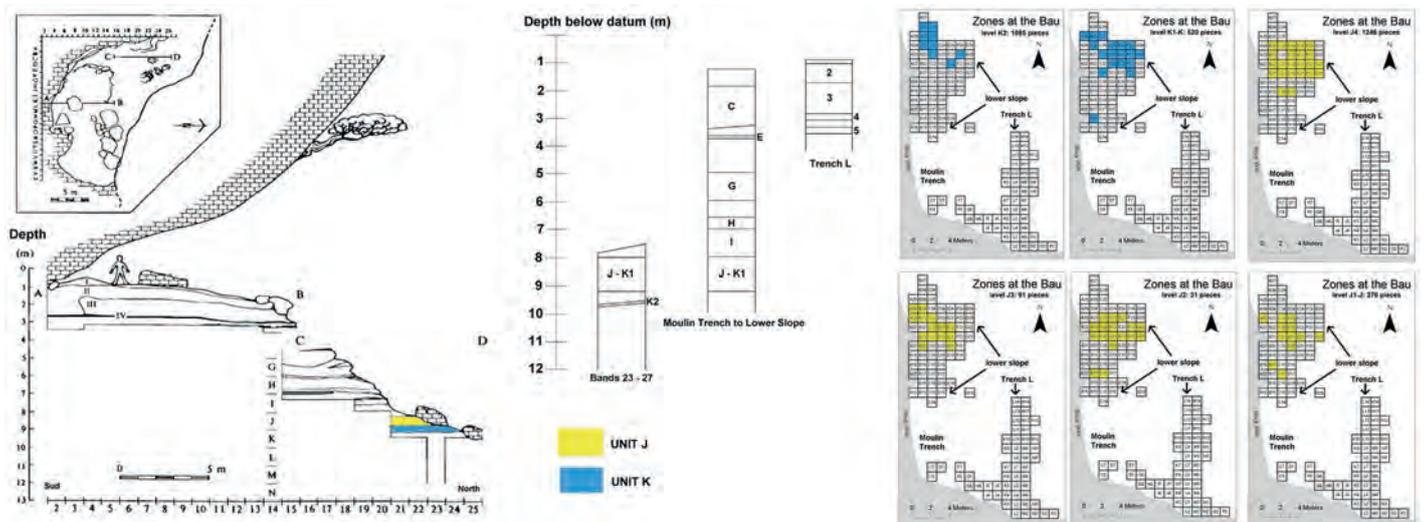


Fig 2. Simplified stratigraphy of the Bau de l'Aubesier. Drawings on the left after Lebel (2000a, p.22). On the left and in the center: simplified stratigraphy. In colour (yellow and blue), Units J and K. On the right the plan distribution of the lithic collection for each sub-unit considered in this study.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g002>

with a standardized discoidal and orthogonal core technology on flint and mainly scrapers and points [57]. Some heavy-duty tools, as well as crudely-made bifaces and pebble tools, were made *in situ* or outside the site on local quartzite, limestone and basalt [57]. New evidence of use wear analysis on quartzite has been recently published [73].

The Bau de l'Aubesier. The Bau de l'Aubesier is a large rock shelter located in the gorges of the Nesque River, Vaucluse (south-eastern France) (Fig 1). The site, known since the beginning of the 20th century [74, 75], was extensively excavated from 1987 to 2000 by an international team led by Serge Lebel, then of the Université du Québec à Montréal, Canada [76, 77]. The deposits in the site are complex, both laterally and vertically, and include more than 60 different sedimentological layers and lenses over a total thickness of more than 13 metres. The deposits also include at least a dozen archaeological levels, divided into more than 30 sub-layers, according to sedimentological, archaeological, or arbitrary depth criteria (Fig 2). The archaeological levels have been identified based on the density of archaeological pieces within the geological layers, and their vertical distribution, indicating distinct phases of occupation throughout the sequence. Only a few lithic refittings could be made, which may be due to pieces having been carried out of the site. The material, depending on the level, can be highly patinated but is otherwise relatively fresh, without indication of strong crushing or displacement between levels. Based on radiometric, faunal and stratigraphic results, it appears that the entirety of the deposits dates to between roughly 100,000 (or less) and 250,000 years ago [78, 79, 80]. The lower part of the site has been attributed to the later Middle Pleistocene, and the upper part to the Late Pleistocene [81, 82]. The two levels discussed here, J and K, are the lowermost ones. No direct radiometric dates are available for these levels, but based on their position in the stratigraphy, the dating of the layers above them, and their faunal content (discussed below), they can be attributed to MIS 7.

This present study concerns the lowest archaeological layers, J and K, which were divided during the excavation into J, J1, J2, J3 and J4, and K, K1 and K2 respectively. The lowest level, K2, is a layer of fine sediments with some larger rocks, probably reflecting accumulation during a temperate and relatively warm phase during MIS 7. This was followed by cooler phases during which more cryoclastic debris fell from the roof and walls of the rock shelter. During

this time period, archaeological layers K1 through J also accumulated. These were later washed, reworked and eroded, forming a shallow basin or gully which later layers filled in and covered over. The total thickness of this phase of the deposits amounts to approximately 120 cm. There are very few traces of fire: only about 3% of remains in layer J and 5% of remains in layer K show any trace of having been burned, and there are no hearths or concentrations of burned material. The densest archaeological accumulations are in layers J4 and K2 (Fig 2). One hominin tooth (an incisor) was found in layer J and has been described as pre-Neanderthal, archaic Homo [81]. All together, layers J and K provided both lithic (almost entirely flint) and faunal remains attesting to significant use of the site by early Middle Palaeolithic hominins.

Methods

The comparison between the lithic collections uses both qualitative and quantitative parameters, describing the entire assemblages through an extensive technological analysis. A preliminary sorting procedure has been done dividing the lithic collection into two broad categories: undetermined and determined pieces. We classified as determined pieces all the removals that can be linked to specific reduction strategies (e.g. Levallois, Discoid) or methods (e.g. unidirectional, centripetal). Deeply patinated pieces or pieces with disorganized scars which did not allow us to attribute them to a specific reduction strategy or method were classified as undetermined pieces.

The qualitative analysis follows the general principles of the *chaîne opératoire*, based on the identification of the distinct phases of the process [83, 84, 85, 86, 87]. Reconstitution of the *chaîne opératoire* is based on the identification of the percussion technique, methods and concepts that underlie the reduction processes [88, 89]. The percussion techniques were identified according to the criteria derived from experimental studies by Pelegrin [90, 91]. Diacritical analysis was applied to cores and blanks in order to identify the chronological order of the scars distinguishing the preparation phases from the main production phases [92, 93]. Due to the scarcity of refitting in the collections, the reduction sequences are described using the mental refitting method proposed by Pelegrin [94]. The mental refitting method involves a comparison between the technological features of the cores (removals, striking platforms) and blanks (organization of the scars), which allows us to identify the phases and purposes of the *débitage*.

The small number of cores in the assemblages did not allow us to quantify them in terms of ratio. A synthetic quantification of the technological systems through the sequence has been done by creating four groups based on the number of cores present in each layer: absent (0), rare (1–2), present (3–5), and abundant (>5).

Identification of the Levallois concept follows the guidelines set out by Boëda [95, 4]. In terms of Discoid production, we used the definition of Boëda [95, 96], and also took into account broader criteria [97, 98].

Definition and characterization of the production techniques was preceded by a personal analytical approach which takes into account five technical parameters: the volumetric concept used, the striking platform organisation, the direction and the organization of the removals and the angle between the *débitage* surface and the striking platform. The combination of these parameters allows us to preliminarily describe and identify the characteristics of the technological systems (Fig 3). Supporting information for the terminology used in this work is provided in S1 File.

The Payre collections total 8275 pieces and the Bau de l'Aubesier total 3249 pieces. The collections of Payre are available at the department of Prehistory, National Museum of Natural

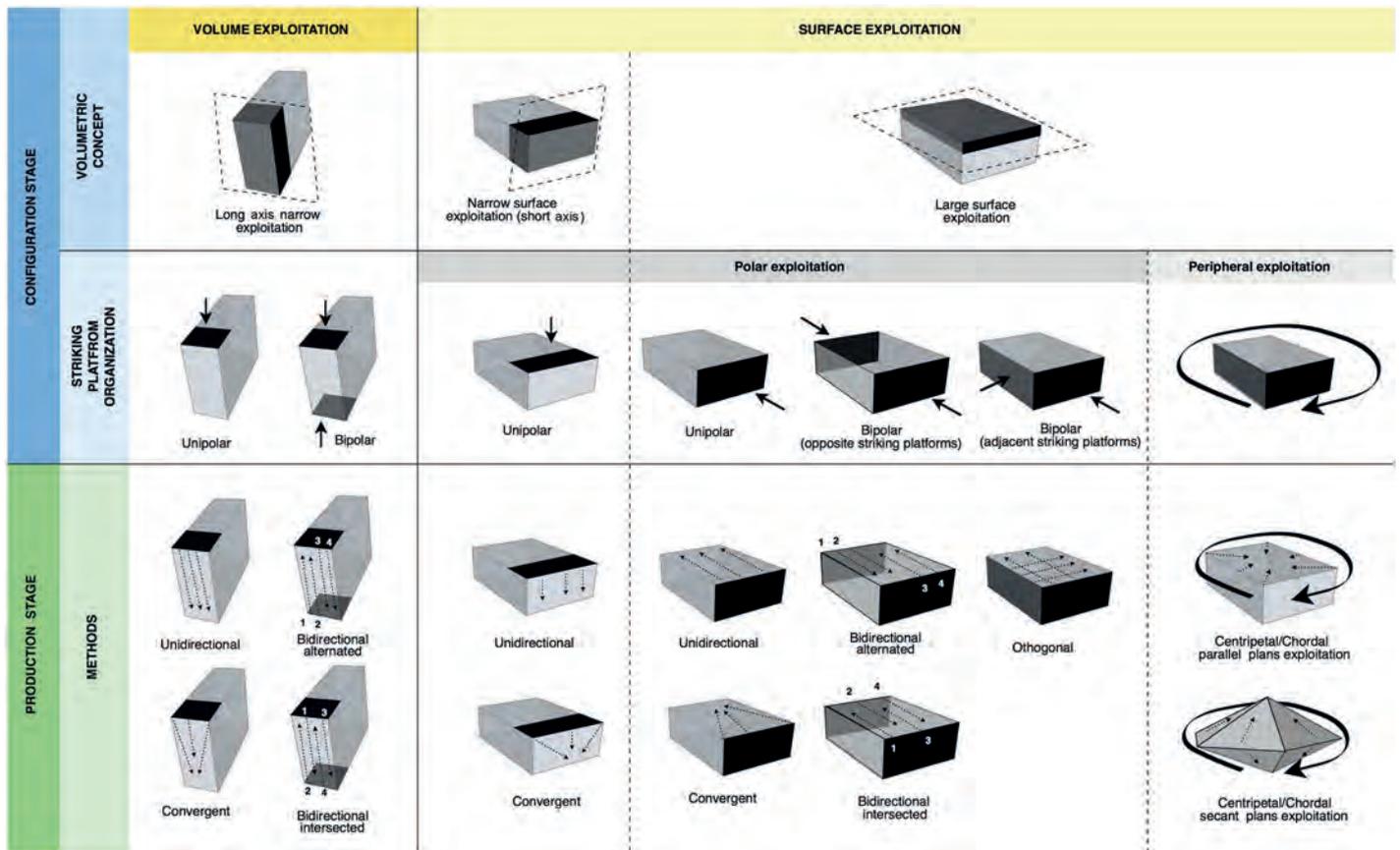


Fig 3. Schematic model of the reduction systems and the terminology used in this paper.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g003>

History, Institut de Paléontologie Humaine, 1 rue René Panhard, 75013 Paris, France. The collections of Bau de l'Aubesier are stored and available in a building of the French Ministry of Culture at Vaison la Romaine, France.

The field permits (1990–2002) for Payre were given to M-H. Moncel by the Ministry of Culture, Service Régional de l'Archeologie. The permit (2015–2016) to analyse the lithic collections of Bau de l'Aubesier was given to L. Carmignani and L. Wilson by the Ministry of Culture, Service Régional de l'Archeologie.

Composition of the lithic material assemblages

Payre. Units G and F yielded 8275 pieces including flakes, cores, pebbles and debris. The main density of pieces is in the sublevels Ga and Fa (Table 1). Small debris (<20mm) are in general abundant and attest to an intense flaking activity *in situ*. Undetermined flakes are also a significant part of the collection (Table 1), due to the huge flaking activity, which produced many broken flakes and debris. The proportion of undetermined flakes larger than 20 mm ranges from 23% in sub-level Fc to 57.9% for sub-level Gb. Determined flake proportions range from 20.4% in sub-level Gb to 2.4% in sub-level Fb. Cores are present in all of the sub levels, ranging from 3.1% of the assemblage in sub-level Gb to 0.2% in sub-level Fb. The few handaxes are crudely made, on large flakes of quartzite or flint flaked outside of the site, or on small flint nodules. The Chi² value of 27,587 with a df (degree of freedom) = 16, indicates a

Table 1. Payre. Composition of the lithic assemblages of units G and F.

Assemblage composition	Gb		Ga		Fd		Fc		Fb		Fa		Total n
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Undetermined Flakes<20mm	122	20.1	1253	38,2	284	51.7	330	62.7	577	71.4	1477	59.0	4043
Undetermined Flakes>20mm	352	57.9	1176	35,8	142	25.9	121	23.0	203	25.1	667	26.7	2661
Determined flakes	89	14.6	669	20,4	98	17.9	44	8.4	19	2.4	229	9.2	1148
Cores	19	3.1	47	1.4	17	3.1	9	1.7	2	0.2	44	1.8	138
Entire Pebbles	16	2.6	88	2.7	5	0.9	11	2.1	6	0.7	63	2.5	189
Broken Pebbles	8	1.3	49	1.5	3	0.5	11	2.1	1	0.1	21	0.8	93
Handaxes	2	0.3	-	0	-	0	-	0	-	0	1	0.04	3
Total	608	100	3282	100	549	100	526	100	808	100	2502	100	8275

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t001>

significant difference in term of composition of the assemblages between the levels (alpha 0,001, 39,252).

Raw materials for flaking are largely dominated by a good quality flint (between 84% and 92%), with quartz or basalt secondary (Table 2). A small quantity of quartzite and limestone was used as well. The raw materials were collected in the form of cobbles, small nodules and flakes.

Bau de l'Aubesier. Units K and J yielded 3249 lithic pieces, including cores, flakes and debris. Lithic pieces were mostly concentrated in the sub-levels K2 and J4. Debris <20 cm (undetermined flakes and fragments) are the main part of the collection, residues of an intense flaking activity *in situ*. Some are deeply patinated and thus impossible to determine. Determined flakes are more abundant than at Payre with a frequency ranging from 30.1% in the sub level J-J1 to 7.7% in K2 (Table 3). Cores are rare, between 0.8% in sub-level K-K1 and 4.4% in sub-level J3. A high ratio of cores (16.1%) characterizes the sub-level J2, but this has a total assemblage of only 31 lithic items (Table 3). The Chi2 value of 180,722, with a df = 12, indicates a significant difference in term of composition of the assemblages between the levels (alpha 0,001, 32,909).

Flint was used almost exclusively in these levels: the only non-flint piece is a quartzite flake fragment from level J4. A large proportion of these pieces is heavily patinated, and can be identified only as flint. Combined with a very small proportion of flint types of unknown provenance, this means that all together 43.2% of the pieces in levels J-J4 are flint from unknown/unidentifiable sources, as are 51.7% of the pieces from levels K-K2. The sources of the remaining pieces have been identified, and (as will be discussed more fully below) are located within 15 km of the site, along an axis extending towards both the south-west and the north-east.

Results

Reduction sequences and the aims of production at Payre

Knapping processes dominate in Units G and F. Shaping processes provide rare bifaces and pebble tools (Table 4). Different schemes of *débitage*, aimed at producing different types of end-products, have been recognized based on the analysis of the cores and determined blanks (Tables 4 and 5).

The core technologies are predominantly based on the exploitation of the large surfaces of the volume of the support. Depending on the organization and location of the striking platforms, the flaking follows either a peripheral or a polar management scheme. Marginal volumetric exploitation was used to produce bladelets (Table 4). Centripetal flakes are the most numerous recurrent products in the layers, varying from 46.2% in sub-level Fb to 21.2% in

Table 2. Payre. Raw material distribution in units G and F. Flake numbers in brackets represent retouched pieces.

		Flakes<20mm	Flakes>20mm	Cores	Pebbles Entire (Broken)	Handaxe	Total (n.)	Total (%)
Fa	Flint	1375	693(269)	40	-	-	2108	84.3
	Basalt	7	25	-	72(7)	-	104	4.2
	Quartz	91	121(10)	1	1	-	214	8.6
	Limestone	4	31	2	5(1)	-	42	1.7
	Quartzite	-	26(6)	1	6(6)	1	34	1.4
	Total	1477	896	44	84	1	2502	100
Fb	Flint	549	176(58)	2	-	-	727	90.0
	Basalt	8	17	-	7(1)	-	32	4.0
	Quartz	17	23(1)	-	-	-	40	5.0
	Limestone	-	2	-	-	-	2	0.2
	Quartzite	3	4	-	-	-	7	0.9
	Total	577	222	2	7	-	808	100
Fc	Flint	298	117(50)	9	-	-	424	80.6
	Basalt	6	15	-	18(2)	-	39	7.4
	Quartz	26	28(1)	-	1	-	55	10.5
	Limestone	-	4	-	2(1)	-	6	1.1
	Quartzite	-	1	-	1	-	2	0.4
	Total	330	165	9	22	-	526	100
Fd	Flint	271(1)	213(44)	17	-	-	501	91.3
	Basalt	3	9	-	8(2)	-	20	3.6
	Quartz	10	16	-	-	-	26	4.7
	Limestone	-	-	-	-	-	-	0
	Quartzite	-	2(1)	-	-	-	2	0.4
	Total	284	240	17	8	-	549	100
Ga	Flint	1253(4)	1482(515)	41	2	-	2778	84.6
	Basalt	-	173(3)	-	125(38)	-	301	9.2
	Quartz	-	132(21)	6	2	-	140	4.3
	Limestone	-	11(2)	-	4	-	15	0.5
	Quartzite	-	44(15)	-	4(3)	-	48	1.5
	Total	1253	1845	47	137	-	3282	100
Gb	Flint	120	422(83)	19	-	2	563	92.6
	Basalt	-	2	-	23(7)	-	25	4.1
	Quartz	-	13	-	-	-	13	2.1
	Limestone	-	1	-	1	-	2	0.3
	Quartzite	2	3	-	-	-	5	0.8
	Total	122	441	19	24	2	608	100.0

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t002>

sub-level Fc (Table 5). The second most common category is unipolar flakes. Minor percentages are represented by bipolar, orthogonal, convergent and Kombewa flakes (Table 5).

Peripheral exploitation. The technological parameters of the flakes fit well with the analyses of the cores. Peripheral exploitation of the core is the main flaking process used at Payre, with an overall proportion of 48.6% (Table 4). This group includes cores with management of the periphery of the volume by either centripetal and/or chordal removals. Based on the detachment angle of the removals, two different cases have been identified: a peripheral secant planes exploitation system and a peripheral parallel planes exploitation system (Fig 4).

In the secant planes exploitation systems the *débitage* starts without preparation, by a series of secant removals on the two opposite surfaces. The direction of the removal is alternatively

Table 3. Bau de l'Aubesier. Composition of the lithic assemblages from the lowest part of the sequence.

Assemblage composition	K2		K-K1		J4		J3		J2		J-J1		Total
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
Undetermined fragment<20	670	61.8	283	54.4	700	56.2	28	30.8	3	9.7	103	37.3	1787
Undetermined fragment>20	65	6.0	72	13.8	191	15.3	25	27.5	4	12.9	55	19.9	412
Undetermined flakes<20	180	16.6	42	8.1	97	7.8	1	1.1	5	16.1	19	6.9	344
Undetermined flakes>20	42	3.9	23	4.4	51	4.1	3	3.3	6	19.4	10	3.6	135
Determined flakes	84	7.7	107	20.6	185	14.8	30	33.0	8	25.8	83	30.1	514
Cores	13	1.2	4	0.8	22	1.8	4	4.4	5	16.1	8	2.9	57
Total	1085	100	520	100	1246	100	91	100	31	100	276	100	3249

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t003>

centripetal and chordal. Centripetal removals are struck on the center of the flaking surface, producing centripetal flakes with a peripheral cutting edge. Chordal removals give “debor-dant” flakes, including parts of the core’s edge. Each removal participates in maintaining the convexity and creates a new striking platform for the following removals. In relation to the mode of exploitation, two sub-types have been identified. In the first one, the removals are around the core’s entire periphery (Fig 5, n. 3, 4). This system can be fully ascribed to the clas-sical Discoid systems. In the second type, the removals are limited to one side of the core periphery, leaving the other part of the volume unexploited (Fig 5, n. 1, 2). These two variants are present in both units G and F but in different amounts. Cores with a complete peripheral exploitation (Discoid) increase in abundance in unit F and especially in sub-level Fa (Table 4). Conversely, partial secant exploitation is more frequent in unit G (Table 4).

The sub-levels Ga and Gb differ from unit F by having produced 8 cores with a triangular cross-section, here called “Trifacial cores” (Fig 6). The flaking starts with a first series of secant removals without preparation. The second and the third series of removals repeat the same sequence on the two adjacent surfaces using the scars of the first series of removals as a striking platform. The sequence is repeated until the exhaustion of the core.

Twenty-two cores show a different exploitation. Centripetal and chordal removals are struck from the platforms around the core’s entire periphery but the flaking surface is

Table 4. Payre. Numbers of the core types throughout the sequence.

Systems structure	Cores techno-type	Gb	Ga	Fd	Fc	Fb	Fa	Tot. Num.	Tot. %
Peripheral	Secant planes cores “Discoid”	1	2	-	3	-	8	14	10.1
	Secant planes cores “Partial exploitation”	7	9	1	2	-	4	23	16.7
	Secant planes “Trifacial cores”	3	5	-	-	-	-	8	5.8
	Parallel planes exploitation	-	10	2	2	-	8	22	15.9
Polar	Unidirectional parallel planes	-	3	2	-	-	4	9	6.5
	Unidirectional “short axis exploitation”	2	4	-	-	-	2	8	5.8
	Multidirectional	3	5	1	2	-	6	17	12.3
	Bidirectional parallel planes	-	-	-	-	-	1	1	0.7
	Orthogonal parallel planes	-	-	1	-	-	-	1	0.7
	Convergent parallel planes	-	1	-	-	-	-	1	0.7
Volumetric	Bladelet cores	-	-	2	-	-	2	4	2.9
	Bipolar percussion core	-	1	-	-	-	-	1	0.7
	Large flake cores	1	1	1	-	-	3	6	4.3
	Undetermined core fragments	2	6	7	-	2	6	23	16.7
	TOTAL	19	47	17	9	2	44	138	100

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t004>

Table 5. Payre. Determined pieces. Numbers in brackets indicate retouched pieces.

Techno-types	Gb		Ga		Fd		Fc		Fb		Fa	
	num	%	num	%	num	%	num	%	num	%	num	%
Centripetal flakes	37 (5)	32.5	337 (83)	41.8	33 (4)	31.1	14 (4)	21.2	12(2)	46.2	83(22)	26.4
Debordant flakes (chordal)	16 (5)	14.0	135 (48)	16.7	12 (1)	11.3	3	4.5	-	0	37 (4)	11.8
Pseudolevallois	-	0	1	0.1	1	0.9	1	1.5	1	3.8	3	1.0
Unipolar flakes	10 (1)	8.8	24 (3)	3.0	13	12.3	3 (1)	4.5	3	11.5	26 (8)	8.3
Debordant unipolar flakes	2	1.8	5 (1)	0.6	4	3.8	-	0	-	0	1 (1)	0.3
Bipolar flakes	1	0.9	2	0.2	-	0	2	3.0	-	0	-	0
Debordant bipolar flakes	-	0	1	0.1	-	0	2	3.0	-	0	-	0
Orthogonal flakes	1	0.9	5 (3)	0.6	-	0	2	3.0	-	0	-	0
Convergent/sub-convergent flakes	2 (1)	1.8	10	1.2	-	0	-	0	-	0	-	0
Bladelets	-	0	-	0	3	2.8	-	0	-	0	-	0
Blades	-	0	-	0	7	6.6	-	0	-	0	-	0
Kombewa	3	2.6	27 (5)	3.3	1	0.9	1 (1)	1.5	1	3.8	19 (1)	6.1
Kombewa debordant	1 (1)	0.9	4 (2)	0.5	-	0	-	0	-	0	3	1.0
Quina	3	2.6	10	1.2	-	0	-	0	-	0	2	0.6
Demi Quina	2	1.8	17	2.1	1	0.9	-	0	-	0	6	1.9
Wide flake (Demi Quina retouch)	1	0.9	1	0.1	14	13.2	-	0	-	0	2	0.6
Wide flakes	-	0	21 (7)	2.6	3 (1)	2.8	6 (3)	9.1	1	3.8	29 (9)	9.2
Bifaces	2	1.8	-	0	-	0	-	0	-	0	1	0.3
Macro-tools	1	0.9	4	0.5	1	0.9	-	0	-	0	5	1.6
Entire Pebble	16	14.0	88(41)	10.9	5(2)	4.7	11(3)	16.7	6(1)	23.1	63(14)	20.1
Broken Pebble	8	7.0	49	6.1	3	2.8	11	16.7	1	3.8	21	6.7
Striking platform flakes	2 (1)	1.8	1	0.1	-	0	7	10.6	-	0	2	0.6
Shaping/retouching flakes	4	3.5	43	5.3	1	0.9	3	4.5	-	0	10	3.2
Rejuvenation flakes	1	0.9	21 (14)	2.6	-	0	-	0	-	0	-	0
Crested flakes	1	0.9	-	0	4	3.8	-	0	1	3.8	1	0.3
Total	114	100	806	100	106	100	66	100	26	100	314	100

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t005>

managed by parallel planes (Fig 7). These cores show some features in common with the definition of Levallois proposed by Boëda [4, 95]. They present asymmetrical convex surfaces (plane of intersection). However, we do not include them in the category of Levallois cores because they lack specific features that characterize this volumetric concept. These cores do not show any scars that would indicate a clear separation between the configuration phase of the *débitage* surface and the main production phase. The striking platforms are minimally prepared. A single centripetal series is obtained on the surface without evidence of preparation of the lateral and distal convexities (Fig 7). After a short series of centripetal removals, the flaking surface is quickly abandoned. No rejuvenation flakes, suggesting a reconfiguration of the core, have been found. These kinds of cores are well represented in both units G (n = 10) and F (n = 12) (Table 4).

Products derived by peripheral exploitation show different features depending on the procedure applied (i.e. parallel or secant plane exploitation). To distinguish between products derived from peripheral secant exploitation and peripheral parallel exploitation, we take into account the angular degree of the dorsal scars and the angular degree between the platform and the ventral surface of the blanks. Secant exploitation produces blanks with an inclined platform and the dorsal surface is characterised by secant centripetal scars (Fig 8). These flakes are short and thick with a robust cutting edge between about 40° and 60°. Centripetal and

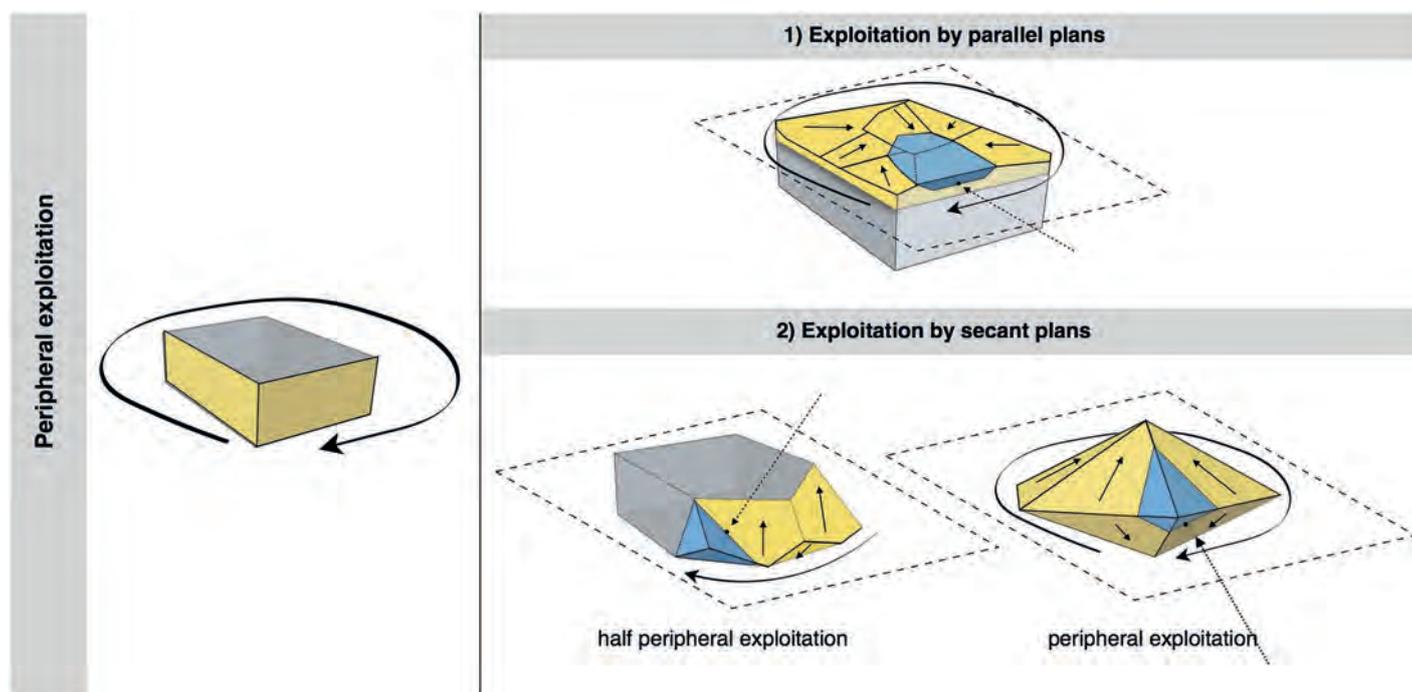


Fig 4. Model of peripheral planes exploitation. On the top right exploitation by parallel planes. On the bottom right the two variants of exploitation by secant planes.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g004>

chordal directions of flaking produce respectively flakes with a peripheral cutting edge (type A1), and debordant flakes (type A2) (Fig 8).

These products are diverse in shape. The cutting edge can be polygonal, sub-circular or convergent.

Flakes with a convergent cutting edge are numerous in both units G and F [99, 100]. Analysis of the dorsal scars rarely shows a convergent method. This result is confirmed by the cores. Just one core in sub-level Ga shows this type of method. Diacritical analysis of the dorsal scars of these convergent pieces shows that they are closer to a peripheral secant planes exploitation technique (Fig 6 n. 4, 9).

Products derived from parallel planes exploitation (Types B1 and B2) (Fig 8) differ greatly from those derived from the previous one. They are close to the typical Levallois flakes (Fig 8 n. 10 to 15). The platform is generally flat, but in some cases is carefully prepared. The angle between the ventral surface and the platform of the flakes is between 95° and 115° . Scars on the dorsal surface are parallel or sub-parallel. Compared with the A1 and A2 flake types, B1 and B2 flake types are thinner, with a cutting edge of about 15° to 40° . Flakes with secant dorsal scars (Type A) are present in all of the sub-levels except Fd (Table A in S2 File). Among the flakes with secant dorsal scars (Type A), the majority are associated with an inclined platform, due to the secant planes exploitation. This is particularly clear in unit F where no rectilinear platform is related to flakes with secant scars (Table B in S2 File).

Six cores with secant planes were abandoned after a short series of removals. There is no evidence of preparation. Two of these cores come from unit G and three from unit F (Fig 9 n. 1 and 2). These cores can be related to large, wide flakes found in unit G (23 items) and unit F (55 items) with a flat or a cortical platform (Fig 9 n. 3 to 7).

Polar exploitation. This system is based on the exploitation of a surface with one or more striking platforms located on one or several sides of the cores. There are 56 such cores in unit

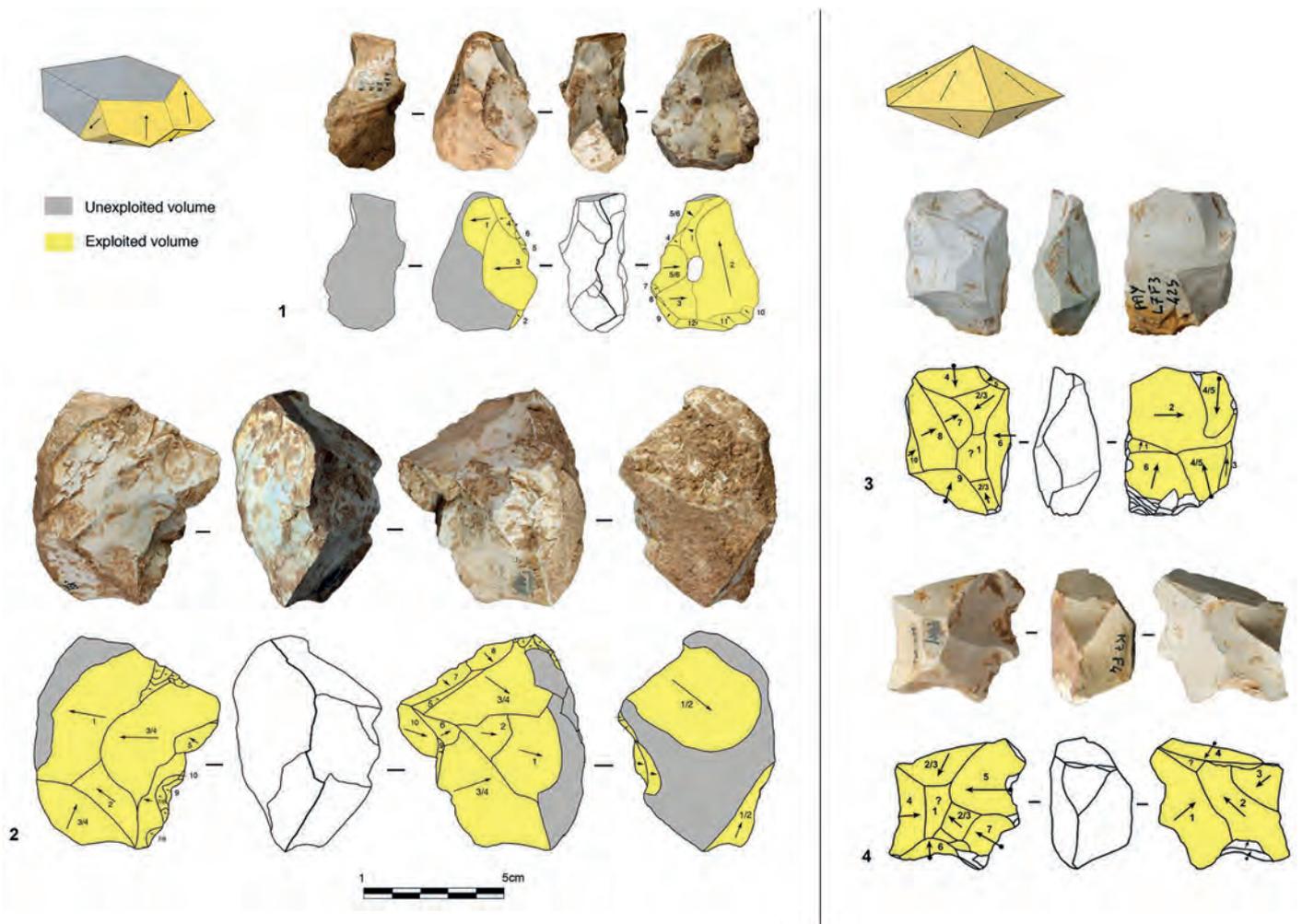


Fig 5. Payre. Peripheral secant planes cores. Cores of partial peripheral secant planes exploitation from sub-unit Gb (1, 2). Cores of complete peripheral secant planes exploitation from sub unit Fa (Discoidal) (3,4).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g005>

F and 18 in unit G (Table 4). Based on the location of the striking platforms on the core, two different types are distinguished. The first is an exploitation of the narrowest surface of the core, while in the second the exploitation is applied to the largest surface of the core (Fig 10).

The cores managed on the narrowest surface show only unidirectional removals. Six of these cores were found in unit G and two in unit F (Table 4). The removals are directly struck on the core without preparation of the lateral and distal convexities. This does not allow the surface to be exploited for very long: several cores were quickly abandoned after a short series of removals, due to hinged fractures (Fig 11 n. 1). Repetition of a unidirectional series of removals on the same core can give various forms which can be interpreted erroneously as different reduction systems.

A group of 17 cores, 8 found in unit G and 9 in unit F shows exploitation of multiple surfaces (Fig 11 n. 3). The final shape of these cores resembles the SSDA “*système de débitage par surface alterné*” cores [101]. In the case of Payre, these cores have to be described as an advanced phase of exploitation by unidirectional series managed on the same volume.

The category of cores exploited on the large surface groups together various methods: unidirectional, bidirectional, convergent and orthogonal. The unidirectional method is the most

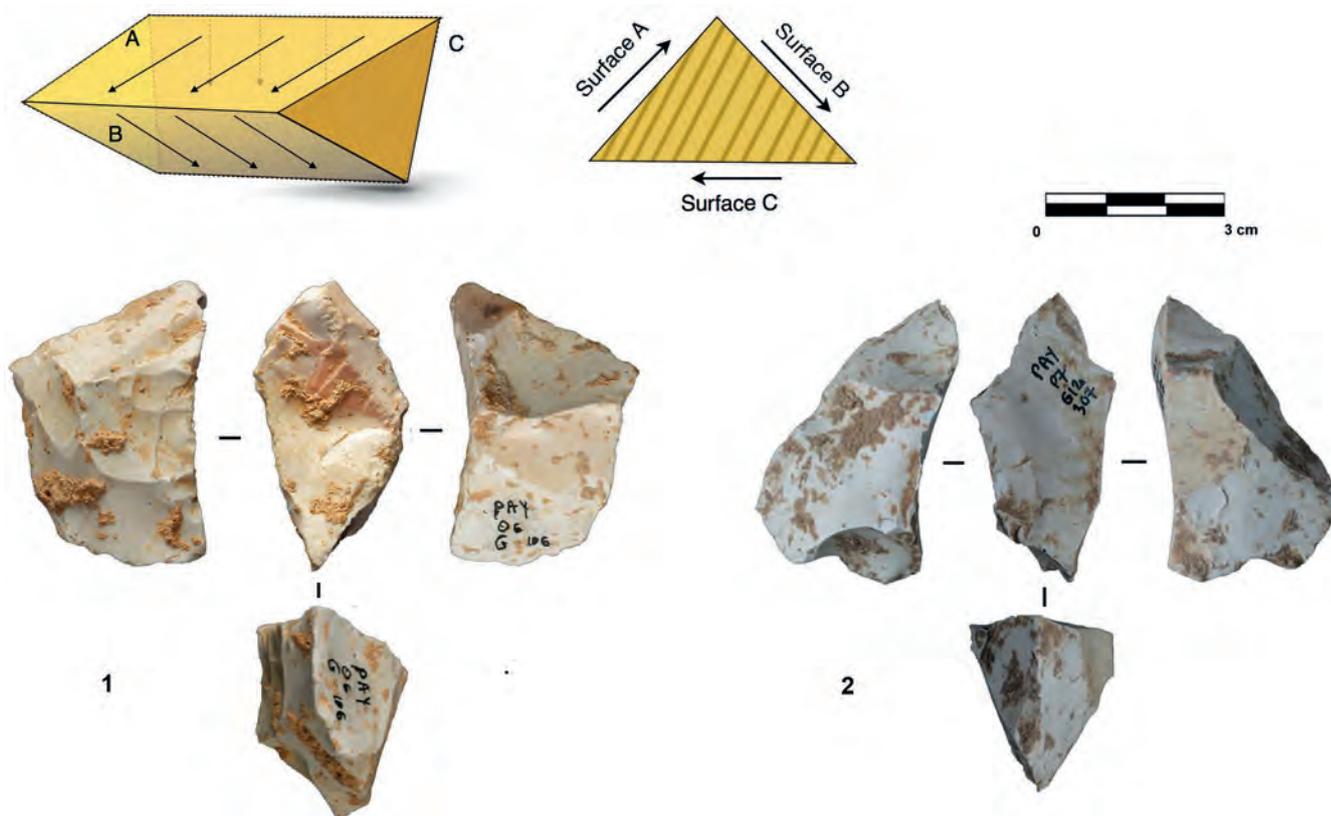


Fig 6. Payre. Trifacial cores. Trifacial secant planes exploitation cores from sub-levels Ga (n. 1) and Gb (n.2).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g006>

frequent and is equally present in the two units (Table 4). Convergent, orthogonal and bipolar methods are less common. Selection of the appropriate volume allows for exploitation without the preparation of the lateral and distal convexity (Fig 12 n. 2, 3). Just one core shows a partial preparation of the flaking surface (Fig 12 n.1). In this core *débitage* stopped due to hinged fractures and continued on the opposite surface with a second unidirectional series made in the opposite direction to the first (Fig 12 n.1). In other cases, the second series of removals can be made in the same direction as the first one or orthogonally.

The variability of end-products of polar exploitation is similar to what is observed in the cores. Unidirectional flakes are the most frequent, especially in sub-units Fa and Ga (Table 5). Triangular flakes coming from a convergent method are less frequent, and are more numerous in sub-levels Ga and Gb (Fig 13, n. 8 to 10). Orthogonal and bipolar flakes are as rare as the cores.

Unidirectional methods produce quadrangular slightly elongated flakes with a peripheral cutting edge and debordant flakes (Fig 13, n. 1 to 7). Products from unidirectional exploitation on the narrow surface and unidirectional exploitation on the large surface are similar.

Differences between the unidirectional flakes can however be detected in terms of the elongation. A group of unidirectional flakes shows a tendency to be more elongated and could be related to the exploitation of the largest surfaces (Fig 13, n. 1 to 4). Conversely, the presence of short quadrangular flakes can correspond technologically to the exploitation of the shortest axis (Fig 13, n. 5 to 7).

Volumetric exploitation. Four small cores aimed at the production of bladelets were found in unit F (Table 4). There was minimal preparation of the cores. Partial preparation was

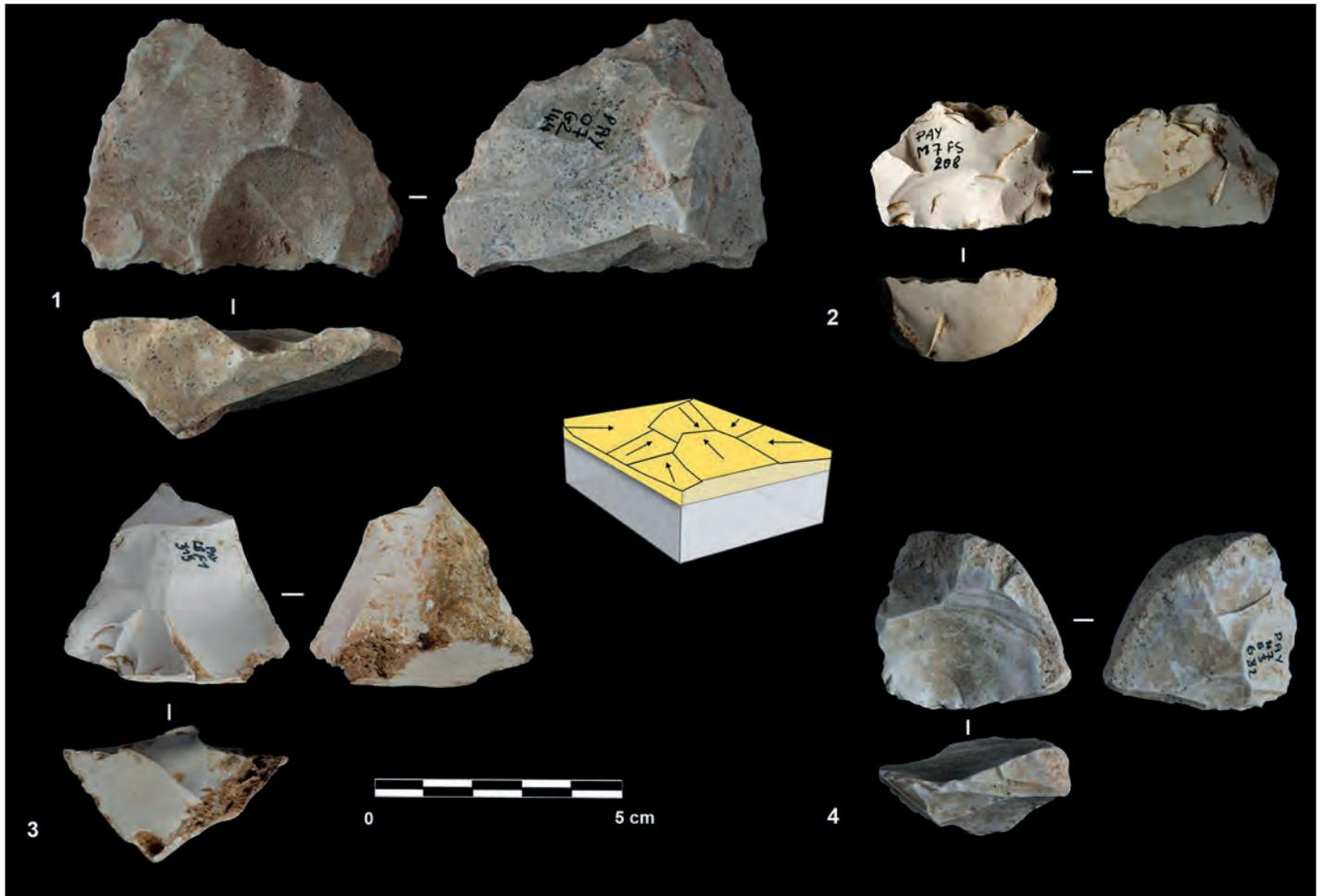


Fig 7. Payre. Peripheral parallel planes cores. Cores with peripheral parallel planes exploitation from sub-levels Ga (n. 1 and 2), Fb (n.3) and Fd (n. 4).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g007>

made by rear lateral removals aimed at centering the flaking surface (Fig 14). The striking platform was either left cortical or minimally prepared. Only 3 bladelets were found, in sub-level Fd. Despite the lack of these products, the scars on cores clearly indicate production of convergent/sub-convergent bladelets (Fig 14). Export of the products outside of the site is possible, or the core may be a mobile piece since no products or by-products related to this reduction system have been observed in the series.

Reduction sequences and the aims of production at the Bau de l'Aubesier

The lithic assemblages of units K and J are entirely composed of products derived from flaking systems, with both surface and volumetric management occurring (Table 6). Surface exploitation was recognized on 42 cores and includes both polar and peripheral variants. Volume exploitation is indicated by 14 cores.

Polar and peripheral parallel planes exploitation systems. Levallois or not Levallois?.

Secant plane exploitation is rare at the Bau de l'Aubesier and shows the same variability as at Payre.

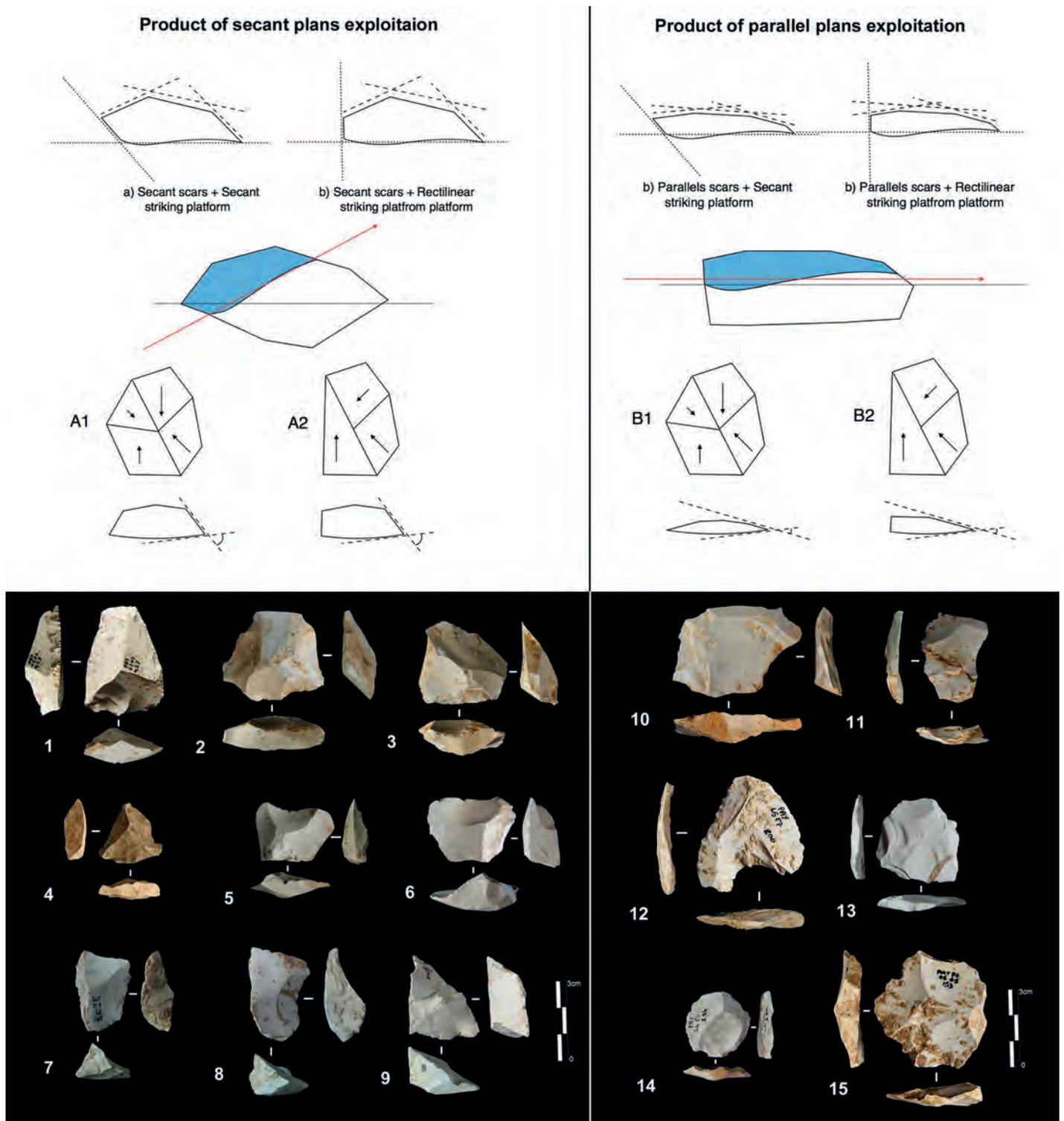


Fig 8. Payre. Peripheral exploitation blanks. On the top, sketch of products from a secant planes exploitation (top left) and from a parallel planes exploitation (top right). On the bottom left, blanks of secant planes exploitation: centripetal flakes (type A1) from sub-units Ga (n. 1 to 4), Fd (n. 5), and Fa (n. 6); debordant flakes (type A2) from sub-units Ga (n. 7 to 9). On the bottom right, products of parallel planes exploitation: centripetal flakes (type B1) from sub-units Ga (n. 10 to 13) and Fa (n. 14); debordant flakes (type B2) from sub-unit Ga.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g008>

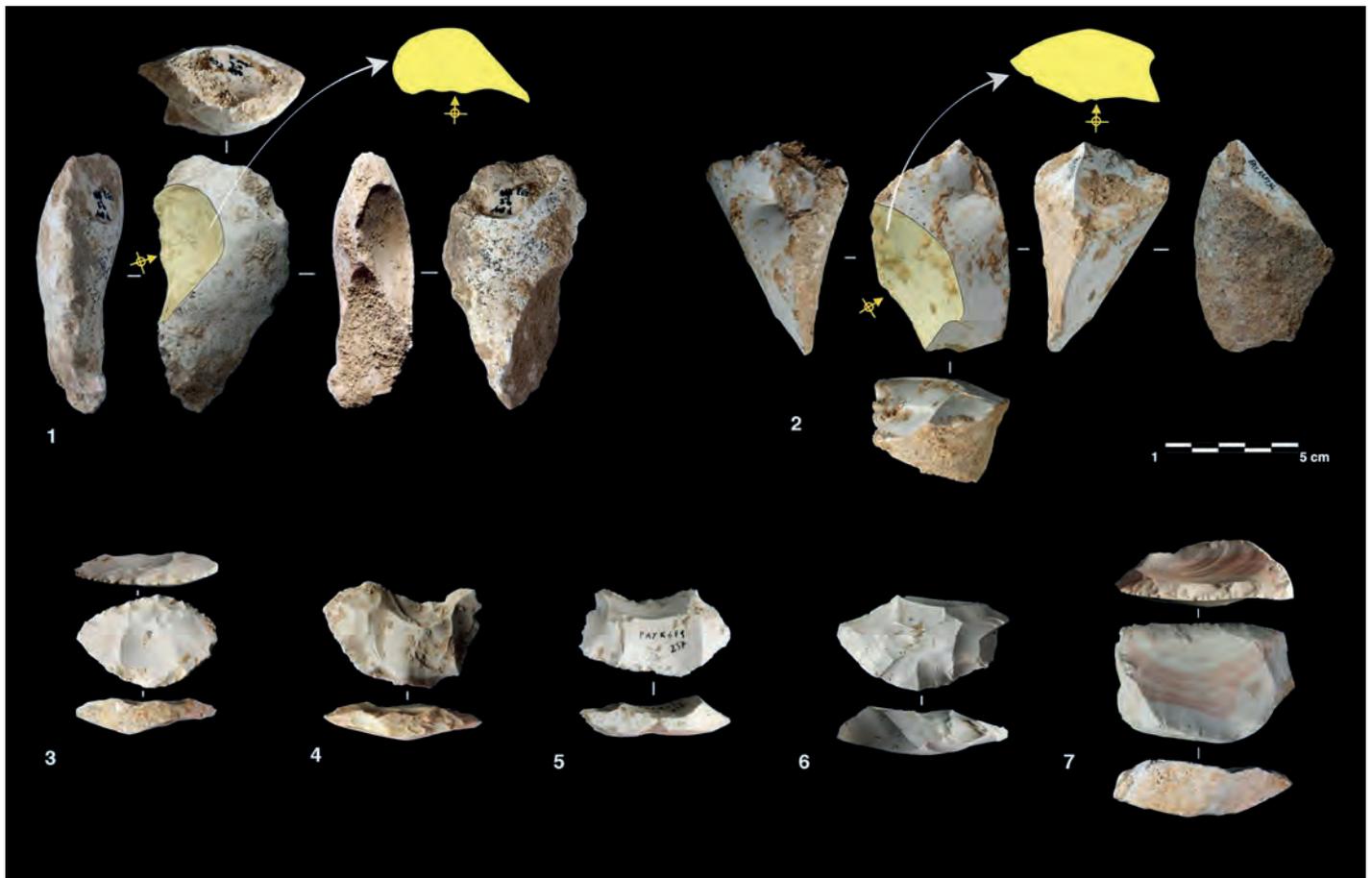


Fig 9. Payre. Wide flakes production. Large flake cores (n. 1, 2). Retouched wide flakes (n. 3 and 7). Unretouched wide flakes (n. 4 to 6).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g009>

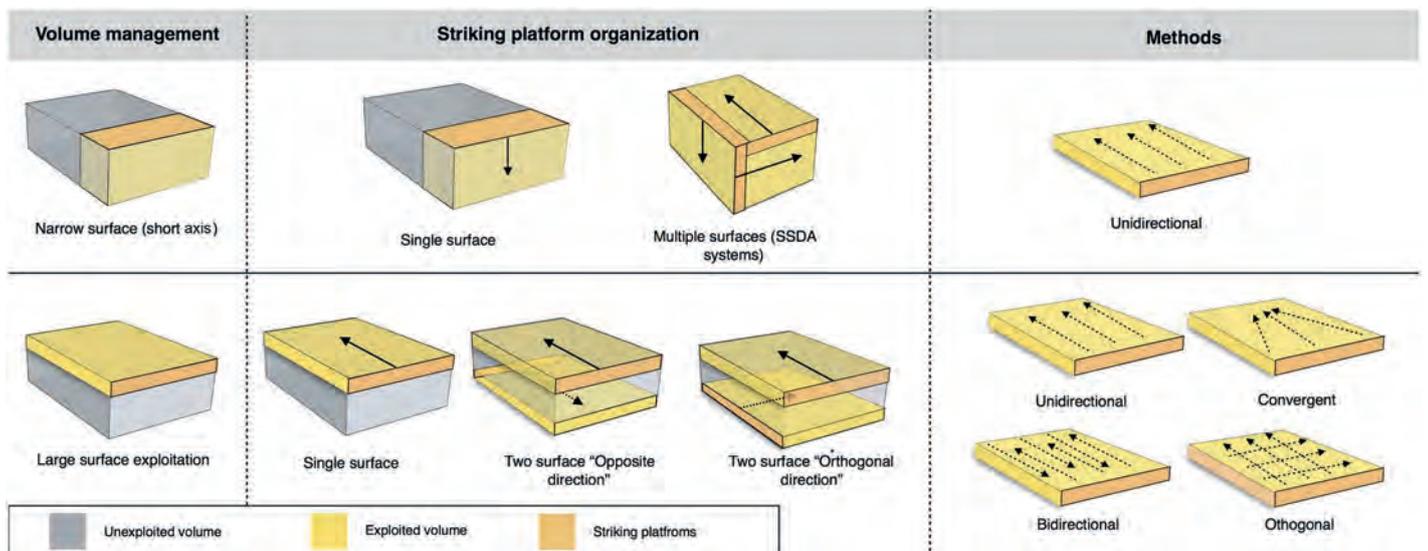


Fig 10. Payre. Polar exploitation variability. Model of the polar exploitation variability at Payre.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g010>

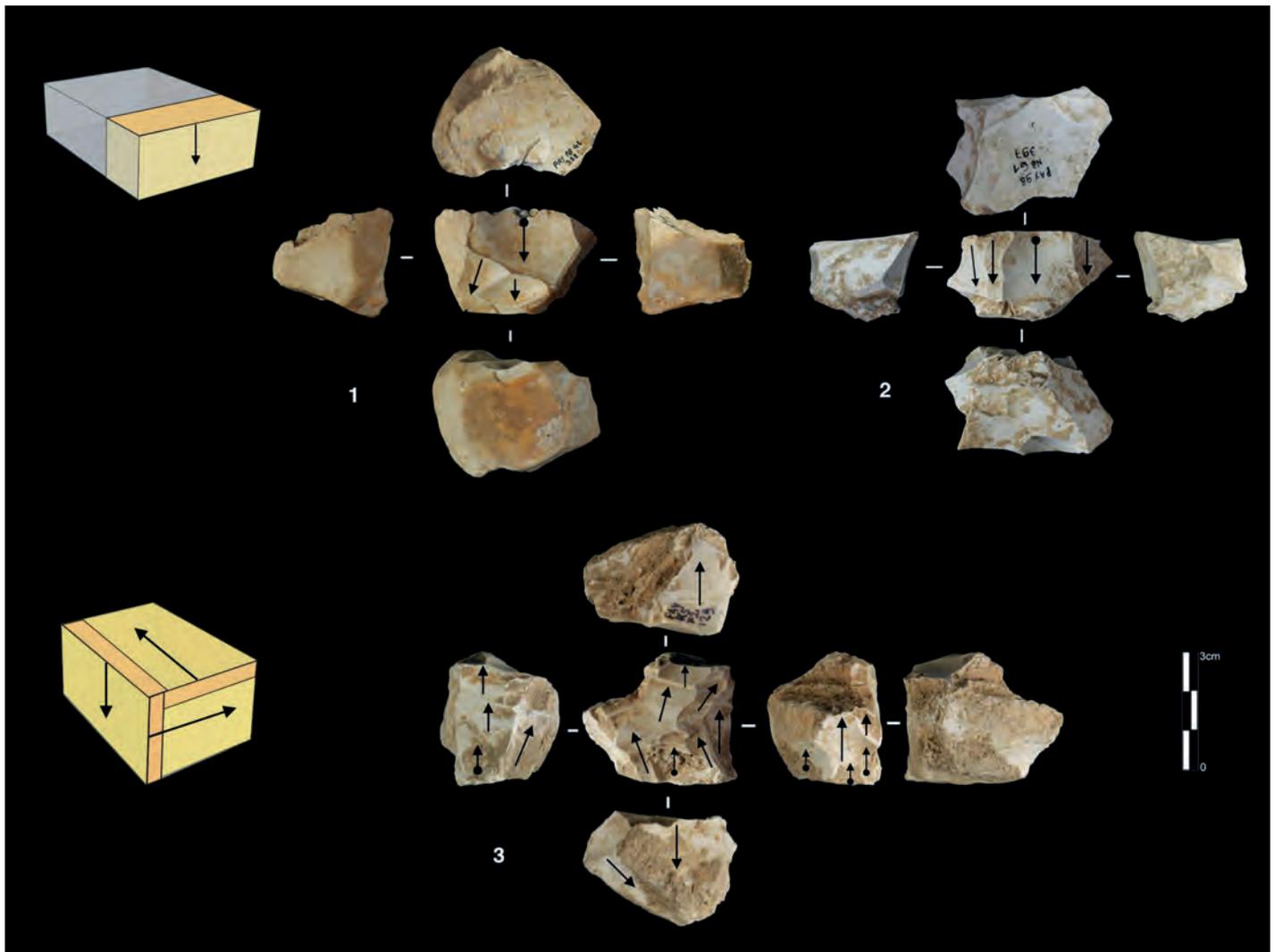


Fig 11. Payre. Unidirectional short axis cores.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g011>

This mode of production is only present in unit K, with five cores. Three of them are knapped on their total periphery (Discoid Type) and two cores show a partial exploitation (Fig 15).

Parallel planes exploitation is widely present. This category includes 24 cores from unit J and 6 cores from unit K. The methods employed are highly variable: centripetal, unidirectional, bidirectional, orthogonal and convergent. The bidirectional, convergent and orthogonal methods are found in both units K and J (Table 6). Conversely, the unidirectional method is only present in unit J, with 4 cores with a single series of removals and 6 cores with a multipolar exploitation. The centripetal method is primarily found in unit J, with just one centripetal core found in sub-unit K2 (Table 6). Three different types of configuration are recognized: Levallois, a partial configuration and a direct exploitation (Fig 16). Among the 30 cores, 6 of them, in unit J, can be described as Levallois (Fig 17). For the other 24 cores, two different processes in core management have been observed (Table 7). The first variant includes a preliminary phase that partially prepares the core by unidirectional removals that strike the two lateral

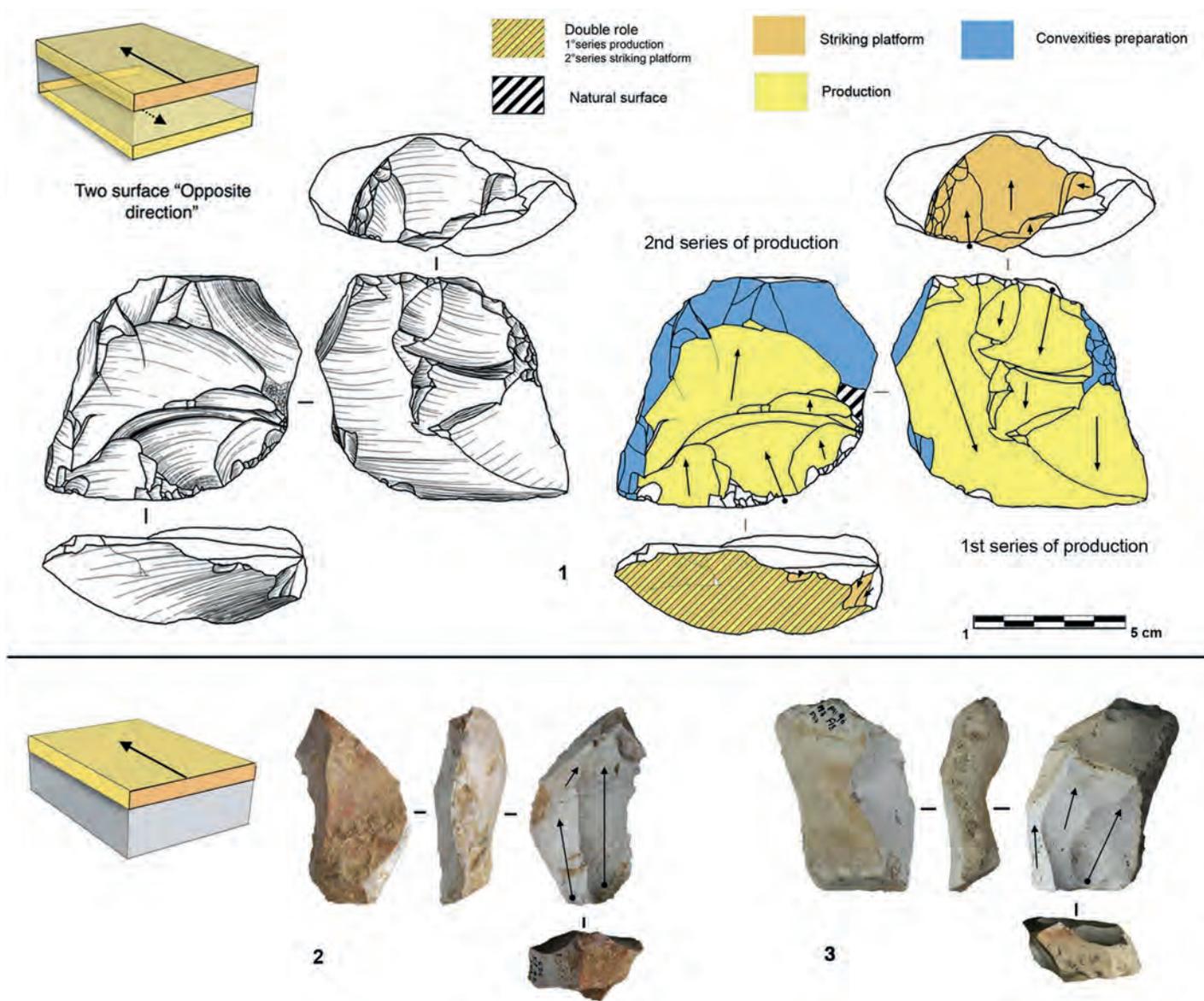


Fig 12. Payre. Unidirectional large surface cores.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g012>

surfaces. This operation gives the core a reversed trapezoidal cross-section (Fig 18). The aim is to create two lateral inclined striking platforms for the maintenance of the convexity on the flaking surface during exploitation. This particular process is mainly observed in unit K (Table 7). The methods are bidirectional, centripetal and orthogonal.

Direct exploitation is based on the selection of a specific size and shape of raw materials, in order to avoid the first (configuration) phase. In this case, the exploitation of the core is preceded only by the preparation of the striking platforms. Exploitation is performed by unidirectional, bidirectional, centripetal, orthogonal and convergent methods. The convergent method is only used in the case of direct exploitation (Fig 19).

Volumetric exploitation systems. Two types have been documented, for a total of 14 cores. Two cores are half-pyramidal cores and 12 cores are prismatic semi-rotating cores

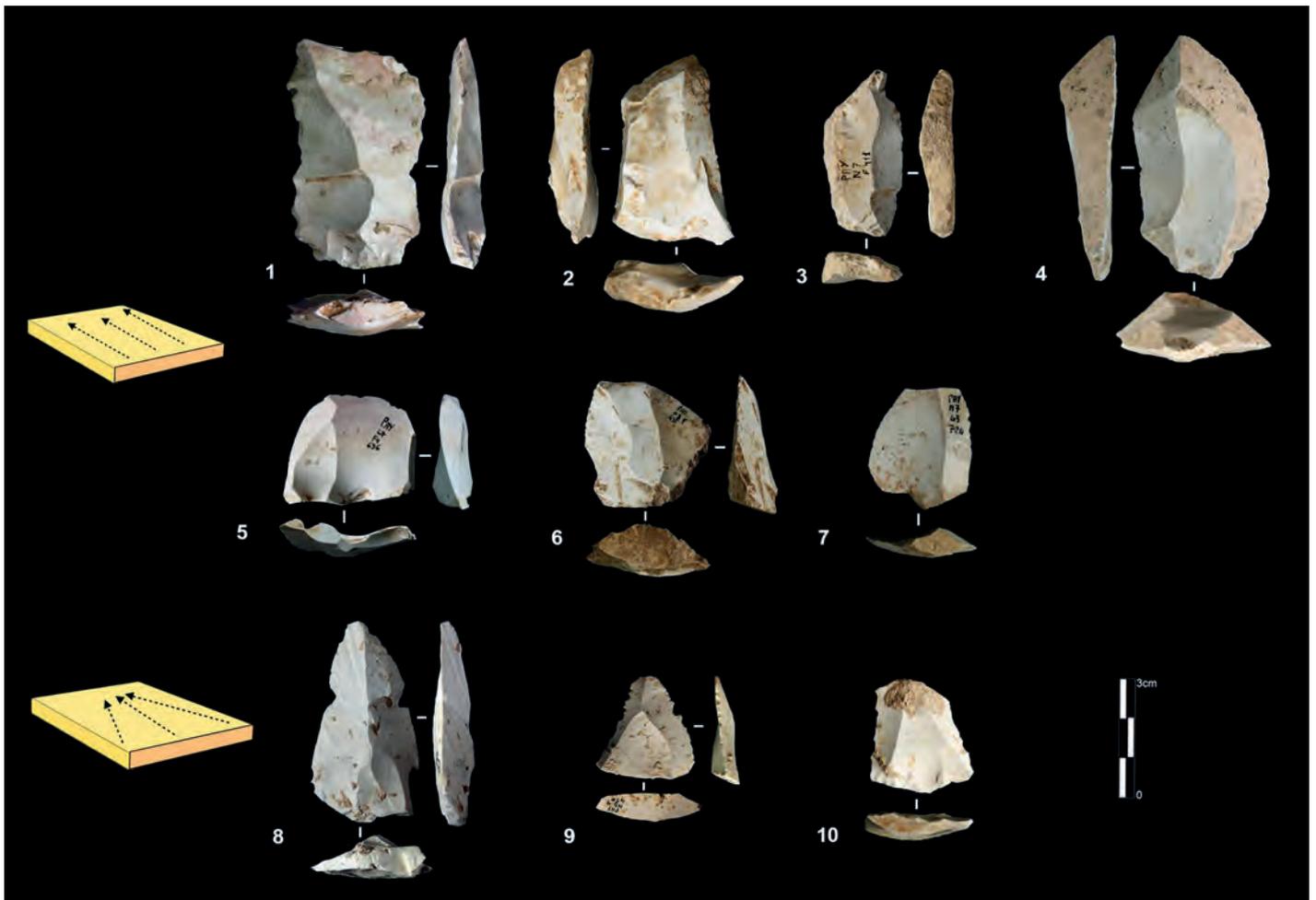


Fig 13. Payre. Elongated unidirectional flakes from Unit F (n. 1 to 3) and Unit G (n.4); Unidirectional short flakes from Unit F (n. 7 to 9) and Unit G (n.10); Convergent flakes from Unit G (n. 8 to 10).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g013>

(Fig 20). The two half-pyramidal cores were found in unit K. Exploitation was carried out by convergent removals. In one case, the *débitage* starts from a cortical platform and shows a minimal phase of preparation in order to correct the distal convexity of the flaking surface (Fig 21 n.1). The second core shows a more elaborate re-configuration based on the re-centering of the flaking surface by lateral removals. After that, the core was abandoned after repeated hinged fractures (Fig 21 n.2). The semi-rotating system comes primarily from unit J, with just one core out of 12 from sub-unit K2. The core volume is not completely shaped out before starting blade production. The management of lateral convexities is performed by debordant blades. In rare cases a second opposite striking platform is used in order to manage the distal convexity.

Removals can cover one (Fig 21 n. 3) or both of the lateral surfaces (Fig 21, n. 1, 2). The methods used are unidirectional and convergent (Figs 22 and 23).

Volumetric and parallel planes exploitation end products. Core variability is similar to end-product variability. Centripetal flakes are the most frequent and are linked to the two main reduction processes (Table 8). Despite the low number of pieces, some observations can be suggested. Centripetal flakes with secant dorsal scars (type A) are present in units K and J

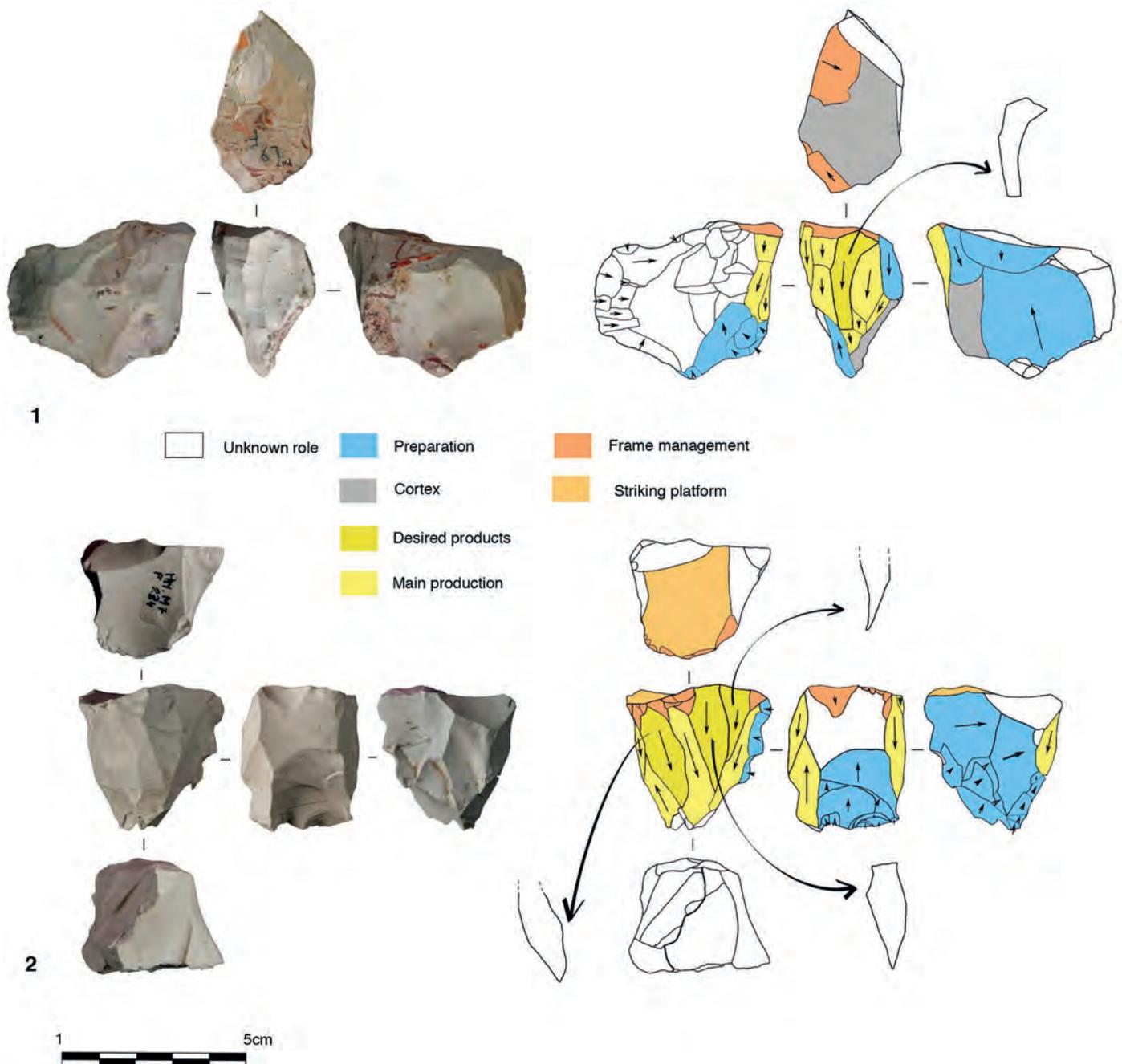


Fig 14. Payre. Bladelet cores from unit F.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g014>

but decrease over time (Table C in [S2 File](#)). Conversely, centripetal flakes with parallel dorsal scars (type B) increase in unit J, as do the equivalent cores. These products can be classified as Levallois-type flakes but can also be the results of three different processes: Levallois, direct exploitation, and partial preparation types ([Fig 16](#)). The variability of methods for parallel planes exploitation is confirmed by convergent, unidirectional and bidirectional Levallois-type flakes ([Fig 24](#) n 1 to 9). Beside this dominant production of flakes, blades also exist in the two units; they are more numerous in the lower levels, with a proportion of 22.6% in sub-unit K2

Table 6. Bau de l'Aubesier. Numbers of core types throughout the sequence.

Systems structure	Core techno-type	K2	K1	K	J4	J3	J2	J1	J	Total
Peripheral	Secant planes cores "Discoid"	3	-	-	-	-	-	-	-	3
	Secant planes cores "Partial exploitation"	1	1	-	-	-	-	-	-	2
	Centripetal parallel planes exploitation	1	-	-	2	2	2	-	4	11
Polar	Unidirectional parallel planes	-	-	-	1	1	1	1	-	4
	Bidirectional parallel planes	1	-	2	1	-	-	-	-	4
	Convergent parallel planes	1	-	-	1	-	1	-	-	3
	Orthogonal parallel planes	1	-	-	-	1	-	-	-	2
	Multidirectional	-	-	-	5	-	-	1	-	6
Volumetric	Convergent semi-rotating	-	-	-	4	-	-	-	2	6
	Unidirectional semi-rotating	1	-	-	4	-	1	-	-	6
	Pyramidal cores	1	-	1	-	-	-	-	-	2
	Large flakes cores	1	-	-	4	-	-	-	-	5
	Undetermined cores fragment	2	-	-	-	-	-	-	-	2
	Total	13	1	3	22	4	5	2	6	56

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t006>

and 7.6% in sub-unit J4. The blades are triangular or rectangular, consistent with the pyramidal cores, and the rectangular blades can be linked to the semi-rotating unidirectional system (Fig 24 n 10 to 16).

Heavy-duty tools and retouched pieces

Payre. The lithic collections yielded denticulates, notches and sidescrapers (Tables 9, 10 and 11). The assemblages also include tools derived from shaping processes (the heavy-duty component) and some Quina pieces (Fig 25). The frequencies of tools in each assemblage range from 11.5% to 29.5% (Table 9). There does not seem to have been any specific choice of blank types from the *débitage* for any category of tool type (Table E and Table F in S2 File), except in unit G, where we observe more flake-tools from peripheral exploitation system blanks (centripetal flakes and debordant flakes).

Most of the Quina tools were found in sub-level Ga (27 pieces). Predetermined reduction systems devoted to the production of large blanks for Quina retouch have been identified in the Middle Palaeolithic elsewhere [102, 103]. According to Baena [57], at Payre it is impossible to describe a Quina reduction process. The large and thick flakes used for Quina retouch can

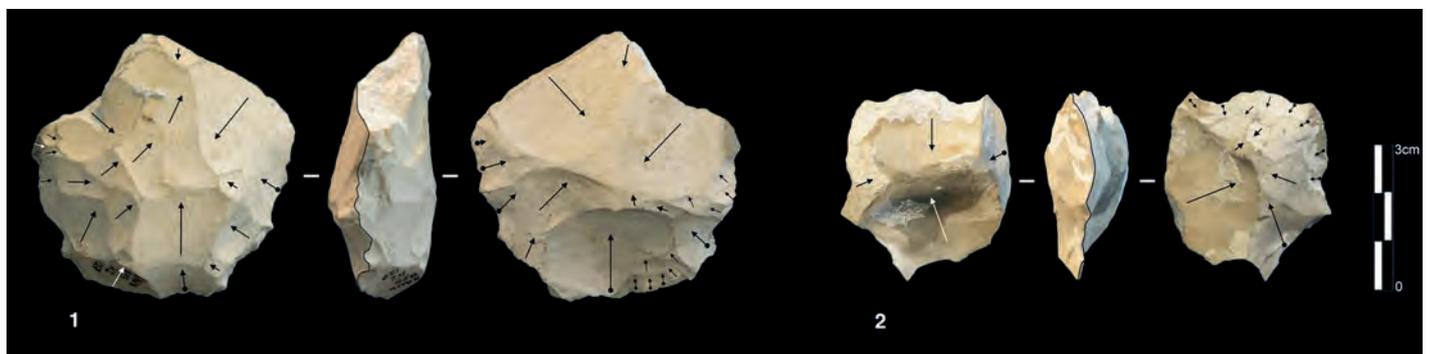


Fig 15. Bau de l'Aubesier. Discoid cores from sub-level K2.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g015>

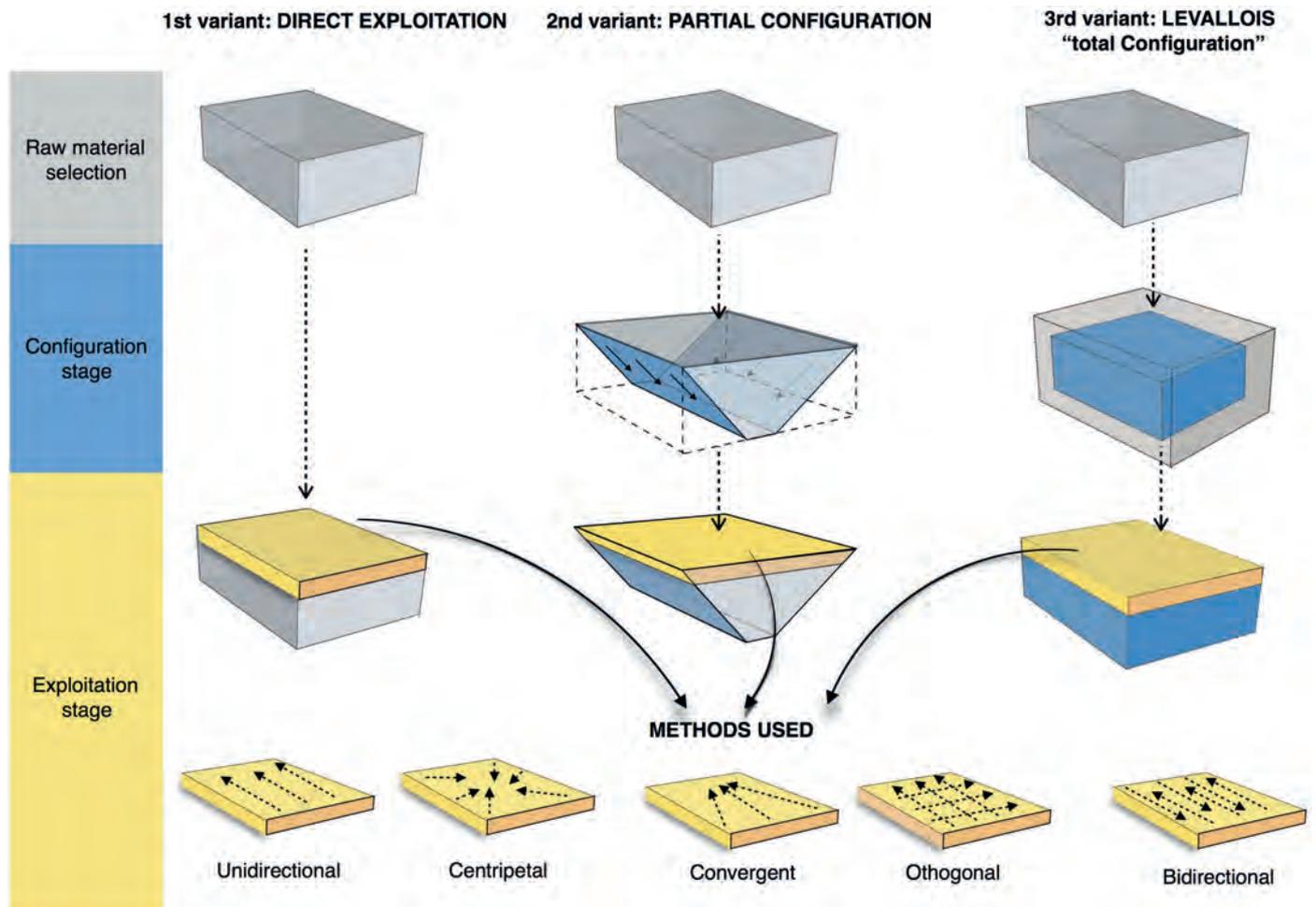


Fig 16. Bau de l'Aubesier. Variability of reduction systems in parallel planes exploitation.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g016>

come from the first phase of secant parallel planes exploitation cores or from trifacial exploitation cores.

Heavy-duty tools are rare. There are 3 handaxes, 2 in sub-level Gb and 1 in sub-level Fa (Fig 26).

Eleven tools are characterized by a partial shaping operation, aimed at creating a trihedral morphology while leaving the main part of the piece unmodified (Fig 27). Chi2 of 24,399 (df4) with alpha of 0,001 (18,467), indicates a significant difference between the levels for the proportions of retouched and unretouched pieces. This is also the case for the proportions of retouched pieces (Chi2 of 31,782, df = 12, with alpha 0,001, 32,909).

Bau de l'Aubesier. Retouched pieces are more frequent in units K (17.8%) and J4 (16.2%), but rare or totally absent in sub-levels J3 to J1-J. The retouch rarely modifies the form of the blanks, whether flakes or blades. The only exception concerns 14 truncated pieces in unit K (12 pieces) and in sub-unit J4 (2 pieces) (Fig 28). Fifteen pieces (12 from unit K and 3 from J) are characterized by partial shaping to build a rostrum (Fig 29). The rest of the piece is unmodified, except in the case of one piece from sub-level K2 (Fig 29 n. 3). Within the production no specific blank type was selected to be retouched (Table D in S2 File).

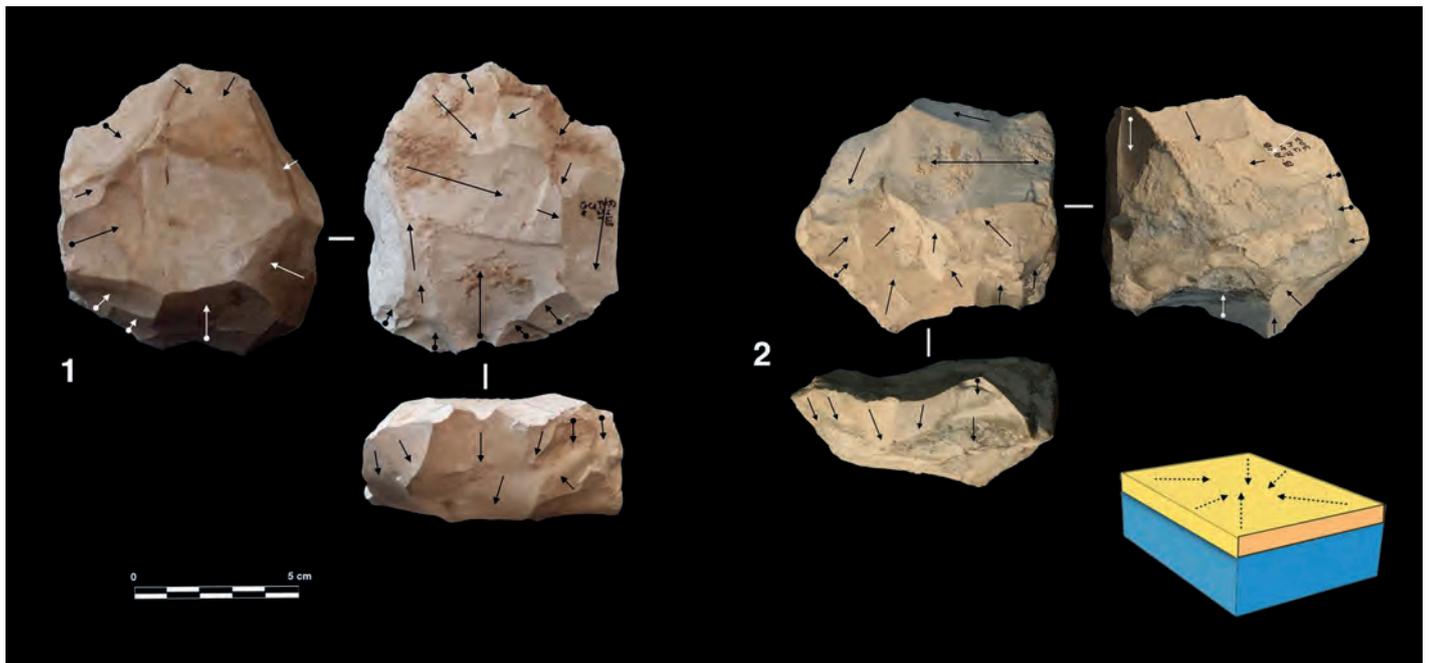


Fig 17. Bau de l'Aubesier. Levallois cores.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g017>

The Chi2 of 30,714, with df = 8, indicates a significant difference between the levels in term of ratios of retouched pieces (alpha 0,001, 27,877).

Discussion and Conclusion

Similarities and differences in lithic production at Payre and the Bau de l'Aubesier

The technological strategies performed at the Bau de l'Aubesier and Payre show both differences and common features over time. At the Bau de l'Aubesier the major differences between

Table 7. Bau de l'Aubesier. Parallel planes exploitation; core variability.

System configuration	Methods	K2	K1	K	J4	J3	J2	J1	J	Tot.
Direct exploitation	Centripetal	0	-	-	1	-	1	-	1	3
	Unidirectional	-	-	-	1	1	1	1	-	4
	Bidirectional	-	-	-	1	-	-	-	-	1
	Multidirectional	-	-	-	5	-	-	1	-	6
	Convergent	1	-	-	1	-	1	-	-	3
	Orthogonal	-	-	-	-	1	-	-	-	1
	Partial total	1	-	-	9	2	3	2	1	18
Partial configuration	Centripetal	1	-	-	-	-	1	-	-	2
	Unidirectional	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	Bidirectional	1	-	2	-	-	-	-	-	3
	Orthogonal	1	-	-	-	-	-	-	-	1
	Partial total	3	-	2	0	0	1	0	0	6
Levallois	Centripetal	-	-	-	1	2	-	-	3	6
	Total	4	0	2	10	4	4	2	4	30

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t007>

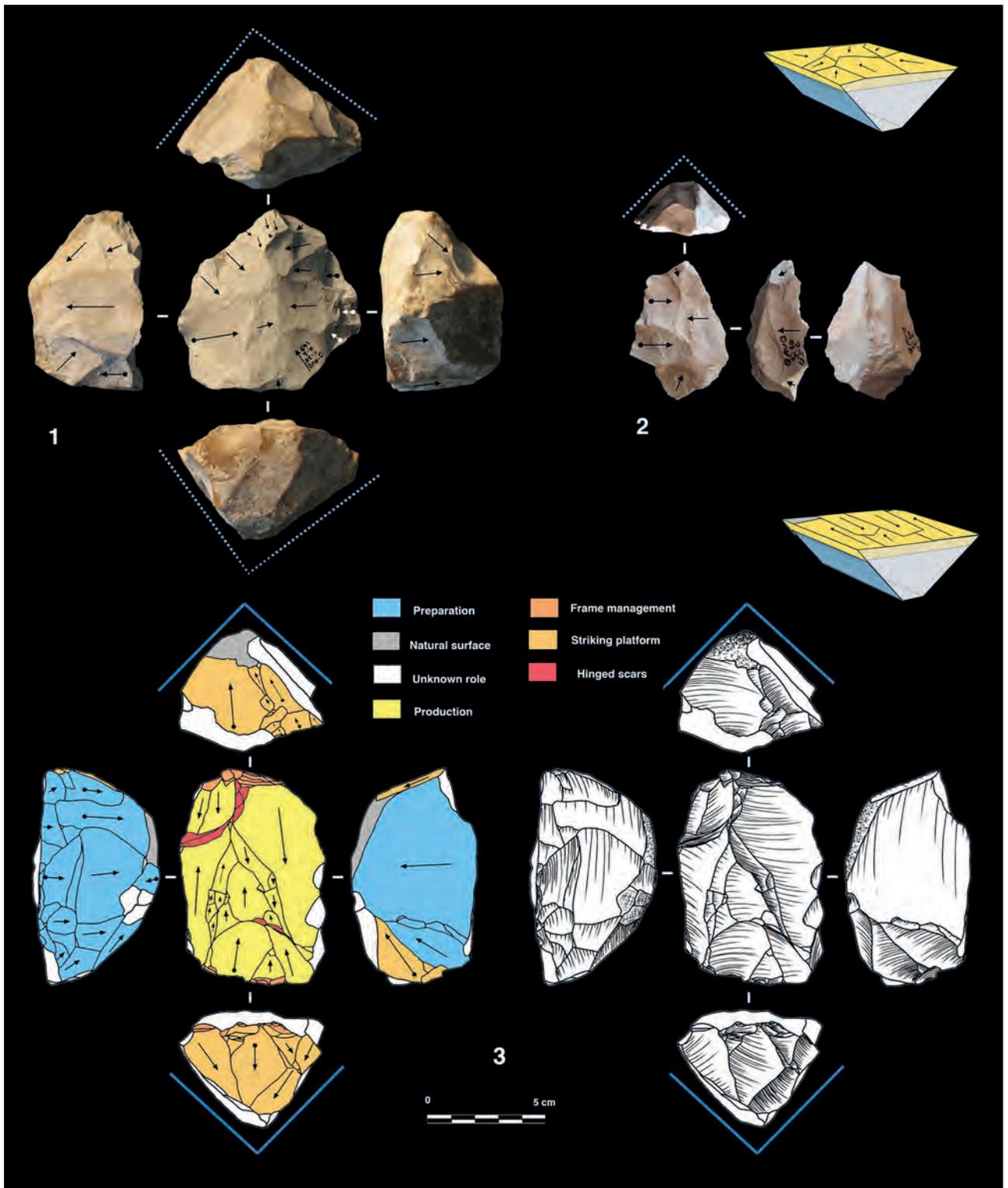


Fig 18. Bau de l'Aubesier. Cores with partial preparation.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g018>

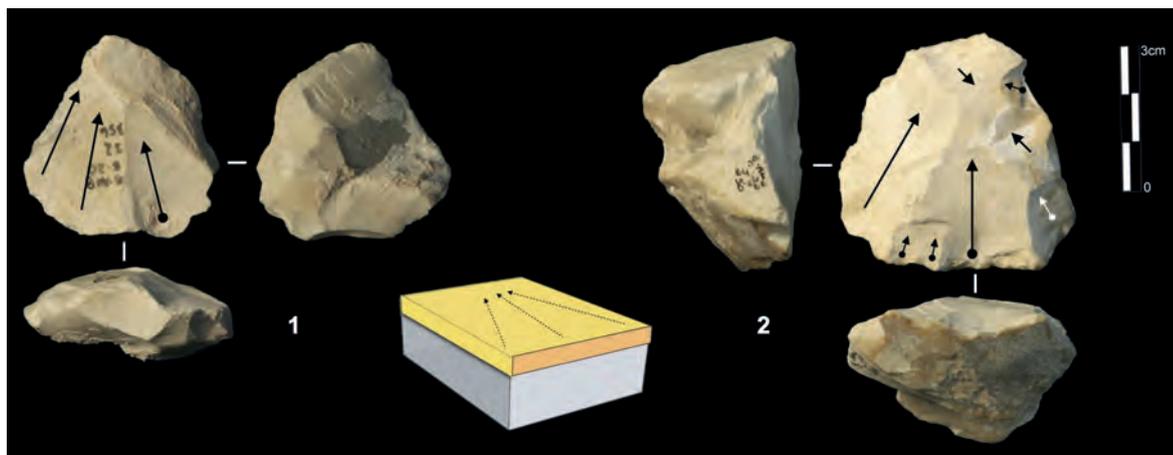


Fig 19. Bau de l'Aubesier. Convergent cores without preparation from Unit J.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g019>

units K and J include the appearance of Levallois *débitage* in unit J, in parallel with the disappearance of Discoid production. The pyramidal system disappears in unit J, replaced by the development of a semi-rotating system and in particular by the convergent method, which is absent in unit K (Fig 30). At Payre, the differences between the sub-levels seem to be less marked than at the Bau de l'Aubesier. The main shift over the time span from unit G to unit F is constituted by an increase of the Discoid system, associated with a decrease in the partial peripheral system and the disappearance of the trifacial cores. The shift also includes a marginal bladelets production and a decrease in the number of Quina pieces.

Comparing the lithic assemblages of the two sites, differences in terms of technological behaviours appear clearly at multiple levels: core management, reduction systems and tool kits. From a macroscopic point of view the Payre assemblages are the result of a double behaviour, with both knapping and shaping processes (Fig 30). Shaping processes are almost entirely absent at the Bau de l'Aubesier, represented only by core technologies and the partial shaping operation described for a few pieces. If we compare the core technologies between the two

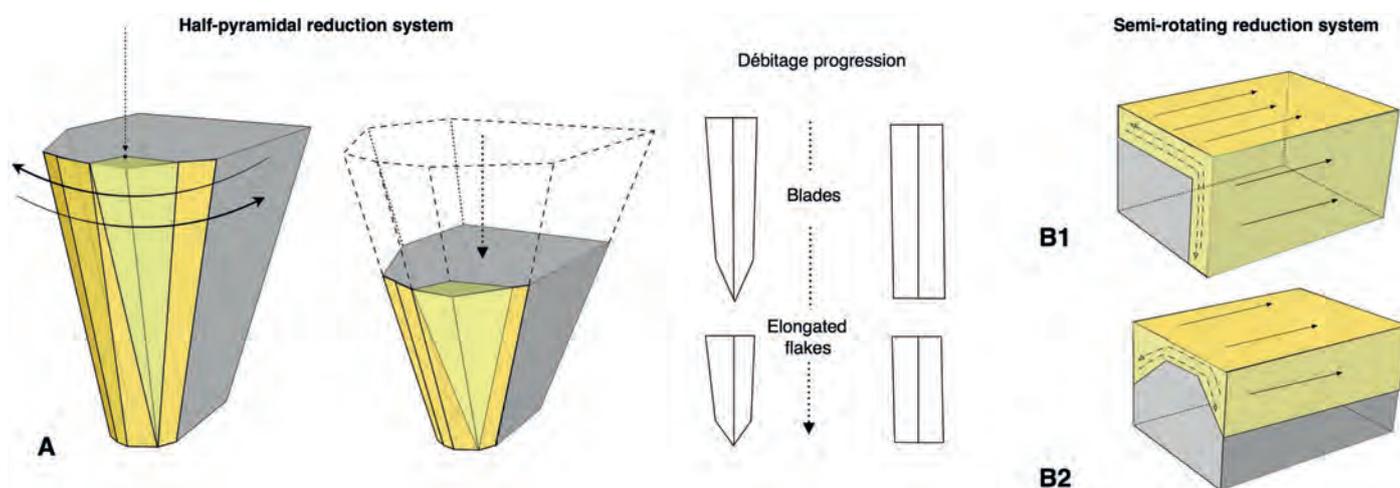


Fig 20. Bau de l'Aubesier. Variability in volumetric exploitation systems.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g020>

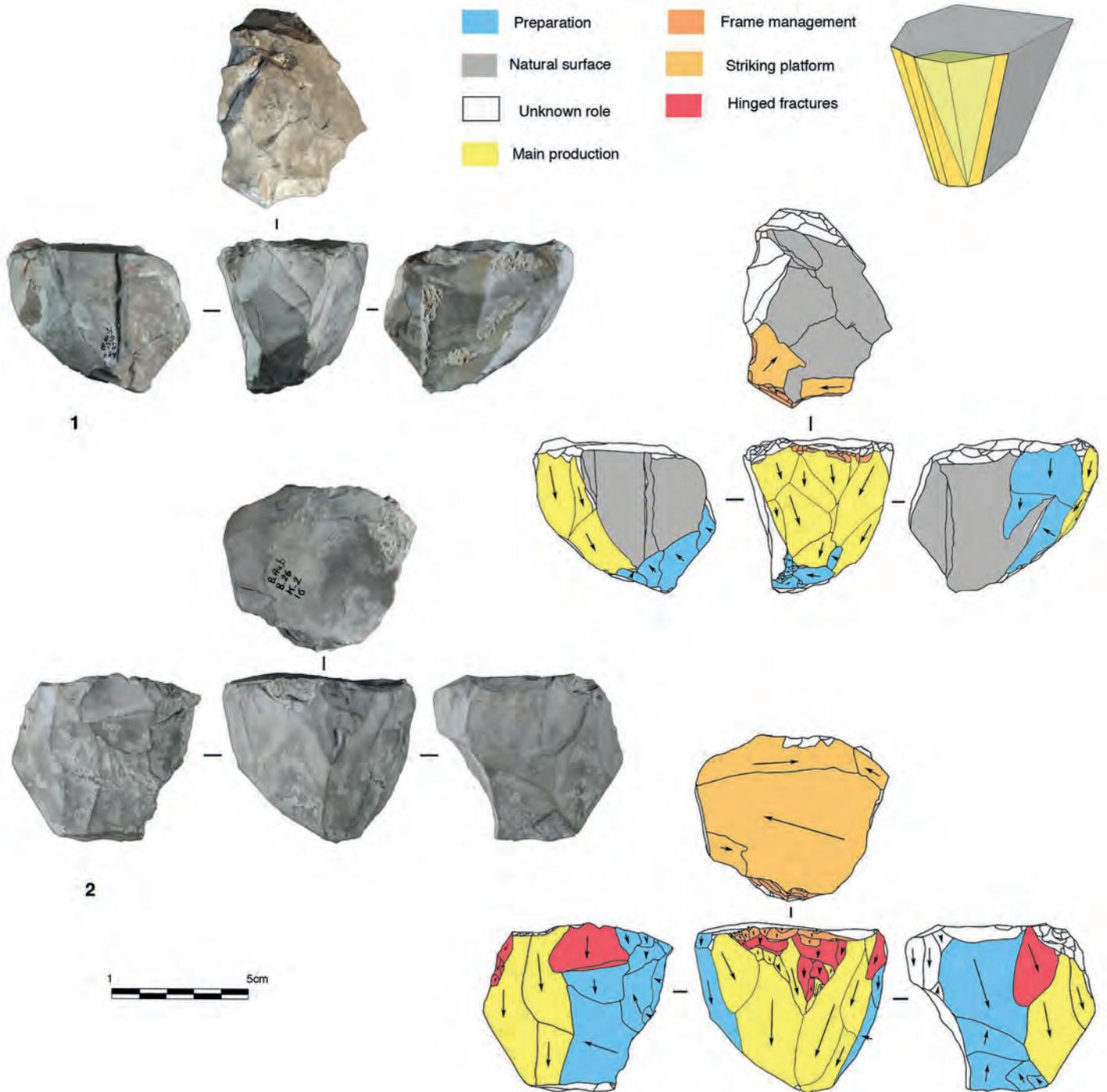


Fig 21. Bau de l'Aubesier. Half pyramidal cores.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g021>

sites, strong and clear differences appear. At the Bau de l'Aubesier, reduction systems were performed on both the surface and the volume of cores, in order to produce both flakes and blades. Conversely at Payre, volumetric exploitation is absent except for a marginal but noteworthy bladelets production (Fig 30).

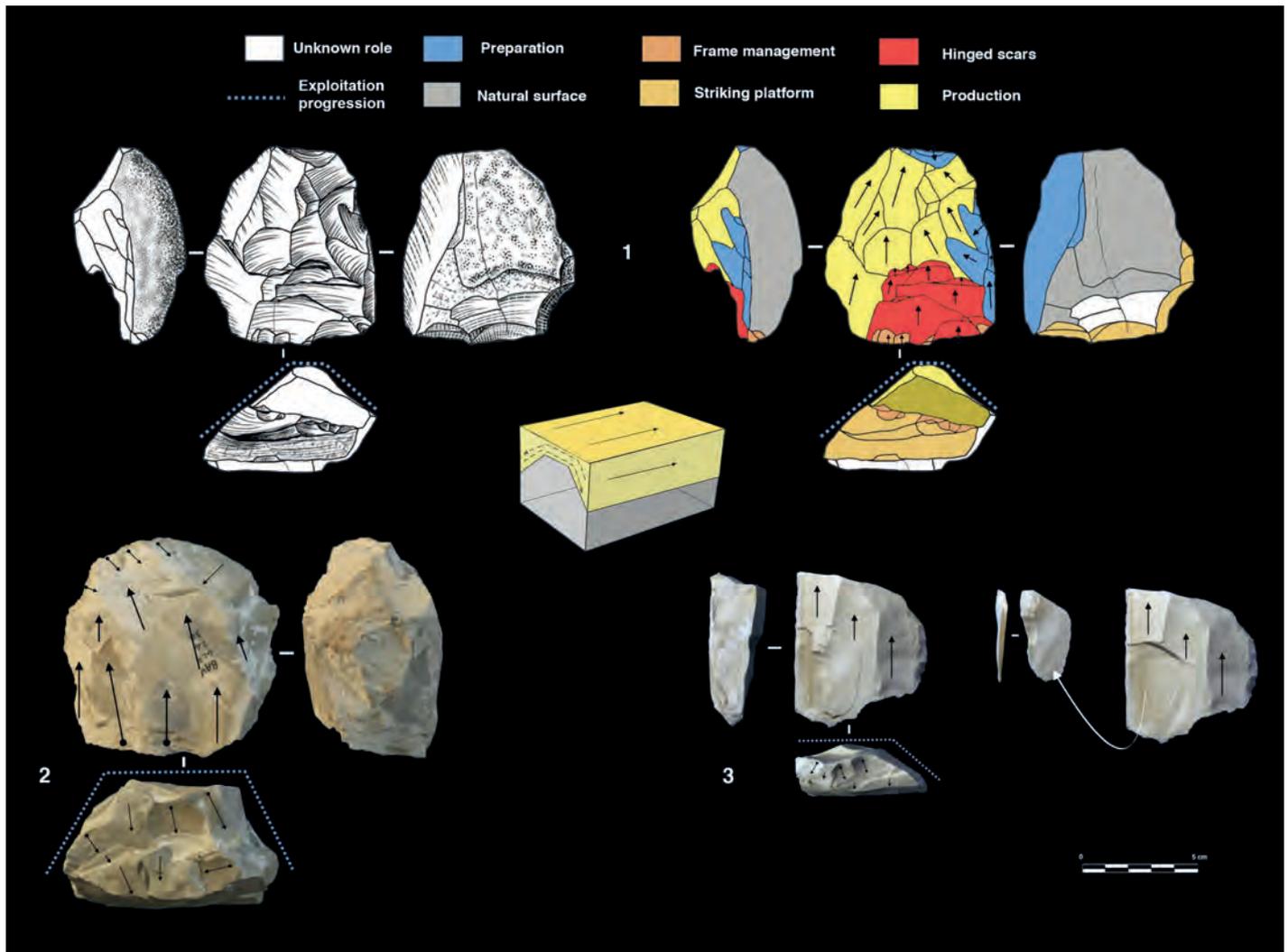


Fig 22. Bau de l'Aubesier. Semirotating cores. Sub-convergent core from sub-unit J4 (n.1); Unipolar core from sub-unit J4 (n.2); Refitting of unipolar semirotating core from sub-unit J2 (n.3).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g022>

If we compare the exploitation systems in detail, differences are again recognizable. The Levallois concept present at the Bau de l'Aubesier is totally absent at Payre. Flakes at Payre are mainly produced by secant planes exploitation, discoid systems, partial peripheral systems and trifacial cores. At the Bau de l'Aubesier, variability in flake production is principally due to parallel planes exploitation systems, including Levallois, while exploitation by secant planes plays a minor role.

Concerning tool composition and proportions, we again observe different trends at the two sites. Primarily, the tool kit proportion is higher at Payre than at the Bau de l'Aubesier, ranging from 11% to 29.5% at Payre, while at the Bau the l'Aubesier, tools represent between 7.2% and 17.8%, and in sublevels J3 and J2 they are totally absent. At Payre, the flake-tools are notches, denticulates and scrapers. Moreover, some Quina pieces, pebble-tools and some handaxes make up the heavy-duty component. At the Bau de l'Aubesier, the tools are on flakes and blades and are retouched by a marginal retouch that only slightly modifies the pieces, except for some truncated pieces and some partial bifacial tools (rostrum). This reduced importance

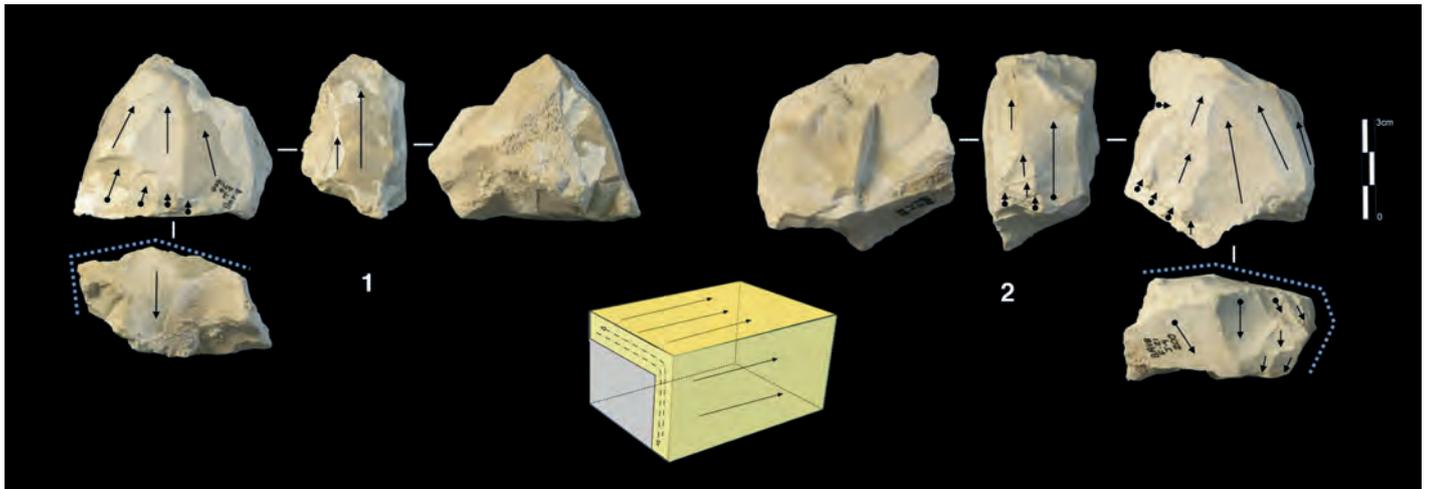


Fig 23. Bau de l'Aubesier. Convergent semirotating cores from sub-unit J4.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g023>

of the tool kit at the Bau de l'Aubesier can be explained by the use of core technologies based on predetermined systems, such as Levallois, which produce a blank form that does not need to be modified.

The common features between the sites are minor. The two sites share the use of unidirectional methods by parallel planes exploitation, even if at the Bau de l'Aubesier some types are

Table 8. Bau de l'Aubesier. Determined pieces. Numbers in brackets represent retouched pieces.

Levels	K2		K1-K		J4		J3		J2		J1-J	
	num	%	num	%	num	%	num	%	num	%	num	%
Flakes (Cortex >50%)	5	6.0	4	3.7	12(1)	6.5	3	10.0	2	25.0	10	12.0
Flakes (Cortex <50%)	11	13.1	-	0	20(1)	10.8	4	13.3	-	0	40	48.2
Centripetal flakes	13(2)	15.5	16(1)	15.0	39(11)	21.1	13	43.3	1	12.5	7(2)	8.4
Debordant flakes (chordal)	5(2)	6.0	5(1)	4.7	12	6.5	-	0	-	0	5	6.0
Unipolar flakes	10(1)	11.9	22(4)	20.6	30(4)	16.2	6	20.0	2	25.0	13(2)	15.7
Debordant unipolar flakes	3(1)	3.6	5(2)	4.7	4	2.2	-	0	-	0	1(1)	1.2
Bipolar flakes	4(2)	4.8	6(4)	5.6	2(1)	1.1	-	0	-	0	-	0
Debordant bipolar flakes	1(1)	1.2	-	0	1	0.5	-	0	-	0	-	0
Orthogonal flakes	-	0	-	0	1	0.5	-	0	-	0	-	0
Debordant Orthogonal flakes	-	0	-	0	1	0.5	-	0	1	12.5	-	0
Convergent/sub-convergent flakes	4(2)	4.8	5(1)	4.7	28(6)	15.1	2	6.7	-	0	1	1.2
Bladelet	1	1.2	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0
Blades	19(4)	22.6	19(3)	17.8	14(5)	7.6	1	3.3	1	12.5	3(1)	3.6
Crested blades	2	2.4	1	0.9	-	0	-	0	-	0	1	1.2
Kombewa	-	0	3	2.8	1	0.5	-	0	-	0	-	0
Macro-tools	2(2)	2.4	10(10)	9.3	1(1)	0.5	-	0	-	0	2(2)	2.4
Striking platform flakes	3	3.6	5	4.7	6	3.2	1	3.3	-	0	-	0
Shaping/retouching flakes	-	0	1	0.9	3	1.6	-	0	-	0	-	0
Rejuvenation flakes	-	0	2(1)	1.9	2(1)	1.1	-	0	-	0	-	0
Burin de Siret	1(1)	1.2	3(2)	2.8	8	4.3	-	0	1	12.5	-	0
Total	84 (18)	100	107 (29)	100	185 (31)	100	30	100	8	100	83(8)	100

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t008>



Fig 24. Bau de l'Aubesier. End products. On the left, flakes from parallel planes exploitation: centripetal flakes (n. 1 to 3), convergent flakes (n. 4 to 6), unidirectional and bidirectional flakes (n. 7 to 9). On the right, blades: convergent blades from unit J (n. 10 to 12) and from unit K (n. 13, 14 and 15), unidirectional blades from unit K (n. 13, 14 and 15).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g024>

Table 9. Payre. Proportions of retouched and unretouched pieces.

Levels	Gb		Ga		Fd		Fc		Fb		Fa	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Tools (flakes/handaxes/macro tools/pebbles)	26	22.8	238	29.5	10	9.4	12	18.2	3	11.5	73	23.2
Unretouched pieces (flakes/pebbles)	88	77.2	568	70.5	96	90.6	54	81.8	23	88.5	241	76.1
Total	114	100	806	100	106	100	66	100	26	100	314	99.9

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t009>

Table 10. Payre. Proportions of types of retouched pieces.

Levels	Gb		Ga		Fd		Fc		Fb		Fa	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Tools on flakes	18	69.2	166	69.7	6	60.0	9	75.0	2	66.7	45	61.6
Quina	3	11.5	10	4.2	-	0	-	0	-	0	2	2.7
Demi Quina	2	7.7	17	7.1	1	10.0	-	0	-	0	6	8.2
Handaxe	2	7.7	-	0	-	0	-	0	-	0	1	1.4
Partially shaped tools	1	3.8	4	1.7	1	10.0	-	0	-	0	5	6.8
Retouched pebbles	-	0.0	41	17.2	2	20.0	3	25.0	1	33.3	14	19.2
Total	26	100	238	100	10	100	12	100	3	100	73	100

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t010>

Table 11. Bau de l'Aubesier. Proportions of retouched pieces and blanks, excluding undetermined removals.

Levels	K2		K1-K		J4		J3		J2		J1-J	
	num	%	num	%	num	%	num	%	num	%	num	%
Retouched flakes	14	16.7	19	17.8	30	16.2	-	0	-	0	6	7.2
Shaped pieces	2	2.4	10	9.3	1	0.5	-	0	-	0	2	2.4
Unretouched flakes	68	81.0	78	72.9	154	83.2	30	100	8	100	75	90.4
Total	84	100	107	100	185	100	30	100	8	100	83	100

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t011>

absent. The main common features concern Payre units G and F and Bau de l'Aubesier unit K, where the Discoid system and the secant partial peripheral system were both found.

Possible reasons for the variability between the lithic assemblages of the two sites

Current archaeological data show a great versatility in Neanderthal technological behaviour. As we discussed in the introduction, the archaeological literature has for decades reflected the difficulty of relating this diversity to clear general, regional or local cultural packages. Traditions, land use and mobility, types of activities, duration of occupation, and sometimes demography, have been proposed, alone or in various combinations, as possible explanations for this variability over space and time. Given that we have only a few sites of Early Middle Palaeolithic (EMP) age (from the end of MIS 8 to MIS 7) in southern France, we have no evidence of changes in local demography. However, we can, we can at least examine the raw material availability and modes of procurement (land use and mobility), and the subsistence strategies (including site use and activities) reflected in our site assemblages, in order to try to better understand the variability in human behaviour during this time period.

The two sites which are the subject of this present study are located in a similar environmental setting, within the same region in south-eastern France, being (broadly speaking) located on opposite sides of the Rhône corridor. They are both in a more or less open cave or rock shelter, opening onto a slope of a narrow valley with a river, and close to low plateaus. Payre is closer to the Rhône Valley, while the Bau de l'Aubesier's environment is dominated by the nearby Mont Ventoux (1912 m elevation). Nonetheless, it is reasonable to assume that deposits that accumulated during the same time period at the two sites would have accumulated under similar conditions of climate and floral and faunal resource availabilities.

**Fig 25. Payre.** Quina tools from Unit G.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g025>

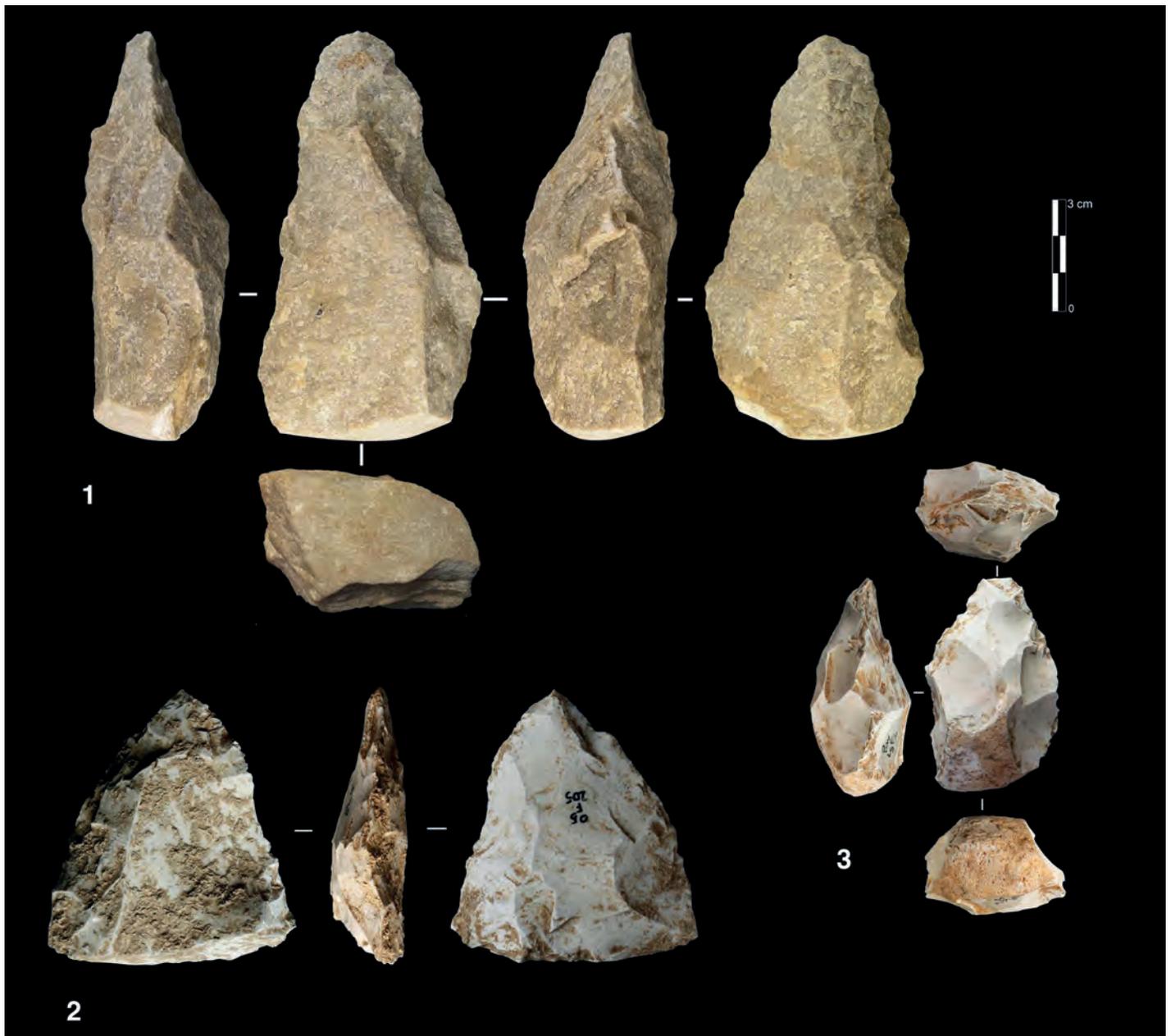


Fig 26. Payre. Bifaces from sub-unit Fa (n. 1 and 2) and from Gb (n. 3).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g026>

Despite this environmental similarity, however, the technological strategies and tool kits differ greatly, and few common features can be observed between the occupations of the two sites. We also see that at each site, there are differences between the layers, showing change in technological approaches through time. This diversity of strategies is therefore clearly not only due to the particular site but also reflects variability in strategies employed by the human groups living in this part of France at that time.

Raw material strategies. Flint procurement patterns at Payre indicate differences in land use through time, perhaps due to differences in the duration of occupation between units G and F. Unit G is considered to have recorded long-term occupations while unit F reflects

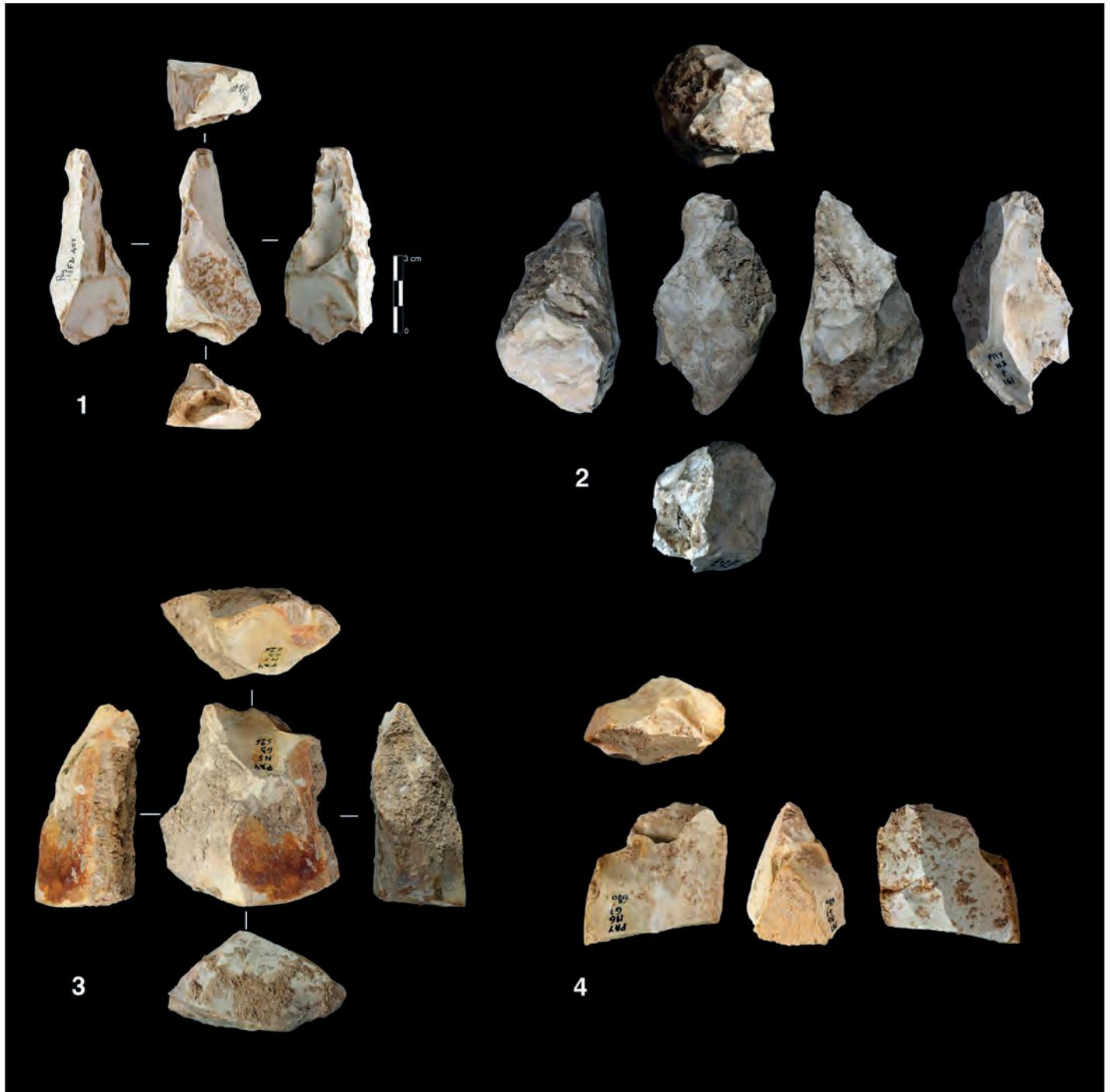


Fig 27. Payre. Partially shaped pieces from sub-units Ga (n. 1 and 2) and from Fa (n. 3 and 4)

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g027>

short-term occupations in a smaller cave (based on meso- and micro-wear studies on ungulate teeth) [104, 105]. For instance, for sub-level Gb, 11 flint types have been described [106, 107]. Most of the flint came from the southern plateau along the Rhône River, following a North-South axis. Flint was collected mainly on primary formations or at secondary formations such

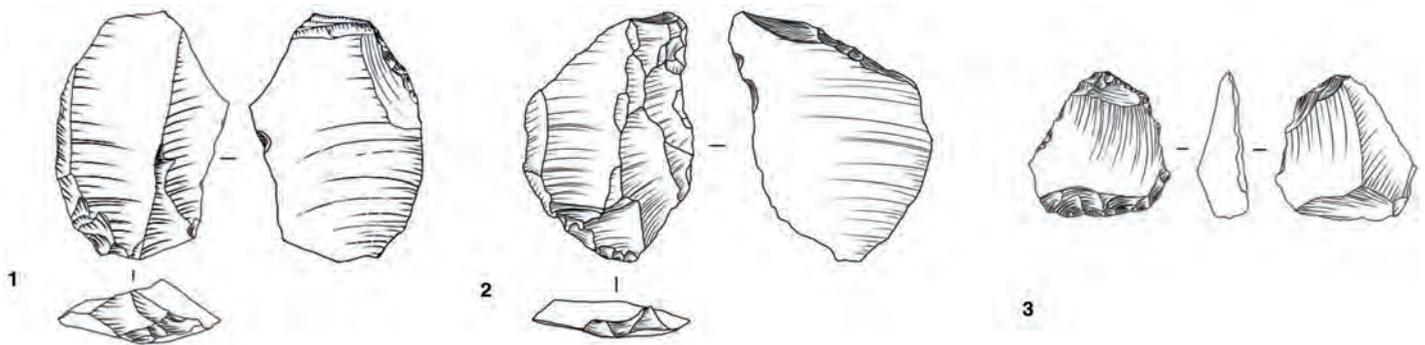


Fig 28. Bau de l'Aubesier. Truncated pieces from unit K (n. 1 and 2) and unit J4 (n.3).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g028>

as fluvial deposits, located from 5 to 15 km around the site, as fragments of nodules or large flakes. Some large flakes and nodules came from 30 km or small flakes from 60 km to the south of the site (reflecting partial reduction processes). The Rhône valley itself was rarely used for flint procurement. Conversely, in Unit F most of the flint was collected from alluvial deposits (90%). The exact location of the outcrops is therefore impossible to identify and only a maximum perimeter may be given. Ten types have been identified, some of which are also found in the unit G assemblage. Flint collecting was carried out more to the west of the site than is the case for unit G, but there was again some collecting in the southern area.

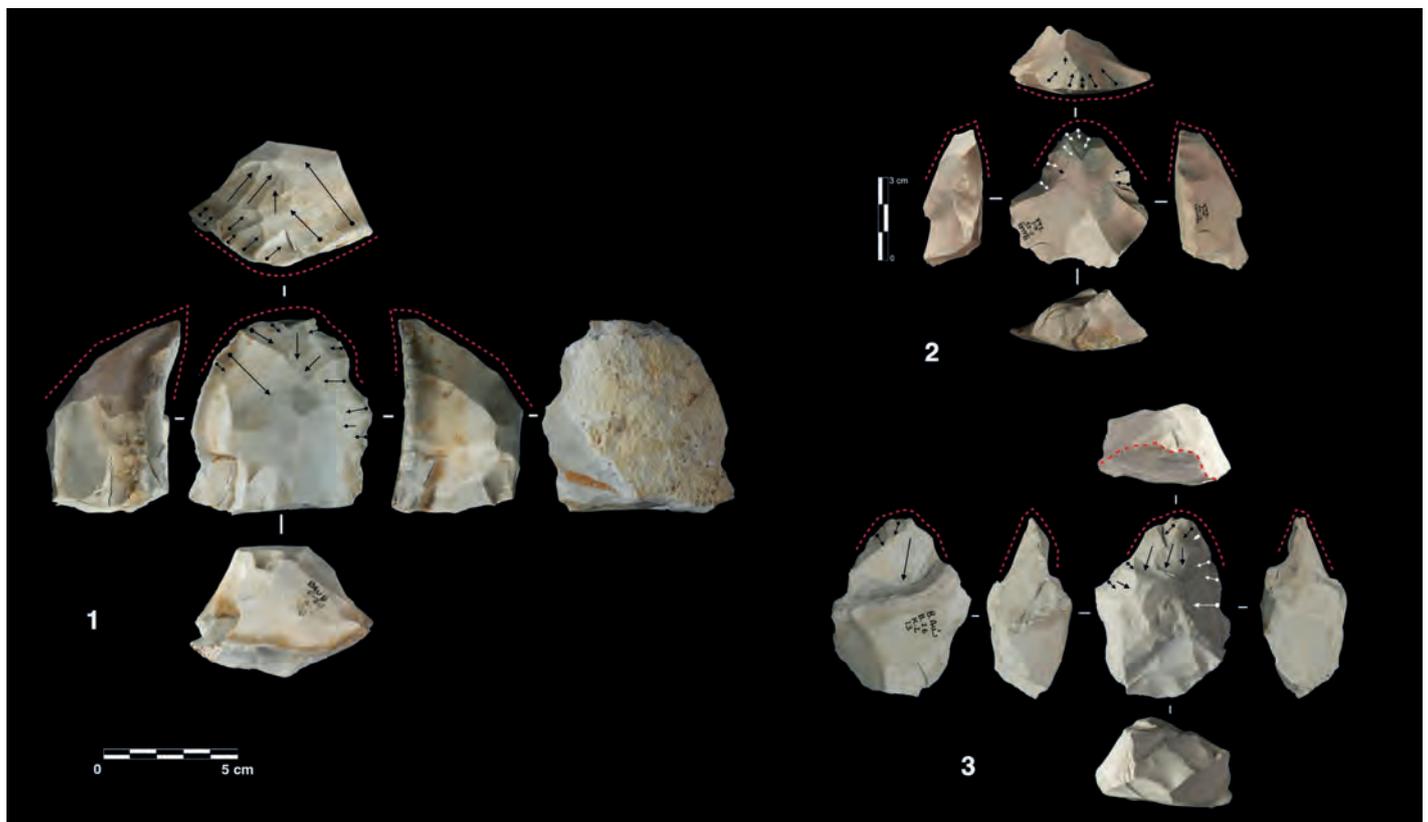


Fig 29. Bau de l'Aubesier. Partially shaped pieces from sub-unit K1 (n. 1 and 2) and sub-unit K2 (n. 3).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g029>

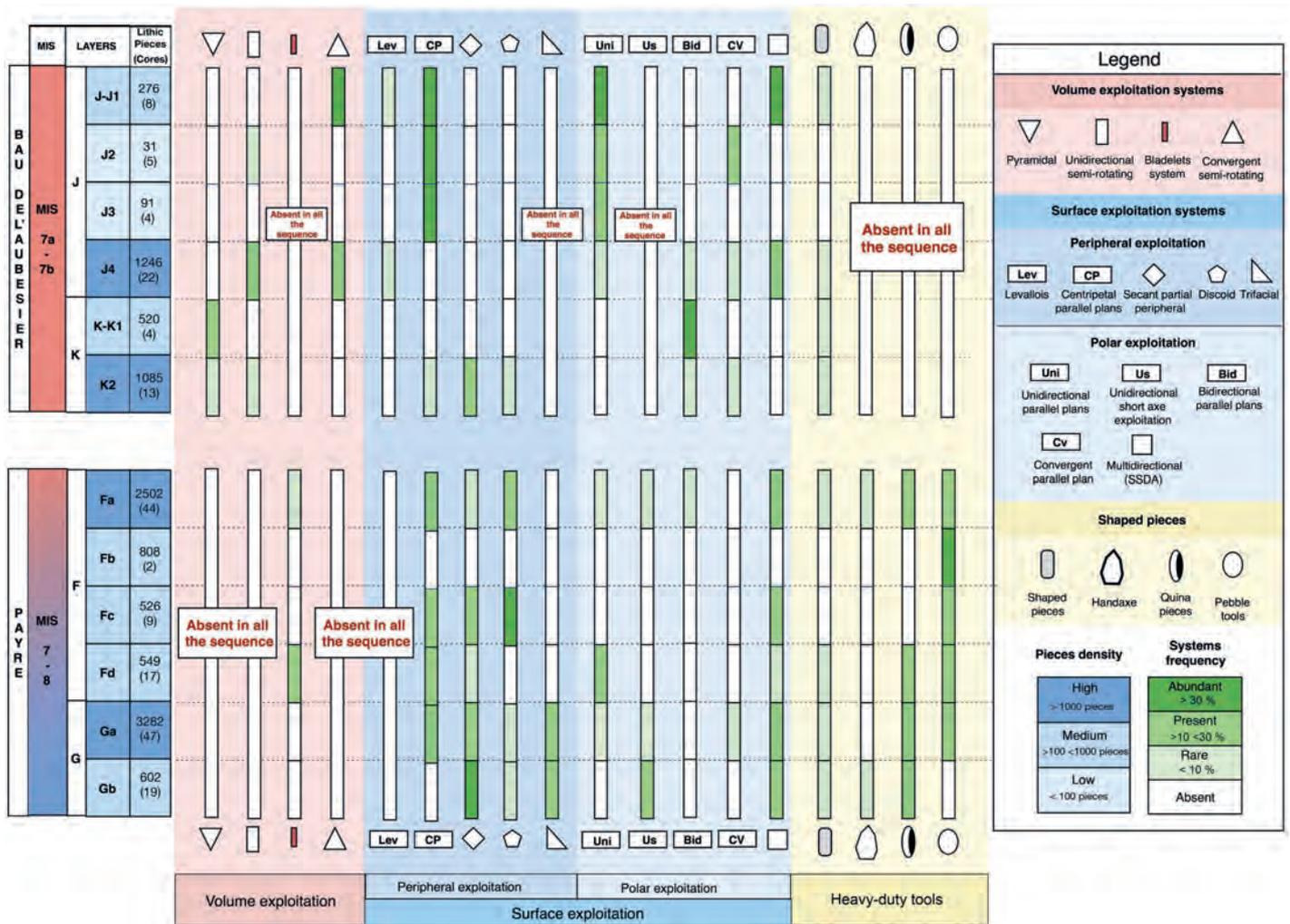


Fig 30. Summary of the reduction processes over the sequences at Payre and the Bau de l'Aubesier.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g030>

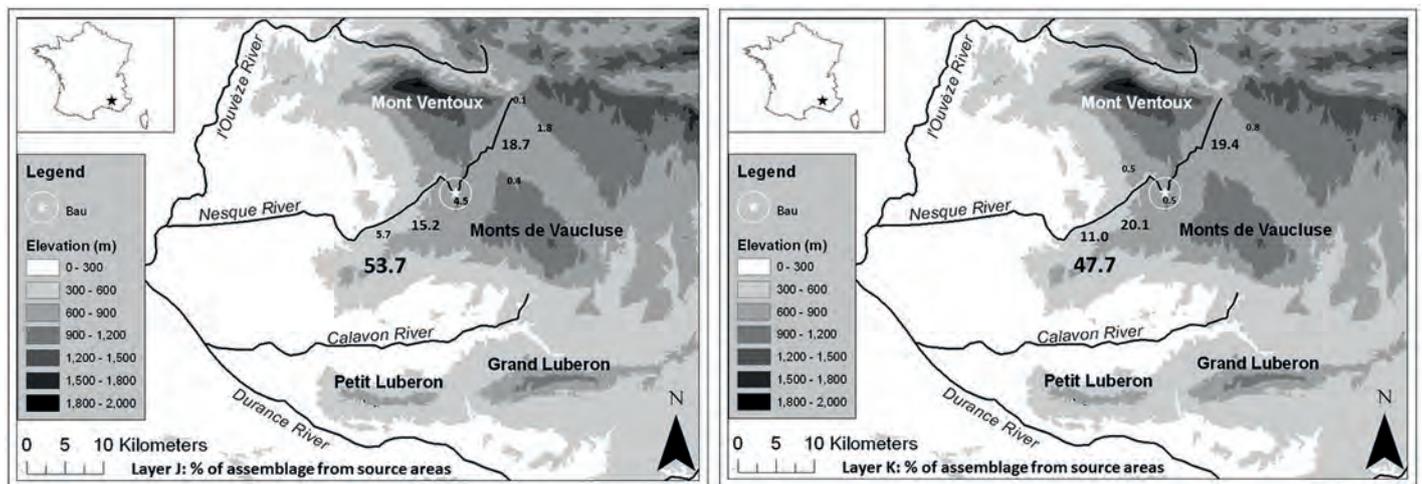


Fig 31. Bau de l'Aubesier. Map of sources of flint in layer J (on the the left) and K (on the right).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.g031>

Table 12. Bau de l'Aubesier. Sources of raw material in the assemblages.

Source Area	Direction	Layer J		Layer K	
		n.	%	n.	%
Nord Aurel	NE	1	0.1	-	0
St. Trinit	NE	15	1.8	7	0.8
Sault	NE	155	18.7	171	19.4
Nord des gorges	NW	-	0	4	0.5
St. Jean de Sault	E	3	0.4	-	0
Local	--	37	4.5	4	0.5
Faraud	SW	126	15.2	177	20.1
Méthamis	SW	47	5.7	97	11.0
Murs	SW	446	53.7	420	47.7
TOTAL	--	830	100	880	100

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178550.t012>

The basalt in the two basal units was collected at the foot of the site, from the remains of terraces on the slope. Primary sources of basalt are located upstream of the Payre River in the volcanic massif of the Coiron. Basalt was introduced as pebbles of various sizes or as large flakes; most of the pebbles were left whole. Despite the badly preserved superficial surfaces of the pebbles, some show percussion marks and could have been used as hammerstones. The elongated and flat pebbles were shaped into unifacial pebble-tools and left numerous cortical flakes. Crushing marks and flakes from rejuvenation attest to their use *in situ*.

Local quartz arrived as rare pebbles and above all as flakes. The reduction processes are partial [107]. The rare cores have two secant or orthogonal surfaces. As was the case for the flint, flaking was mainly performed by a series of unipolar removals, rarely centripetal. Some large pieces could be modified cores (crush marks on the cutting edges) or are large tools on fragments of pebbles. The flakes are thick and sometimes backed. Between 10 and 15% are retouched (one edge or convergent edges).

The marly and siliceous limestones were collected in the Payre or Rhône Rivers. Some fragments of the cave limestone were collected and just retouched. Pebbles were broken or shaped. Flakes are numerous, thin, largely cortical and small, and imported, as for quartz. Few are retouched. Two limestone cores in level Fa cannot be refitted with flakes. The flaking took place on small flat pebbles and cores with two secant surfaces.

Quartzite arrived as pebbles and above all as large and small flakes, collected possibly along the Rhône River. The large flakes, flaked from large cobbles outside of the site, are unretouched or retouched as large unifacial or bifacial tools (peripheral, pointed or transversal). The large flakes are cortical or partially cortical. Crushing marks on edges support a use for heavy activities. Only one piece could be considered as a core or a re-used broken bifacial tool. Small flakes could come from the rejuvenation of the heavy-duty tools or have been imported for unknown reasons, as with the large basalt tools on flakes.

At the Bau de l'Aubesier, almost the entire assemblage is in flint, but it has been possible to distinguish many different types of flint and track them back to source areas throughout the region, as well as evaluate a variety of characteristics of each source area that would influence hominins' choice of whether or not (or how much) to use it [108, 109, 110, 111, 112, 113, 114]. In all levels, a considerable proportion of the lithic assemblage has been patinated to such an extent that the pieces can only be identified as being flint, and no source can be attributed. There are also a few flint types for which sources have not been identified, but these account for a very small number of pieces. Taking these together with the patinated pieces, however, in

levels J-J4 together, the sources of 43.2% of the pieces are either unidentified or unidentifiable; in levels K-K2 these account for 51.7% of pieces.

Once these unidentified pieces are excluded, the small numbers of remaining pieces in the sub-layers make it more reasonable to combine sub-layers and deal with an overall layer J and an overall layer K. These two assemblages have similar sizes: 830 pieces in J, and 880 in K. A variety of attempts has been made to try to detect whether the patination of such a large number of pieces has biased the remaining sample (e.g., with patination affecting some flint types more than others, thereby selectively removing them from the sample). No such effect has been found, so we consider these samples to be representative of the overall use of raw material sources for each assemblage. In these layers, all of the material was obtained within 15 km of the site, with the bulk of it coming from source areas along a SW-NE trending axis (Fig 31).

In both layers, the assemblages are dominated by material from the Murs area, to the SW of the site, despite the fact that this is at the far end of the normal provisioning range (Table 12). Clearly, a distance-decay model, where raw materials would be less common the farther away their source is, does not apply in this case. There are some differences between the two layers in terms of the percentages of material from Murs among various typological categories, but in both layers all parts of the *chaîne opératoire* are present and common, suggesting that this raw material was imported as nodules or cores, and worked *in situ*.

Raw material from other sources to the SW is also common in both layers, such that overall 74.6% of pieces in layer J, and 78.8% of pieces in layer K, are from the SW area. Use of sources off the SW-NE axis is extremely minor, and variable. Use of the source closest to the Bau de l'Aubesier is also minor, especially in layer K (only 4 identified pieces), and we have as yet no explanation to suggest for that.

The use of sources to the NE (which include the one piece of quartzite) does follow a distance-decay pattern, and the overall percentage of pieces from those sources is very similar in the two layers (20.6% in layer J, 20.2% in layer K). There are however some noteworthy differences in the use of these materials for different typological categories. In the lowest layers, K-K2 together, the material from the NE is distributed among tool categories in much the same way as the material from the SW, suggesting that it, too, was imported and knapped *in situ*. In layer J, however, the material from the NE is more common among the retouched flakes, large flakes and blades than it is in the debris, small flakes or cores, suggesting that it was imported in a more finished form, representing a more specialised or careful use of that material than the material from the SW. For example, taking retouched and shaped items together, raw material from the NE makes up 27.3% of such items in layer J, but only 13.7% of them in layer K. On the other hand, material from the NE accounts for only 4.9% of cores in layer J, but 13.6% of cores in layer K. We can therefore propose that strategies for use of the landscape, reflected in the lithic assemblages, varied through time at the Bau de l'Aubesier.

Subsistence strategy. At Payre the spectrum of ungulates is mainly composed of red deer (*Cervus elaphus*), horse (*Equus mosbachensis*), bovines (*Bos primigenius* and *Bison priscus*) and rhinoceroses (*Dicerorhinus hemitoechus* and *D. kirchbergensis*). Carnivores are especially numerous in unit F. Among them, cave bear (*Ursus spelaeus*) is predominant, associated with other carnivores including some large predators such as wolf (*Canis lupus*), hyena (*Crocuta spelaea*) and cave lion (*Panthera (Leo) spelaea*) [115, 116, 117, 105]. This faunal list reveals a mildly cold climate and different biotopes, including forests, wooded prairie, steep rocky sides (Payre canyon), as well as open-steppe environments. The microfaunal remains indicate colder and steppic environments in units G and F [118, 119].

The occupation types were different in units G and F. In F, carnivores commonly inhabited the site, suggesting that hominid occupations alternated with carnivore denning [116, 105]. The study of the ungulate tooth microwear patterns attests to longer occupations in a larger

cave in unit G than in unit F, where the cave's size and ceiling height were reduced, in agreement with the smaller number of lithic artefacts and the taphonomical study of the faunal remains. Unit F was mostly a carnivore den with shorter-term human occupations [104, 105]. Unit G recorded longer-term occupations with a high anthropogenic impact on horses, deer and bovids, the three main hunted species [116].

The anthropogenic activities left numerous types of evidence at Payre. Ungulate bones were intensively cut-marked, broken, and some were burned. Fire was used in each layer, but there are no clear hearth structures other than in unit G. The lithic residues and use-wear analysis show evidence, among other things, of fish processing in units Fa and D and of the use of avian resources [120].

Similarities in the faunal corpus exist between units G and F [121, 116, 67, 105]. The main species which characterize the assemblages are cervids, bovines, horses and rhinoceros. The rhinoceros remains include only young and old individuals, but the three main species are represented by adults, young, and young adults. In unit G, mortality curves indicate hunting all through the year. In unit F, conversely, hunting was more frequent in the autumn. In the two units, rhinoceros remains are considered to be possibly mainly due to scavenging (since they consist of a few fragmented long bones and teeth), although for unit F there is some evidence of occasional hunting: 5 adult and young individuals are represented by more bones from the whole carcasses. These were probably obtained in the swamps of the Rhône Valley at the foot of the cave.

The difference between the two units is mainly due to the action of carnivores. In both units, faunal remains indicate the main anthropogenic accumulations. In unit F carnivores played a large role in the consummation of carcasses, and bear occupations were important: tooth marks indicate that these were secondary occupations after the departure of the humans. In unit F, carnivore tooth-marks are present on between 2 and 6% of the NR > 5 cm, but in unit G, the value is around 1%. Except for cave lion and wild cat, the same species of carnivores exist in the two units. Unit F is moreover largely dominated by remains of *Ursus spelaeus*. Bears settled in the cave for winter, alternating with human occupations; these are followed in abundance by wolves, hyenas and big cats using the site. In unit G, cave bears are less numerous, as are foxes, hyenas and wolves.

Lack of cut-marks on the different taxa of herbivores indicates that some small species were not brought by humans to the cave (roe deer, tahrs or boars). The middle- and large-sized herbivores attest conversely to human actions, which were more intense in unit F (cut-marks and bone breakage for marrow recovery). In both units, the anatomical proportions of ungulates and location of anthropogenic marks indicate primary butchery activities for cervids and secondary butchery activities for bovines, horses and rhinoceros (with the first skinning having taken place at the hunting location).

Burnt bones in the two units provide evidence of fire use, with the possible use of bones as the combustible. In unit G, one ash lens could be the remains of a fire place. Some bone retouchers attest to the use of bone [68].

At the Bau de l'Aubesier, Fernandez reports for layers J and K combined that the bones are highly fragmented, but there are abundant teeth. He was able to identify a minimum of 38 individual animals. Most of these were of large animals: 17 *Bos primigenius*, 12 *Equus mosbachensis*, 1 *Dicerorhinus hemitoechus*, and 1 *Megaceros giganteus*. There was also 1 *Cervus elaphus*, 2 *Capreolus capreolus*, 2 *Hemitragus cedrensis*, 1 *Dama dama*, and 1 *Rupicapra rupicapra*. From this, he suggests that these lowest levels are probably from MIS 7 or early 6, and that the climate was rigorous, with an open landscape. The two main species hunted, aurochs and horse, were both large animals but with very different behaviours, necessitating two separate hunting strategies [122, 123, 124, 125]. The seasons of death of the ungulates indicate use of

the site all throughout the year, suggesting either that the assemblages consist of palimpsests of several short-term occupations, or that they are due to long-term occupations. There is little or no sign of carnivore activity, or of the use of fire by the hominins. Given the poor state of the bones, it is unclear how much butchery was done at the site.

Payre and the Bau de l'Aubesier in the MIS 9–7 European context: Traditions?

The comparison between Payre and the Bau de l'Aubesier shows differences in technology, but does not show any significant divergence in terms of raw material strategies. At both sites, we see a local and semi-local provisioning with good quality flint, and some other local rocks. Raw materials were collected in the form of nodules, pebbles, flakes and slabs. Flint was largely employed for flaking at Payre even if a minor quantity of quartz was used as well. At the Bau de l'Aubesier the raw material used was flint except for one piece of quartzite. For both levels considered at the Bau, flint was procured within 15 km of the site, preferentially along a NE-SW axis. At neither site do we see any undeniable relationship between changes through time in core technologies or tool kits and mode of flint procurement. At Payre, however, local stones (basalt and quartzite) were shaped to produce bifaces and pebble tools. These types of tools are absent at the Bau de l'Aubesier.

How can we account for these technological differences? There are no signs of different specialized activities at either site. The sites are, for instance, not solely butchery sites. The subsistence strategies at both sites show that faunal resources were treated and consumed *in situ*. Herbivores were the main species hunted and each site is characterized by both short and long-term seasonal occupations. Site function can be indirectly related to intensity of tool use, but in both cases here we find limited retouch, rarely modifying the shape of the blank. This type of rejuvenation does not indicate an intense site use, but instead reflects choices in tool kits. Micro-wear studies at Payre confirm this, indicating that multiple domestic activities were performed on the site whatever the duration of occupations [57, 120]. Thus the raw material procurement and subsistence strategies do not account for the technological differences observed between Payre and the Bau de l'Aubesier, nor for changes between levels at either site.

This then seems to bring us back to the debate of Bordes vs. Binford on the importance of the role of activities vs. cultural traditions. Unfortunately, with so few known sites of this age, any changes in demography that can have affected the area are unknown, and whatever they may have been, they are unlikely to have influenced the types of reduction strategies practiced in each level of a single site. Still, whether or not populations increased during this period of time, it is probable that relationships between Neanderthal groups on the two sides of the Rhône River were limited. The river would have been hardly passable most of the time, and would have been a formidable natural barrier between regions.

To evaluate the idea of traditions, the technical behaviour observed at Payre and the Bau de l'Aubesier must of course be seen in the context of the variability of the Western European EMP (Table G in [S3 File](#)). The coexistence of some handaxes and dominant standardized core technologies in the Payre sequence is a typical pattern of the EMP, with persistence of residual bifacial tools in some sites as late as MIS 6 [12, 126, 127, 128, 129, 130, 131]. The presence of the Levallois core technology at the Bau de l'Aubesier is another technological feature shared by similarly-aged assemblages. On the other hand, some particular technological features characterise each assemblage. The volumetric blade production at the Bau de l'Aubesier, dated to the end of MIS 7, provides evidence that this type of technology is older than previously shown in southern France, where until now it had been dated to the end of MIS 6 and the beginning of MIS 5 [42, 45, 46, 47]. In a broader comparison, the only other site in southern Europe with

a blade production earlier than MIS 5 is Cave d'Olivo located in northern Italy, which dates back to MIS 9 [10, 132]. As at the Bau de l'Aubesier, at that site there is also early evidence of Levallois core technology. Moreover, the semi-pyramidal cores related to the blade production at Cave dall 'Olivo and partially at the Bau de l'Aubesier are unusual for the EMP, where the most common reduction systems are linked to prismatic cores exploited through a rotating and semi-rotating rhythm.

The production of bladelets at Payre, even if uncommon, is another noteworthy behaviour which is rare in the EMP. The intentional production of bladelets is not commonly recorded until the final phases of the Middle Palaeolithic (MIS 4–3). It has been noted at the sites of El Castillo and Cueva Morin in Spain [133], at Champ Grand [134, 135] and Combe Grenal in France [136], at Fumane and at Grotta del Cavallo in Italy [137, 138, 139], and at Balver Höhle in Germany [140]. Recently, a bladelet production dated back to MIS 5 has been described at the site of Riparo del Molare in southern Italy [141].

Focusing our comparison on south-eastern France, where Payre and the Bau de l'Aubesier are located, a more few sites can help us to propose a regional scenario. The presence of the Levallois technology in south-eastern France during the EMP is well known. The sequences of Orgnac 3, covering a span time from MIS 9 to 8, show a gradual development of Levallois technology with a decrease in bifacial tools [142, 143, 144]. The association of a few bifaces and bifacial tools and dominant core technologies brings together Orgnac 3 and Payre, except that the Levallois technology is lacking at Payre (except for some possible pieces introduced into the site in unit F).

The blade production observed at the Bau de l'Aubesier may be compared to what is described at Baume Bonne with both Levallois and blade technologies dated to the MIS 6/5. The sequence of Baume Bonne, dated from MIS 10 to MIS 5, is long and complex, with changes in technical behavior through time [145, 146]. The early phases, units I and II (MIS 10 to 8), show a coexistence of bifaces and pebble tools with a production of flakes by discoid and SSDA technologies. In MIS 8, the Levallois technology is present and is associated with rare bifaces. During the MIS 6 and 5, the Levallois is stabilized and diversified in various methods including the production of blades [46]. The lack of Levallois evidence associated with shaping processes in the earliest phase at Baume Bonne constitutes a trend comparable to what is recorded in units G and F at Payre, while the development of the Levallois and blade technologies in the recent phases at Baume Bonne only partially corresponds to what is recognized at the Bau de l'Aubesier. The Levallois core technology at Baume Bonne is performed by various methods (convergent, centripetal, unipolar) while at the Bau de l'Aubesier only the centripetal method is employed. Moreover, at the Bau de l'Aubesier, blade production is exclusively made by volumetric systems (pyramidal and prismatic) while at Baume Bonne, blades are obtained by both a volumetric and a surface management (Levallois) system. This is also the case for Baume Flandin, close to Payre and dated to the MIS 5e [42, 44], with blade *débitage* by a Levallois concept and a *débitage* directly on flint slabs. This *débitage* is associated with a Levallois flake technology in the same level. Thus we see a complex situation, where some of the technical characteristics of Payre resemble those found at other sites around the region, although not always in deposits of the same age, and some of the technical characteristics of the Bau also resemble those found at some of the same sites, but at different times, in addition to possible resemblances between the Bau and still other sites. There does not seem to be a simple pattern emerging, which we could attribute to any one or several factors.

Conclusion

Technological behaviours recognized at Payre and the Bau de l'Aubesier shared features typical of the broader EMP such as, on the one hand, the presence of handaxes, and on the other the

use of Levallois and laminar core technologies. However, differences between the sites appear in the reduction systems employed (volumetric and Levallois concepts only observed at the Bau de l'Aubesier), types of end-products and tool kits. This variability does not seem to be linked to external factors such as the raw materials or other activities. The two sites are located within the same region, on opposite sides of the Rhône River valley, so their environments would have been similar, and we could expect more common features between them. It may be that this particular geographical situation—on opposite sides of a major river—is in fact one of the reasons which contributed to maintaining distinct technological traditions even if the sites are contemporary. The results at Payre and the Bau de l'Aubesier are an excellent illustration of the diversity of technological strategies employed by the human groups of the EMP. They demonstrate that the trajectory of behavioural changes in material culture is far from homogeneous and monolithic in time and space. Depending on the chronological and geographical scale, the classical subdivision between Lower and Middle Palaeolithic must be revised to describe a complex and multifaceted archaeological reality with a rhythm which remains to be described. The debate about the meaning of the diversity of Middle Palaeolithic assemblages, Early or Late, is far from over.

Finally, we suggest that the EMP should be understood in terms of its diversity of strategies, the use of which fluctuated through time and across space, rather than having certain sets of behaviour tied to certain regions, or, by extension, to the “cultural groups” that might have lived there.

[147]. The EMP phase may predate the development of regional cultural similarity and technological behaviours in the Late Middle Palaeolithic, which favoured intragenetic gene-flow and the emergence of the classical Neanderthals [148].

Supporting information

S1 File. Materials and methods.

(DOCX)

S2 File. Table A. Payre, type A and type B flakes. Table B. Payre, type of platform of type A and B flakes. Table C. Bau de l'Aubesier, type A and type B flakes. Table D. Bau de l'Aubesier, type of platform of type A and type B flakes. Table E. Payre, comparison of the flake technologies with the incidence of retouch for each category. Numbers in brackets indicate the number of retouched pieces for each category. The % ret column indicates the percentage of retouched pieces for each category. Table F. Bau de l'Aubesier, comparison of the flake technologies with the incidence of retouch for each category. Numbers in brackets indicate the number of retouched pieces for each category. The % ret column indicates the percentage of retouched pieces for each category.

(DOCX)

S3 File. Table G. Data of European sites from MIS 9 to 7. Payre and Bau de l'Aubesier are in bold. Certain technological identification (X). Uncertain technological identification (X?).

(DOCX)

Acknowledgments

This study was scientifically supported by Mr Xavier Delestre, Conservator in Chief of the Service Régional de l'Archéologie, Ministry of Culture, and Mr Pierre-Jean Texier.

We would like to thank the editor and the two reviewers for their careful reading of an earlier draft of this paper, and their comments which helped us to enhance and enrich the paper.

They encouraged us to go more deeply into the question of Early Middle Palaeolithic diversity, and we greatly appreciate their advice.

Author Contributions

Conceptualization: LC MHM LW.

Data curation: LW PF MHM LC.

Formal analysis: LC.

Funding acquisition: LC MHM LW.

Investigation: LC MHM PF LW.

Methodology: LC.

Project administration: LC MHM.

Resources: LC MHM.

Software: LC.

Supervision: MHM.

Validation: LC MHM LW.

Visualization: LC MHM.

Writing – original draft: LC MHM LW.

Writing – review & editing: LC MHM LW.

References

1. Clark G (1969) *World Prehistory. A New Outline.* Cambridge University Press.
2. Thieme H (1997) Lower Palaeolithic hunting spears from Germany. *Nature* 385: 807–810. <https://doi.org/10.1038/385807a0> PMID: 9039910
3. Richter D, Krbetschek M (2015) The age of the Lower Paleolithic occupation at Schöningen. *Journal of Human Evolution* 89:46–56. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2015.06.003> PMID: 26212768
4. Boëda E (1994) *Le concept Levallois: variabilité des méthodes.* Monographie du CRA 9, CNRS éditions, Paris.
5. Adler DS, Wilkinson KN, Blockley S, Mark DF, Pinhasi R, Schmidt-Magee BA, et al. (2014). Early Levallois technology and the Lower to Middle Paleolithic transition in the Southern Caucasus. *Science* 6204/ 345: 1609–1613. <https://doi.org/10.1126/science.1256484> PMID: 25258079
6. Álvarez-Alonso D (2014) First Neanderthal settlements in northern Iberia: The Acheulean and the emergence of Mousterian technology in the Cantabrian region. *Quaternary International* 326: 288–306.
7. Delagnes A, Meignen L (2006). Diversity of lithic production systems during the Middle Paleolithic in France. In: Hovers E, Kuhn SL Editors. *Transitions before the transition.* Springer: 85–107.
8. Dibble H, Bar-Yosef O (1995). *The definition and interpretation of Levallois technology.* Madison WI: Prehistory.
9. Fontana F, Nenzioni G, Peretto C (2010) The southern Po plain area (Italy) in the mid-late Pleistocene: Human occupation and technical behaviours. *Quaternary International* 223–224: 465–471.
10. Fontana F, Moncel MH, Nenzioni G, Onorevoli G, Peretto C, Combier J (2013) Widespread diffusion of technical innovations around 300,000 years ago in Europe as a reflection of anthropological and social transformations? New comparative data from the western Mediterranean sites of Orgnac (France) and Cave dall'Olio (Italy). *Journal of Anthropological Archaeology* 32/4: 478–498.

11. Gamble C, Roebroeks W (1999) The Middle Paleolithic: a point of inflexion. In: Roebroeks W, Gamble C Editors. *The Middle Paleolithic occupation of Europe*. Leiden: Leiden University Press: 3–21.
12. Moncel M-H, Moigne A-M, Youssef S, Combier J (2011) The emergence of Neanderthal technical behaviour: New evidence from Orgnac 3 (Level 1, MIS 8), South-eastern France. *Current Anthropology* 52/1: 37–75.
13. Moncel M-H, Moigne A-M, Combier J (2012) Towards the Middle Palaeolithic in Western Europe: The case of Orgnac 3 (South-Eeastern France). *Journal of Human Evolution* 63(5): 653–666. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2012.08.001> PMID: 23040107
14. Picin A, Peresani M, Falguères C, Gruppioni G, Bahain J-J (2013) San Bernardino Cave (Italy) and the Appearance of Levallois Technology in Europe: Results of a Radiometric and Technological Reassessment. *Plos ONE* 8 (10): 76–82.
15. Roebroeks W, Tuffreau A (1999) Paleoenvironment and settlement patterns of the northwest European Middle Paleolithic. In: Roebroeks W, Gamble C Editors. *The Middle Paleolithic occupation of Europe*. Leiden: Leiden University Press: 121–138.
16. Soriano S. (2000) *Outillage bifacial et outillage sur éclat au Paléolithique ancien et moyen: coexistence et interaction*. Doctoral Thesis, Université Paris X-Nanterre.
17. White M, Ashton N. (2003) Lower Palaeolithic Core Technology and the Origins of the Levallois Method in North-Western Europe. *Current Anthropology* 44(4):598–609.
18. Wiśniewski A. (2014) *The beginnings and diversity of Levallois methods in the early Middle Palaeolithic of Central Europe*. *Quaternary International* 326–327:364–80.
19. Moncel MH, Arzarello M, Peretto C. (2016) Editorial. The Holstainian Eldorado. *Quaternary International* 409: 1–8.
20. Lamotte A, Tuffreau A (2001) Les industries acheuléennes de Cagny (Somme) dans le contexte de l'Europe du Nord-ouest. In: Tuffreau A Editor. *L'Acheuléen Dans La Vallée de La Somme et Paléolithique Moyen Dans Le Nord de La France: Données Récentes*; CERP: 149–153.
21. Lamotte A (1995) Données nouvelles sur l'Acheuléen de l'Europe du Nord-Ouest. *Bulletin de la Société préhistorique française* 92: 193–200.
22. Tuffreau A (1995) The variability of Levallois technology in Northern France and neighbouring areas. In: Dibble HL, Bar-Yosef O Editors. *The Definition and Interpretation of Levallois Technology*. Prehistory Press, Madison: 413–427.
23. Tuffreau A (1987) *Le Paléolithique inférieur et moyen du nord de la France (Nord, Pas-de-Calais, Picardie) dans son cadre stratigraphique*. Doctoral Thesis, Université de Lille.
24. Tuffreau A, Lamotte A, Govaal E (2008) Les Industries acheuléennes de la France septentrionale. *L'Anthropologie* 112: 104–139.
25. Terradillos-Bernal M, Rodríguez-Álvarez X-P (2014) The influence of raw material qualities in the lithic technology of Gran Dolina (Units TD6 and TD10) and Galería (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A view from experimental archeology. *Comptes Rendus Palevol* 13(6):527–42.
26. Terradillos-Bernal M, Díez Fernández J-C (2012) La transition entre les Modes 2 et 3 en Europe: le rapport sur les gisements du Plateau Nord (Péninsule Ibérique). *L'Anthropologie* 116(3): 348–363.
27. Olle A, Mosquera M, Rodríguez X.P, de Lombra-Hermida A, García-Antón M.D, García-Medrano P, et al. (2013) The Early and Middle Pleistocene technological record from Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain). *Quaternary International* 295: 138–167.
28. García-Medrano P, Ollé A, Mosquera M, Cáceres I, Carbonell E. (2015) The nature of technological changes: The Middle Pleistocene stone tool assemblages from Galería and Gran Dolina-subunit TD10.1 (Atapuerca, Spain). *Quaternary International* 368: 92–111.
29. Santonja M, Pérez-González A, Panera J, Rubio-Jara S, Méndez-Quintas E (2016) The coexistence of Acheulean and ancient Middle Palaeolithic techno-complexes in the Middle Pleistocene of the Iberian Peninsula. *Quaternary International* 411 (Part B): 367–377.
30. Peretto C, Arzarello M, Bahain J-J, Boulbes N, Dolo J-M, Douville E, et al. (2016) The Middle Pleistocene site of Guado San Nicola (Monteroduni, Central Italy) on the Lower/Middle Palaeolithic transition. *Quaternary International* 411: 301–315.
31. Révillion S (1995) Technologie du débitage laminaire au Paléolithique moyen en Europe septentrionale: état de la question. *Bulletin de la Société préhistorique française* 92(4): 425–442.
32. Révillion S, Tuffreau A (1994) Valeur et signification du débitage laminaire du gisement paléolithique moyen de Seclin Nord. In: *Les industries laminaires au Paléolithique moyen* Tuffreau A, Révillion S Editors. *Dossier de Documentation Archéologique*; 18, CNRS Éditions, Paris:19–43.
33. Heinzelin J, Haesaerts P (1983) Un cas de débitage laminaire au Paléolithique ancien: Croix-l'Abbé à Saint-Valéry-sur-Somme. *Gallia préhistoire* 26(1): 189–201.

34. Koehler H (2008) L'apport du gisement des Osiers à Bapaume (Pas-de-Calais) au débat sur l'émergence du Paléolithique moyen dans le Nord de la France. *Bulletin de la Société préhistorique française* 105(4): 709–735.
35. Locht J-L, Antoine P, Hérisson D, Gadebois G, Debenham N (2010) Une occupation de la phase ancienne du Paléolithique moyen à Therdonne (Oise). *Chronostratigraphie, production de pointes Levallois et réduction des nucléus*. *Gallia Préhistoire* 52: 1–32.
36. Adam A, Tuffreau A (1973) Le gisement paléolithique ancien du Rissori, à Masnuy-Saint-Jean (Hainaut, Belgique). *Bulletin de la Société préhistorique française* 70(1):293–310.
37. Adam A (1991) Le gisement paléolithique moyen du Rissori à Masnuy-Saint-Jean (Hainaut, Belgique): premiers résultats. In: *Paléolithique et Mésolithique du Nord de la France, Nouvelles recherches II*, Tuffreau A Editor, CERP 3, Lille: 41–52.
38. Conard NJ (1990) Laminar lithic assemblages from the last interglacial complex in Northwestern Europe. *Journal of Anthropological Research* 46: 243–262.
39. Conard NJ, Adler DS (1997) Lithic Reduction and Hominid Behavior in the Middle Palaeolithic of the Rhineland. *Journal of Anthropological Research*: 147–175.
40. Locht J-L, Caspar JP, Djemmali N, Coutard S, Kiefer D, Koehler H, et al. E (2008) Le gisement paléolithique moyen d'Angé (Loir-Et-Cher). *Industries lithiques et chronostratigraphie*. DFS, INRAP Centre-ile-de-France, SRA Centre.
41. Gouédo JM. (1994) Remontage d'un nucléus à lames du gisement micoquien de Vinneuf (Yonne). In: *Les Industries laminaires au Paléolithique moyen*, Tuffreau A, Revillon S Editors, Dossier de Documentation Archéologique 18, CNRS Éditions, Paris: 77–102.
42. Moncel MH. (2005) Baume Flandin et Abri du Maras: deux exemples de débitage laminaire du début du Pléistocène supérieur dans la Vallée du Rhône (sud-est, France). *L'Anthropologie* 109 (3): 451–480.
43. Moncel MH, Auguste P, Ayliffe L, Bahain JJ, Bocherens H, Bouteaux A, et al. (2008) Des occupations humaines de la moyenne vallée du Rhône de la fin du Pléistocène moyen et du début du Pléistocène supérieur. *Mem.Soc. Prehist.Fr.* XLVI: 336.
44. Moncel MH, Crégut-Bonnoure É, Daujeard C, Lartigot AS, Lebon M, Puaud S et al. (2008) Le site de la baume Flandin (commune d'Orgnac-l'Aven) : nouvelles données sur ce gisement du Paléolithique moyen. *Comptes Rendus Palevol* 7(5):315–325.
45. Blaser F, Bourguignon L, Sellami F, Rios Garaizar J (2012) Une série lithique à composante laminaire dans le Paléolithique moyen du Sud-Ouest de la France: le site de Cantalouette 4 (Cressy, Dordogne, France). *Bulletin de la Société préhistorique française* 109(1): 5–33.
46. Gagnepain J, Gaillard C (2003) La grotte de la Baume Bonne (Quinson, Alpes de Haute-Provence): synthèse chronostratigraphique et séquence culturelle d'après les fouilles récentes (1988–1997). In: *La grotte de la Baume Bonne (Quinson, Alpes de Haute-Provence): synthèse chronostratigraphique et séquence culturelle d'après les fouilles récentes (1988–1997)*. BAR: 73–86.
47. Gagnepain J, Gaillard C, Notter O (2004) La composante laminaire dans les industries lithiques du Paléolithique moyen du Verdon (sud-est de la France). In: *Le Paléolithique moyen*. [The Middle Palaeolithic], Actes du colloque UISPP, Université de Liège, 2001, Section 5, Bar International Séries, 1239: 57–65.
48. Iovita R, McPherron SP (2011) The handaxe reloaded: A morphometric reassessment of Acheulian and Middle Paleolithic handaxes. *Journal of Human Evolution* 61(1):61–74. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2011.02.007> PMID: 21496877
49. Soressi M (2002) Le Moustérien de tradition acheuléenne du sud-ouest de la France. Doctoral Thesis, University of Bordeaux, Bordeaux.
50. Soressi M. (2004) From the Mousterian of Acheulian Tradition Type A to Type B: a change in technical tradition, raw material, task, or settlement dynamics? In: Conard N J Editor. *Settlement dynamics of the Middle Paleolithic and Middle Stone Age; Volume II*. Kerns Verlag, Tübingen: 343–366.
51. Ruebens K. (2013) Regional behaviour among late Neanderthal groups in Western Europe: A comparative assessment of late Middle Palaeolithic bifacial tool variability. *Journal of Human Evolution* 65 (4):341–62. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.06.009> PMID: 23928352
52. Brenet M, Chadelle JP, Claud É, Colonge D, Delagnes A, Deschamps M, et al. (2016) The function and role of bifaces in the Late Middle Paleolithic of southwestern France: Examples from the Charente and Dordogne to the Basque Country. *Quaternary International*. 2016 In press <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.quaint.2015.12.052>
53. Koehler H (2011) Comportements et identité techniques au Paléolithique moyen (Weichsélien ancien) dans le bassin parisien: une question d'échelle d'analyse? Doctoral Thesis, University of Nanterre, Presses Universitaires de Paris Ouest.

54. Chevrier B, Koehler H (2013) Approche multiscalaire et Préhistoire: Proposition Pour un renouvellement de la vision géographique et culturelle du Paléolithique inférieur et moyen. Rencontre jeunes chercheurs—21–22 novembre 2013, Université de Franche-Comté (Frasne, 25): 1–15
55. Rocca R (2013) Peut-on définir des aires culturelles au Paléolithique inférieur? Originalité des premières industries lithiques en Europe centrale dans le cadre du peuplement de l'Europe. Doctoral Thesis University Paris Ouest Nanterre la Défense, France.
56. Aureli D, Rocca R, Lemorini C, Modesti V, Scaramucci S, Milli S, et al. (2016) Mode 1 or mode 2? 'Small tools' in the technical variability of the European Lower Palaeolithic: The site of Ficoncella (Tarquini, Lazio, central Italy). *Quaternary International* 393:169–84.
57. Baena J, Moncel M-H, Cuartero F, Chacón Navarro MG, Rubio D (2014) Late Middle Pleistocene genesis of Neanderthal technology in Western Europe: The case of Payre site (south-east France). *Quaternary International*. 2014 in press. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.quaint.2014.08.031>
58. Monnier GF (2006) The Lower/Middle Paleolithic Periodization in Western Europe: An Evaluation. *Current Anthropology* 47:709–744.
59. Monnier GF, Missal K (2014) Another Mousterian Debate? Bordian facies, chaîne opératoire technocomplexes, and patterns of lithic variability in the western European Middle and Upper Pleistocene. *Quaternary International* 350:59–83.
60. Mathias C (2016) After the Lower Palaeolithic: Lithic ramification in the early Middle Palaeolithic of Orgnac 3, layer 2 (Ardèche, France). *Quaternary International* 411: 193–201.
61. Richter J (2011) When did the Middle Paleolithic begin? In: Conard NJ, Richter Jr Editors, Neanderthal lifeways, subsistence and technology: one hundred fifty years of Neanderthal study. New York; Springer:7–14.
62. Richter J (2016) Leave at the height of the party: A critical review of the Middle Paleolithic in Western Central Europe from its beginnings to its rapid decline. *Quaternary International*. 2016 in press <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.quaint.2016.01.018>
63. Binford L, Binford S (1966) A preliminary analysis of functional variability in the Mousterian of Levallois facies. *American Anthropologist* 68: 238–295.
64. Binford L (1973) Interassemblage variability—the Mousterian and the functional argument. In: Renfrew C Editor, *The Explanation of Culture Change*. Duckworth, London: 227–254.
65. Bordes F, de Sonneville-Bordes D (1970) The significance of variability in Paleolithic assemblages. *World Archaeology* 2: 61–73.
66. Bordes F (1961) Mousterian cultures in France. *Science* 134: 803–810. <https://doi.org/10.1126/science.134.3482.803> PMID: 17817388
67. Moncel MH, Debard É, Desclaux E., Dubois J, Lamarque F, Patou-Mathis M, et al. (2002) Le cadre de vie des hommes du Paléolithique moyen (stades isotopiques 6 et 5) dans le site de Payre (Rompon, Ardèche): D'une grotte à un abri sous roche effondré. *Bulletin De La Société Préhistorique Française* 99(2): 249–273.
68. Daujeard C, Moncel M-H (2010) On Neanderthal subsistence strategies and land use: A regional focus on the Rhone Valley area in southeastern France. *Journal of Anthropological Archaeology* 29 (3):368–91.
69. Moncel MH, Daujeard C (2012) The variability of the Middle Palaeolithic on the right bank of the Middle Rhône Valley (southeast France): Technical traditions or functional choices? *Quaternary International* 247: 103–124.
70. Moncel MH, Fernandes P, Chacón Navarro G, de Lombera Hermida A, Menéndez Granda L, Youcef S, et al. (2014) Emergence et diversification des stratégies au Paléolithique moyen ancien (350 000 à 120 000 ans) dans la Vallée du Rhône (France), XXVIIème congrès CPF, Bordeaux. In: Jaubert J, Froment N, Depapepe P Editors, *Transitions, ruptures et continuité en Préhistoire*, Société Préhistorique Française 2: 43–59.
71. Grün R, Aubert M, Joannes-Boyau R, Moncel M-H. High resolution analysis of uranium and thorium concentration as well as U-series isotope distributions in a Neanderthal tooth from Payre (Ardèche, France) using laser ablation ICP-MS. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2008; 72(21):5278–90.
72. Valladas H, Mercier N, Ayliffe LK, Falguères C, Bahain J-J, Dolo J-M, et al. (2008) Radiometric dates for the Middle Palaeolithic sequence of Payre (Ardèche, France). *Quaternary Geochronology* 3 (4):377–89.
73. Pedergrana A, Ollé A, Borel A, Moncel M-H (2016) Microwear study of quartzite artefacts: preliminary results from the Middle Pleistocene site of Payre (South-eastern France). *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2016 <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs12520-016-0368-2>
74. Moulin F (1903) L'abri du Bau de l'Aubesier. *Bull. Acad.* 1: 1–84.
75. Moulin F (1904) L'abri moustérien du Bau de l'Aubesier. *Bull. Soc. Préhist. Fr.* 1: 14–20.

76. Lebel S (2000a) Le Bau de l'Aubesier, Monieux, Vaucluse: Fouilles 1998-1999-2000. Report Presented to the Ministère de la Culture et de la Communication de France, DRAC-PACA, Aix-en-Provence.
77. Lebel S (2000b) Monieux: Bau de l'Aubesier. In: Bilan Scientifique 1999. Service Régional de l'Archéologie, DRAC-PACA, Aix-en-Provence: 179–180.
78. Blackwell BAB, Skinner AR, Blickstein JIB, Lebel S, Leung HYM (2001) ESR isochron dating analyses at Bau de l'Aubesier, Provence, France: clues to U uptake in fossil teeth. *Geoarchaeology* 16: 719–761.
79. Lebel S, Trinkaus E, Faure M, Fernandez P, Guérin C, Richter D, et al. (2001) Comparative morphology and paleobiology of Middle Pleistocene human remains from the Bau de l'Aubesier, Vaucluse, France. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98: 11097–11102. <https://doi.org/10.1073/pnas.181353998> PMID: 11553766
80. Fernandez P (2006) Etude Paléontologique des Ongulés du Moustérien du Bau de l'Aubesier (Vaucluse, France): Morphométrie et Contexte Biochronologique. Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon 161.
81. Trinkaus E, Lebel S, Bailey SE (2000) Middle Paleolithic and recent human dental remains from the Bau de l'Aubesier, Monieux (Vaucluse). *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris* 12: 207–226.
82. Lebel S, Trinkaus E (2002) Middle Pleistocene human remains from the Bau de l'Aubesier. *Journal of Human Evolution* 43: 659–685. PMID: 12457854
83. Cresswell R (1983) Transferts des techniques et chaînes opératoires. *Technique et Culture* 2. 1983:143–163.
84. Pelegrin J, Karlin C, Bodu P (1988) «Chaînes opératoires»: un outil pour le préhistorien. *Technologie préhistorique. Notes et Monographies techniques* 25. CNRS, Paris.
85. Perlès C (1991) Économie des matières premières et économie du débitage: deux conceptions opposées? In 25 ans d'études technologiques en préhistoire: Bilan et perspectives, Actes des XIe rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes 35–46. AP-DCA, Antibes.
86. Geneste JM (1991a) L'approvisionnement en matière première dans les systèmes de production lithique: la dimension spatiale de la technologie. In: *Tecnologia y cadenas operativas liticas, Treballs d'arqueologia I, reunió internacional, Mora R, Terradas X, Parpal A, Plana C Editors: 1–36.* Universitat Autònoma Barcelona, Barcelona.
87. Geneste JM (1991b) Systèmes techniques de production lithique: variations techno-économiques dans les processus de réalisation des outillages paléolithiques. *Techniques et culture* 17–18: 1–35.
88. Pelegrin J (2005) Remarks About Archaeological Techniques and Methods of Knapping: Elements of a Cognitive Approach to Stone Knapping. In: *Stone Knapping, the Necessary Conditions for a Uniquely Hominin Behavior*, Roux V, Bril B Editors: 23–34. McDonald Institute for Archaeological Research, Cambridge, UK.
89. Boëda E, Geneste JM, Meignen L (1990) Identification de chaînes opératoires lithiques du Paléolithique ancien et moyen. *Paléo* 2: 43–80.
90. Pelegrin J (1988) Sur une recherche technique expérimentale des techniques de débitage laminaire et quelques résultats. In *Archéologie expérimentale. Tome 2. La Terre Editor Errances, Actes du Colloque International «Expérimentation en archéologie: bilan et perspectives»*, (Archéodrome de Beaune, 6–9 avril 1988), Paris: 118–128.
91. Pelegrin J (2000) Les techniques de débitage laminaire au Tardiglaciaire: critères de diagnose et quelques réflexions. In: *L'Europe Centrale et Septentrionale au Tardiglaciaire. Confrontation des modèles régionaux*, Valentin B, Bodu P, Christensen M Editors. Mémoires du Musée de Préhistoire d'Ile-de-France, Nemours 7: 73–86
92. Dauvois M (1976) Précis de dessin dynamique et structural des industries lithiques préhistoriques. Périgueux. Pierre Fanlac.
93. Inizan ML, Reduron M, Roche H, Tixier J (1995) Technologie de la pierre taillée. Paris, Editions du CNRS et Université de Paris X—Nanterre.
94. Pelegrin J (1995) Technologie lithique: le Châtelperronien de Roc-de-Combe (Lot) et de La Côte (Dordogne). *Cahiers du Quaternaire* 20. CNRS Editions, Paris.
95. Boëda E (1993) Le débitage discoïde et le débitage Levallois récurrent centripète. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 90: 392–404.
96. Boëda E (1991) Approche de la variabilité des systèmes de production lithique des industries du Paléolithique inférieur et moyen: chronique d'une variabilité attendue. *Technique et culture* 17–18: 37–79.
97. Peresani M (1998) La variabilité du débitage discoïde dans la grotte de Fumane (Italie du Nord). *Paléo* 10: 123–146.

98. Slimak L (2003) Les débitages Discoïdes moustériens: évaluation d'un concept technologique, in: Discoid lithic technology: advances and implications, Peresani M Editor, Oxford, British archaeological Reports, BAR International Series 1120: 33–65
99. Chacón MG, Détroit F, Coudenneau A, Moncel M-H (2016) Morphometric Assessment of Convergent Tool Technology and Function during the Early Middle Palaeolithic: The Case of Payre, France. *PLoS one* 11(5): e0155316. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155316> PMID: 27191164
100. Moncel M-H, Chacón MG, Coudenneau A, Fernandes P (2009) Points and convergent tools in the European Early Middle Paleolithic site of Payre (SE, France). *Journal of Archaeological Science* 36(9):1892–909.
101. Forestier H (1993) Le Clactonien: mise en application d'une nouvelle méthode de débitage s'inscrivant dans la variabilité des systèmes de production lithique du Paléolithique ancien. *Paléo* 5(1): 53–82.
102. Bourguignon L (1996) La conception de débitage Quina. In: Bietti A, Grimaldi S Editors, Reduction Processes for the European Mousterian. Actes du colloque international de Rome. *Quaternaria Nova VI*: 149–166.
103. Bourguignon L (1997) Le Moustérien de type Quina: nouvelle de finition d'une technique. Doctoral Thesis, Université de Paris X-Nanterre, Nanterre.
104. Rivals F, Moncel M-H, Patou-Mathis M (2009) Seasonality and intra-site variation of Neanderthal occupations in the Middle Palaeolithic locality of Payre (Ardèche, France) using dental wear analyses. *Journal of Archaeological Science* 36(4):1070–1078.
105. Daujeard C, Moncel MH, Rivals F, Fernandez P, Aureli D, Auguste P, et al. (2011) What Occupation type in the Unit F at Payre (Ardèche, France)? A Specialised Hunting Stop or a Short-term Camp? An example of a Multidisciplinary Approach. In: Bon F, Costamagno S, Valdeyron N Editors, Hunting Camps in Prehistory. *Current Archaeological Approaches, Proceedings of the International Symposium, University, Toulouse II, Le Mirail, P@lethnology 3*: 77–101.
106. Fernandes P, Raynal JP, Moncel MH (2008) Middle Palaeolithic raw material gathering territories and human mobility in the southern Massif Central, France: first results from a petro-archaeological study on flint. *Journal of Archaeological Science* 35: 2357–2370.
107. Fernandes P, Moncel MH, Lhomme G (2010) Ressources minérales et comportements au Paléolithique moyen: Payre et l'Abri des Pêcheurs (Ardèche, France). *Rivista di Scienze Preistoriche LVII*: 31–42.
108. Wilson L (2007a) The Vaucluse raw material project: artifact provenance and landscape context in the Middle Palaeolithic of southern France. In: Wilson L, Dickinson P, Jeandron J Editors, *Reconstructing Human-Landscape Interactions*. Cambridge Scholars Publishing, Newcastle: 234–251.
109. Wilson L (2007b) Terrain difficulty as a factor in raw material procurement in the Middle Palaeolithic of France. *Journal of Field Archaeology* 32: 315–324.
110. Wilson L (2007c) Understanding prehistoric lithic raw material selection: application of a gravity model. *Journal of Archaeological Methodological Theory* 14: 388–411.
111. Wilson L (2011) Raw material economics in their environmental context: An example from the Middle Palaeolithic of southern France. In: Wilson L Editor, *Human Interactions with the Geosphere: The Geoarchaeological Perspective*. The Geological Society Publishing House, London, Special Publication 352: 163–180.
112. Browne CL, Wilson L (2011) Resource selection of lithic raw materials in the Middle Palaeolithic in southern France. *Journal of Human Evolution* 61: 597–608. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2011.08.004> PMID: 21917295
113. Browne CL, Wilson L (2013) Evaluating inputs to models of hominin raw material selection: map resolution and path choices. *Journal of Archaeological Sciences* 40: 3955–3962.
114. Wilson L, Browne CL (2014) Change in raw material selection and subsistence behaviour through time at a Middle Palaeolithic site in southern France. *Journal of Human Evolution* 75: 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.12.018> PMID: 25150897
115. Auguste P (2008) Les Ursidés de l'ensemble F, In: Moncel M-H Editor, *Le site de Payre, occupations humaines dans la vallée du Rhône à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur*. Mémoire de la Société Préhistorique Française XLVI: 51–77.
116. Daujeard C (2008) *Exploitation du milieu animal par les Néandertaliens dans le Sud-Est de la France*. Oxford: BAR International Series S1867. Archaeopress.
117. Patou-Mathis M, Auguste P, Bouteaux A, Crépin L, Dashek E, Lacombe F, et al. (2008) Contexte écologique et cadre chronologique des occupations paléolithiques de Payre d'après l'analyse des grands mammifères In: Moncel M-H Editor, *Le site de Payre, occupations humaines dans la vallée du Rhône à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur*. Mémoire de la Société Préhistorique Française XLVI: 41–51.

118. Desclaux E, El Hazzazi N, Vilette P, Dubar M (2008) Le contexte paléoenvironnemental des occupations humaines. L'apport de la microfaune, des restes aviaires et de la malacofaune. In: Moncel M-H Editor, Le site de Payre, occupations humaines dans la vallée du Rhône à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur. Mémoire de la Société Préhistorique Française XLVI: 91–106.
119. Moncel M-H, Allué E, Bailon S, Barshay-Szmidt C, Béarez P, Crégut É, et al. (2015) Evaluating the integrity of palaeoenvironmental and archaeological records in MIS 5 to 3 karst sequences from south-eastern France. *Quaternary International* 378:22–39.
120. Hardy B, Moncel M-H (2011) Neanderthal use of fish, mammals, birds, starchy plants and wood 125–250,000 years ago. *PLoS one* 6(8): e23768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023768> PMID: 21887315
121. Moncel M-H, Patou-Mathis M (2008) Les différentes phases d'occupations humaines à Payre et hypothèses sur les types d'occupation. In: Moncel M-H Editor, Le site de Payre, occupations humaines dans la vallée du Rhône à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur. Mémoire de la Société Préhistorique Française XLVI: 309–315.
122. Fernandez P (2001) Étude paléontologique et archéozoologique des niveaux d'occupations moustériens au Bau de l'Aubesier (Monieux, Vaucluse): implications biochronologiques et paléthnologiques, Thèse de doctorat. Université de Lyon 1.
123. Fernandez P, Faure M, Guérin C, Lebel S (1998) Stratégie de chasse des Néanderthaliens du Bau de l'Aubesier (Monieux, Vaucluse): choix et opportunisme. In: Brugal J-P, Meignen L, Patou-Mathis M Rdi-tors, XVIII^emes rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes. Actes des rencontres, 23–25 octobre 1997. *Economie préhistorique: les comportements de subsistance au Paléolithique*, APDCA, Antibes: 309–323.
124. Fernandez P, Legendre S (2003) Mortality curves for horses from the Middle Palaeolithic site of Bau de l'Aubesier (Vaucluse, France): methodological, palaeo-ethnological, and palaeo-ecological approaches. *Journal of Archaeological Science* 30(12): 1577–1598.
125. Fernandez P, Guadelli J-L, Fosse P (2006) Applying dynamics and comparing life tables for Pleistocene Equidae in anthropic (Bau de l'Aubesier, Combe-Grenal) and carnivore (Fouvent) contexts with modern feral horse populations (Akagera, Pryor Mountain). *Journal of Archaeological Science* 33(2): 176–184.
126. Darlas A (1994) L'Acheuleen final des couches supérieures de la grotte du Lazaret (Nice, Alpes-Maritimes). *L'Anthropologie* 98: 267–304.
127. Brenet M (2011) Variabilité et signification des productions au Paléolithique moyen ancien. L'exemple de trois gisements de plein-air du Bergeracois (Dordogne, France). Doctoral Thesis, Université de Bordeaux 1.
128. Frouin M, Lahaye C, Hernandez M, Mercier N, Guibert P, Brenet M, et al. (2014) Chronology of the Middle Palaeolithic open-air site of Combe Brune 2 (Dordogne, France): a multiluminescence dating approach. *Journal of Archaeological Science* 52: 524–534. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2014.09.012>.
129. Turq A (1992) Le Paléolithique inférieur et moyen entre les vallées de la Dordogne et du Lot. Doctoral Thesis. Université de Bordeaux I.
130. Jaubert J, Kerzavo B, Bahain JJ, Brugal JP, Chalard P, Falgueres CH, et al. (2005) Coudoulous I (Tour-de-Faure, Lot) site du Pléistocène moyen en Quercy: bilan pluridisciplinaire. In: Molines N, Moncel MH, Monnier JL (Eds.), *Données Récentes Sur Les Modalités de Peuplement et Sur Le Cadre Chronostratigraphique Géologique et Paléanthropologique Des Industries Du Paléolithique Inférieur et Moyen En Europe*, Colloque International de Rennes, Septembre 2003. *BAR International Series S1364*: 227–251.
131. Moncel MH, Daujeard C, Crégut-Bonnouire É, Boulbes N, Puaud S, Debard É, et al. (2010) Nouvelles données sur les occupations humaines du début du Pléistocène supérieur de la moyenne vallée du Rhône (France). Les sites de l'Abri des Pêcheurs, de la Baume Flandin, de l'Abri du Maras et de la Grotte du Figuier (Ardèche), colloque Q6, Montpellier 2008. *Quaternaire* 21 (4): 385–413.
132. Fontana F, Peretto C, Nenzioni G (2009) First recognition of predetermined core reduction sequences in the Southern Po Plain area before MIS 8 at the site of Cave dall'Olio (Bologna, Italy): an "ancient series" revisited. *Human Evolution* 24(1): 43–56.
133. Fernández J M M, Cabrera-Valdès V, Bernaldo de Quirós F (2004) Le débitage lamellaire dans le Moustérien final de Cantabrie (Espagne): le cas de El Castillo et Cueva Morin. *L'Anthropologie* 108 (3–4): 367–393.
134. Slimak L, Lucas G (2005) Le débitage lamellaire, une invention aurignacienne? In: *Productions lamellaires attribuées à l'Aurignacien. Chaînes opératoires et perspectives technoculturelles*, Le Brun-Ricalens F Editor, Imprimerie Fr. Faber, Luxembourg: 75–102.

135. Slimak L (1999) Mise en évidence d'une composante laminaire et lamellaire dans un complexe moustérien du sud de la France. *Paléo* 11: 89–109.
136. Faivre J-P (2012) A material anecdote but technical reality. *Lithic Technology* 37(1):5–24.
137. Peresani M (2012) Fifty thousand years of flint knapping and tool shaping across the Mousterian and Uluzzian sequence of Fumane cave. *Quaternary International* 247: 125–150.
138. Peresani M, Centi Di Taranto LE (2013) Blades, bladelets and flakes: A case of variability in tool design at the dawn of the Middle—Upper Palaeolithic transition in Italy. *Comptes Rendus Palevol* 12 (4):211–21.
139. Carmignani L (2010) L'industria litica del livello Fille di Grotta del Cavallo (Nardò, Lecce). *Messa in evidenza di una produzione lamino—lamellare in un contesto del Musteriano finale. Origini XXXII, Nuova Serie IV*: 7–26.
140. Pastoors A, Tafelmaier Y (2010) Bladelet production, core reduction strategies, and efficiency of core configuration at the Middle Palaeolithic site Balver Höhle (North Rhine Westphalia, Germany). *Quartär* 57: 25–41.
141. Aureli D, Ronchitelli AM (in press) The Lower Tyrrhenian Versant: was it a techno-cultural area during the Middle Palaeolithic? Evolution of the lithic industries of the Riparo del Molare sequence in the frame of Neanderthal peopling dynamics in Italy. In: Borgia V, Cristiani E Editors, *Palaeolithic Italy. Advanced studies on early human adaptations in the Apennine Peninsula*, Sidestone Press ed., Leiden.
142. Moncel MH, Moigne AM, Combier J (2012) Towards the Middle Palaeolithic in Western Europe: The case of Orgnac 3 (southeastern France). *Journal of Human Evolution* 63 (5):653–66. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2012.08.001> PMID: 23040107
143. Moncel MH, Moigne AM, Combier J (2005) Pre-Neandertal behaviour during isotopic stage 9 and the beginning of stage 8. New data concerning fauna and lithics in the different occupation levels of Orgnac 3 (Ardèche, South-East France): occupation types. *Journal of Archaeological Science* 32 (9):1283–301.
144. Moncel MH (1995) Biface et outil-biface du Paléolithique moyen ancien : Réflexion à partir des sites d'Ardèche-Ornac 3 et Payre. *Paléo* 7(1):157–69.
145. Gagnepain J, Gaillard C (2005) La grotte de la Baume Bonne (Quinson, Alpes-de-Haute-Provence): synthèse chronostratigraphique et séquence culturelle d'après les fouilles récentes (1988–1997). In: Molines N, Moncel M-H, Monnier J-L Editors, *Colloque international Données récentes sur les modalités de peuplement et sur le cadre chronostratigraphique, géologique et paléogéographique des industries du Paléolithique ancien et moyen en Europe (Rennes, 22–25 septembre 2003)*, British Archaeological Reports, International Series S1364: 73–87.
146. Hong MY (1993) Le Paléolithique inférieur de l'abri de la Baume Bonne (Quinson, Alpes-de-Haute-Provence). *Etude technologique et typologique de l'industrie lithique (Unpublished Phd)*. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
147. Hublin Jean-Jacques. "The origin of Neandertals." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.38 (2009): 16022–16027.
148. Premo Luke S., and Hublin Jean-Jacques. "Culture, population structure, and low genetic diversity in Pleistocene hominins." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.1 (2009): 33–37.

Principales matières premières lithiques disponibles entre Bassin parisien et l'Auvergne : partie 1 - Allier, Cher et Indre.

Grandes variétés des matériaux et leurs transits au Paléolithique moyen

Michel PIBOULE¹ ; Vincent DELVIGNE² ; Paul FERNANDES³⁻² ; Audrey LAFARGE⁴ ; Jean-Paul RAYNAL²⁻⁵

1 - Université Joseph Fourier - Grenoble.

2 - UMR 5199-PACEA- Université de Bordeaux 1 & Fondation Fyssen, Serv. Préhistoire, Université de Liège, Belgique.

3 - SARL Paléotime, Villard-de-Lans.

4 - UMR 5140-Archéologie des sociétés méditerranéennes, Université de Montpellier 3.

5 - Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Allemagne.

Mots clefs : Pétroarchéologie; Sinter ; Jaspéroïde ; Silcrète ; Paléolithique moyen ; Berry ; Bourbonnais.

Résumé : Le Bourbonnais et la bordure méridionale de la région Centre offrent aux hommes préhistoriques diverses ressources lithiques (sinters siliceux, jaspéroïdes, silcrètes, silex,...). Elles ont été largement exploitées à toutes les époques. Les gîtes primaires de production sont d'âges variés (Permien à Oligocène). Ils offrent des matériaux siliceux dont l'utilisation est attestée à la fois sur ces sites ateliers et sur les sites d'habitats locaux. Les gîtes secondaires (Cénozoïque et Quaternaire) de types alluviaux (dits à «chailles») ont été également exploités au Paléolithique moyen. Sur les sites ateliers moustériens (Vicq-Exempt, Nassigny, Gipy,...) les artefacts en matières locales sont associés à d'autres en silex étrangers à la région provenant du Bassin parisien et parfois d'Auvergne. Le site de Saint-Bonnet-de-Four offre un exemple de cette dualité d'origine des matières premières utilisées aux marges du Massif central. Il atteste de circulations des groupes humains dépassant la centaine de kilomètres au Moustérien. Pour ce site, une esquisse des apports extérieurs à la région est proposée.

Le sud du Bassin parisien et l'extrême nord du Massif central constituent l'une des zones de passages des hommes préhistoriques entre les plaines du Berry et les moyennes montagnes d'Auvergne. Par ses principales vallées (Creuse, Cher, Allier et Loire), cette marge a été l'objet à toutes époques d'un transit important de matières lithiques provenant des zones productrices (Jurassique moyen, Crétacé supérieur et Cénozoïque du Bassin parisien). L'examen des silex des industries préhistoriques du Bourbonnais confirme l'importance de ces transferts du Paléolithique moyen au Néolithique. Toutefois, le Paléolithique moyen de l'Allier montre surtout

l'existence notable de matériaux siliceux d'origines géologiques locales. Ces matières premières, peu ou non décrites dans la littérature, sont issues de gîtes variés, la distance aux sites archéologiques n'excèdent pas la cinquantaine de kilomètres. Dans les séries archéologiques du Paléolithique moyen ces matériaux locaux dénotent fortement par leur fréquence de ceux plus rares, issus des calcaires et des craies du Bassin parisien où des régions avoisinantes (Grande Limagne). Les sites de Meillers et de Saint-Bonnet-de-Four (Allier), traités dans la dernière partie de cette note serviront ici d'exemples.

Jusqu'à maintenant, l'inventaire des gîtes de matières siliceuses a reposé sur les données des cartes au 1/80 000^{ème} et au 1/50 000^{ème} du Service géologique national. Celles-ci sont utiles pour circonscrire le potentiel de ressources minérales d'une région. Par contre, elles restent très incomplètes car limitées dans les reports cartographiques relatifs aux matériaux siliceux. Par exemple, en paysage sédimentaire, le positionnement des gîtes à silex est souvent absent ou varie beaucoup d'une carte à l'autre, principalement à leurs limites. Jusqu'à la fin des années 1960, en particulier dans le Bassin parisien et même dans notre département, les matériaux de type silex *s.l.* ont été longtemps considérés par les géologues cartographes comme «des accidents» peu utiles et non représentables sur la carte. À l'époque, les notices des cartes étaient souvent très brèves et s'affranchissaient souvent de la présence des silex sur le terrain. En raison de ces manques de détails, également liés aux faibles dimensions des gîtes et aux échelles utilisées, une région réputée pauvre en silex peut en fait s'avérer présenter de nombreux gîtes.

De plus, de nombreuses cartes sont dépourvues des informations utiles concernant les formations superficielles (alluvions, colluvions,...). Si le département de l'Allier échappe maintenant un peu à ce constat, par contre, à l'échelle régionale ses bordures cartographiques sont souvent dépourvues de toutes références précises aux matériaux siliceux. Seules, certaines notices des cartes récentes au 1/50 000^{ème} apportent les renseignements pour une prospection raisonnée; elles s'appuient plus précisément sur une bibliographie utile concernant les monographies géologiques régionales, les publications scientifiques et les thèses.

Une révision des formations pouvant présenter des gîtes de matières siliceuses dans la région a été entreprise il y a une dizaine d'années à la faveur de plusieurs PCR concernant le Massif central (Dir. P. Fernandes ; J-P. Raynal.). Cette approche qui se poursuit actuellement a été récemment étendue au nord de l'Allier, dans la région Centre-Val-de-Loire (V. Delvigne et *al.*, ce volume). Nous en donnons dans les lignes qui suivent les principales caractéristiques géologiques (*cf.* Carte figure 1) ainsi qu'une brève diagnose des matériaux qu'elles contiennent.

1. Les ressources siliceuses du nord Massif central

1.1. Silex permien et sinters de Meillers (Allier)

Si l'on excepte les silicifications noires (lydiennes) du Viséen supérieur de la Montagne bourbonnaise et les galets du même âge issus de certains conglomérats du Houiller, les silex les plus anciens de la région appartiennent au Permien du bassin de l'Aumance. Ils sont rapportés à sa base (Autunien inférieur).

Dans la région de Buxières-les-Mines (Allier) les formations autuniennes offrent une assise à dépôts fluvio-torrentiels représentée par des grès et des argilites («Autunien gris», Turland et *al.*, 1990). La partie supérieure comporte des dépôts lacustres variés, grés-argileux avec deux horizons cinéritiques, des couches à charbon, des niveaux argilo-silteux bitumineux et un «faisceau dolomitique» sommital. Cet ensemble est surmonté par une puissante formation détritique à dominante fluviale, fluvio-lacustre et deltaïque.

Le « faisceau dolomitique » est ainsi intercalé entre deux puissantes formations terrigènes. Il comporte des bancs décimétriques à métriques carbonatés, très souvent silicifiés et remplacés par des silex noirs («chailles» des secteurs de Saint-Hilaire, Gipy, Gros-Bois,...). Ces matériaux se retrouvent à une dizaine de kilomètres plus à l'est à proximité de Souvigny (Allier) à un niveau stratigraphique équivalent. Dans ces deux secteurs, la présence de stromatolithes a été largement décrite (Freytet et *al.*, 1999 ; Freytet et *al.*, 2000 ; Legrand et Debriette, 2007). Entre les deux, le «faisceau dolomitique» disparaît et laisse la place aux «quartzites de Meillers». Leur genèse est rapportée à une activité hydrothermale de type sources chaudes et/ou geysers comportant des dépôts hydrothermaux de surface (geysérites ou sinters). Par leur position stratigraphique et structurale, ces matériaux hydrothermaux pourraient être l'équivalent latéral du «faisceau dolomitique» à silex (Debriette, 1985 ; Turland *al.*, 1990).

1.1.1 Silex noirs

Dans le secteur de Gros-Bois (Gipy, Allier), les bancs de silex noir du «faisceau dolomitique» délivrent des blocs parallélépipédiques d'épaisseur décimétrique. Le cortex des bancs au contact des grès encaissants présente souvent une texture

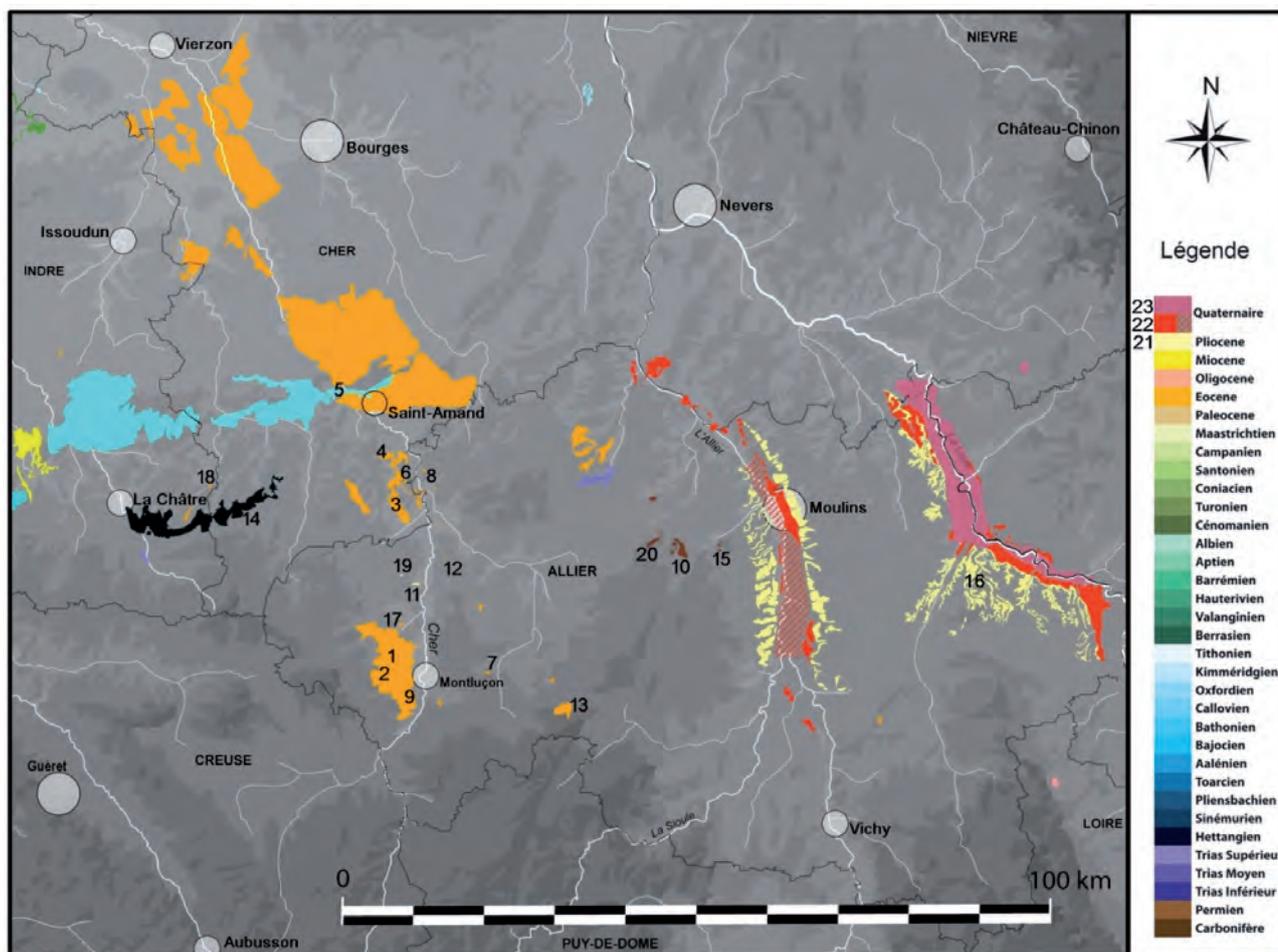


Figure 1 : carte des principales sources potentielles de matières premières siliceuses.

Gîtes primaires : 1 - Chateaugay (Domérat), 2 - Couraud (Domérat), 3 - Épineuil-le-Fleuriel, 4 - La Celette, 5 - La Celle-Bruère, 6 - La Perche, 7 - Le Bouchat (Saint-Angel), 8 - Les Pics (Urçay), 9 - Les Maisons-Rouges (Prémilhat), 10 - Meillers, 11 - Mont-Chévrier (Nassigny), 12 - Peufelioux (Vallon-en-Sully), 13 - Saint-Bonnet-de-Four, 14 - Saint-Jeanvrin, 15 - Souvigny, 16 - Tilly (Saligny sur Roudon), 17 - Les Champs d'Argentières (Vaux-Saint-Victor), 18 - Les Varennes- Le Petit-Foulinin (Vicq-Exempt), 19 - Le Petit-Villevandret (Villevandret), 20 - Gros-Bois près de Gipy. Gîtes alluviaux plioquaternaires (cf. échelle stratigraphique) : 21 - Sables du Bourbonnais, 22 - Alluvions de l'Allier, 23 - Alluvions de La Loire.

microbrèche. Il est généralement très épais (1 à 3 cm). La texture du banc siliceux est variable. La présence de cristaux de dolomite claire caractérise ces silex. Dans la matrice siliceuse ce minéral se présente en cristaux isolés de petite taille (< 1 mm), automorphes et rhomboédriques ou en essaims de grains. Cette dolomite est contemporaine de la silicification de l'ancien matériau carbonaté. Sa présence atteste un contexte physico-chimique spécifique et témoigne d'un héritage discret de son passé antérieur.

Les bancs se débitent selon des diaclases planes et perpendiculaires à l'ancienne stratification sédimentaire. Cette fracturation préside au débit régulier des blocs. Les anciennes diaclases parallèles sont le plus souvent constellées de fines cavités rhomboédriques (*boxworks* de dissolution de la

dolomite). Des plages moins fréquentes d'agrégats à *boxworks* en éventail peuvent être observées. Ces figures impliquent que les fluides aqueux bicarbonatés calcaro-magnésiens circulaient et que la dolomite se néoformait encore lors de la fracturation tardive.

L'abondance des fossiles constitue la seconde originalité des silex de l'Autunien. Elle est très utile pour la reconnaissance du matériau. Au-delà des troncs silicifiés d'équisétales (*calamites s.l.*) fréquents, l'omniprésence des stromatolithes fossiles constitue une très bonne signature de l'origine géologique de ces matériaux. Des stromatolithes entiers se rapportent aux formes tabulaires ou en choux fleurs décrites par Freytet et al. (1999, 2000). Ils sont parfois associés à des valves d'ostracodes. Par leur présence, ces

fossiles permettent de définir un biotope lacustre. De plus, leur fragmentation permet de connaître les conditions de la sédimentation antérieure à la diagénèse carbonatée, voire même pour certains silex de cerner l'évolution ultérieure à la silicification tardive. On a pu retrouver des brèches siliceuses cimentées par un matériel invasif gréseux. L'injection sous pression d'un fluide chargé de grains de quartz et issu des épontes des bancs imprégnés d'eau peut être invoquée et expliquée par processus de fracturation hydraulique. Cette hypothèse peut rendre compte des cortex anormalement épais à texture microbréchique. Elle invoque une seconde phase de silicification.

Les silex noirs du Permien sont favorables à la taille en raison d'une matrice particulièrement fine et d'un débit naturel en plaquettes qui détermine des modules adaptés à la préparation de nucléii discoïdes ou levallois. Le secteur de Gipy offre plusieurs ateliers moustériens.

1.1.2. Les sinters

Les sinters sont rapportés à des dépôts siliceux de sources chaudes et/ou de geysers (Bates et Jackson, 1980). Le gisement de Meillers (Allier) délivre des sinters d'âge permien consécutif d'un hydrothermalisme inféodé au bassin de l'Aumance, bassin sédimentaire riche en sédiments détritiques et à dépôts volcano-détritiques subordonnés.

La carrière de Meillers offre sur une vingtaine de mètres d'épaisseur des matériaux à lamines millimétriques de calcédonite blanche. Ces dépôts correspondent à de fins encroutements stromatolithiques silicifiés. Certains drains de circulation des eaux chaudes traversant le litage. Leurs parois peuvent être tapissées d'encroutements stromatolithiques. Plusieurs espèces de cyanobactéries ont été décrites par Freytet et al. (1999). Les matériaux témoignent lors de leur formation d'une porosité en réseaux complexes, riches en cavités et canalicules concordants ou non avec les lamines. Ces cavités sont tapissées par des cristaux de macroquartz tardifs.

Au nord et à l'est, le gisement présente des faciès mixtes à tendance gréseuse, voire bréchique correspondant à des termes à lamines construites et à petits clastes de quartz. Ce faciès implique des apports détritiques lors des dépôts hydrothermaux. Ses termes passent latéralement et progressivement à des grès. Ils sont interprétés comme les témoins

bordiers d'une vallée occupée par les dépôts hydrothermaux (Marcoux et al., 2004).

En raison d'une réponse favorable à la taille de ses matériaux, le gîte de Meillers offre en couverture un vaste atelier paléolithique moyen détruit en partie par l'exploitation de la carrière dont la première fouille date de 1972. La vaste extension et l'épaisseur conséquente du dépôt archéologique (0.5 à 3 mètres) reconnues lors de plusieurs fouilles (M. Piboule, 1977 ; Merlet et al. 1981 ; Pasty, 2000) laisse penser que ce site a pu être l'objet d'une intense exploitation au Moustérien et peut être même au Paléolithique inférieur (nombreux nucléii discoïdes et bifaces). Seuls de rares indices (industrie laminaire et rares burins sur lame légère) attestent d'un passage au Paléolithique supérieur et/ou à l'Épipaléolithique. Ces matériaux pourtant bien typés n'ont pas été reconnus dans les séries archéologiques régionales à l'exception du site de Saint-Bonnet-de-Four (*cf. infra*). Ainsi, probablement en concurrence avec d'autres gîtes productifs voisins (par ex. silex des plages de l'Allier et de la Loire), les sinters de Meillers ne paraissent pas avoir été «exportés» vers d'autres sites moustériens régionaux.

1.2. Jaspéroïdes de l'Hettangien (I1-2) du sud du Cher et de l'Indre

Localités types : Indre : Le Chaumois à Briantes, Néret ; Cher : Saint-Jeanvrin.

Les formations sédimentaires de la base du Lias offrent aux limites du Massif central particulièrement sur ses bordures limousines, charentaises et berrichonnes de nombreux gîtes de «jaspes» (Mouterde, 1952 ; Courel, 1970, 1973 ; Loughon et al., 1974 ; Demars, 1982, Séronie-Vivien et al., (1987). Dans sa typologie génétique des silex, Séronie-Vivien (*op. cit.*) rapportent ces matériaux siliceux du Lias à des silicifications épigénétiques hydrothermales. Ils introduisent le terme de jaspéroïdes qui est fréquemment utilisé par les géologues américains pour définir les matériaux siliceux à aspect de jaspes issus du remplacement de roches sédimentaires carbonatées par des fluides hydrothermaux (Bates et Jackson, 1980).

Les jaspéroïdes de l'Hettangien (199,6 Ma à 195,5 Ma) du Berry constituent un horizon siliceux dont les matériaux ont été décrits par l'abbé Mouterde (1952) sous le terme de «jaspes du Chaumois». Par leur position stratigraphique

infra-liasique cet auteur, puis Courel (1970) individualisent clairement ces roches des «quartz cariés» voisins associés eux au Trias sous-jacent. Notons qu'antérieurement lors des premières cartographies géologiques ces deux formations siliceuses avaient été regroupées (Courel, 1973, et feuille 1/80 000^{ème} Montluçon, de Launay, 1939). La synthèse géologique du Bassin parisien (Mégny 1980), sur la base des travaux précédents reconnaît les «silex du Chaumois» comme une spécificité de l'Hettangien du Berry compris entre La Châtre et Le Châtelet. Précisément, l'horizon silicifié s'étend sur une vingtaine de kilomètres du Grand Chaumois (Briantes, Indre) jusqu'au sud du Châtelet (Cher) (Frasse et *al.*, 1987 ; Quesnel et *al.*, 2009). Notons ici qu'à l'échelle régionale cet horizon silicifié comporte latéralement dans le même niveau stratigraphique mais plus à l'ouest, la minéralisation hydrothermale filonienne et stratiforme de Chaillac (Indre) à fer, fluorine et barytine (Ziserman, 1980).

Les jaspéroïdes du Chaumois présentent dans leur gîte primaire des couleurs variées. La palette des teintes s'échelonne du noir, au marron sombre, au kaki foncé, au jaune moutarde et au jaune orangé. À la cassure, la teinte de la matrice des rognons est généralement homogène et montre souvent vers l'extérieur un net assombrissement de la zone sous corticale. Sur le terrain les jaspéroïdes de teintes jaunes - correspondant à de petits rognons ou de fines plaquettes - paraissent dépendre de l'éloignement des termes les plus sombres qui sont souvent bréchiques, caverneux et riches en filonets de quartz. Ce faciès noir se rapporte à des zones de décharges hydrothermales où les dépôts siliceux sont beaucoup plus riches en oxydes de fer et de manganèse.

La matrice des jaspéroïdes offre sous leur teinte initiale de fréquentes inclusions et ponctuations noires dispersées en nuages ou regroupées en grappes (dendrites) ou même disposées selon des lignes subparallèles. Ces alignements correspondent à des palimpsestes de diaclases ayant facilité l'infiltration de solutions minéralisantes dans le matériau. Les cortex initiaux d'une épaisseur d'un demi-centimètre offrent à la bordure des rognons les mêmes ponctuations que les calcaires en plaquettes voisins.

Les inclusions sont inégalement réparties dans les différents faciès colorés. Elles sont absentes dans les termes noirs bréchiques et caverneux. Par

contre, elles deviennent fréquentes dans le faciès de teinte kaki. Elles sont plus rares, voire absentes dans les matrices jaune vif.

Sur le terrain, la distribution spatiale de la teinte des jaspéroïdes et la charge en Fe et Mn paraissent conditionnées par la proximité des zones de failles empruntées par les fluides hydrothermaux (*cf. supra*). Les termes les plus sombres et bréchiques sont associés à ces domaines de décharge (faciès caverneux dits proximaux) ; les faciès les plus clairs en sont plus éloignés (50 mètres à plus de 100 mètres : faciès distaux).

Le fond matriciel des jaspéroïdes est cryptocristallin, totalement opaque et relativement homogène à l'exception des ponctuations noires précédentes. À la fracture, l'éclat est conchoïdal et confère au matériau une excellente taille.

L'examen à la loupe ou au microscope révèle plusieurs types de textures souvent riches en bioclastes (de type biomicrites), plus rarement oolithiques (oomicrite) ou mixtes (à oolites et bioclastes). Les textures microcristallines pouvant être rapportées à d'anciens sédiments initialement micritiques sont également fréquentes et parfois finement litées. Les solutions hydrothermales invasives vectrices de la silice n'ayant pas totalement oblitéré les textures originelles des protolites sédimentaires, nous déduisons que les microfaciès observés s'accordent à ceux des sédiments mis en place sur une bordure de plateforme marine. En raison de l'absence de phases carbonatées résiduelles, cette épigénèse siliceuse est totalement accomplie.

L'examen de la matrice des jaspéroïdes du Berry révèle de nombreuses veinules souvent anastomosées. Elles recoupent les ponctuations noires et les dendrites de la matrice et paraissent donc postérieures. Plusieurs générations peuvent être relevées. Certaines sont liées à des mécanismes d'extension (fractures ouvertes) et/ou de cisaillement (microfractures en baïonnettes). Ces réseaux de microfractures sont organisés selon des fentes ouvertes offrant de fréquents microdécrochements à angles constants, des relais et des échelons. Elles appartiennent à des réseaux de fissuration anciens postérieurs à la silicification principale et établis lors du fonctionnement tardif des failles majeures qui ont affecté la couverture sédimentaire et le socle sous-jacent.

Les veinules qui colmatent les microfractures précédentes sont siliceuses. La silice est parfois fibreuse avec des cristaux allongés perpendiculaires aux lèvres de l'ancienne fissure. Pour une majorité d'entre elles, ces veinules n'offrent pas de figures nettes d'interactions avec la matrice bordière. Toutefois la présence très exceptionnelle aux épontes d'une veinule à silice noire, d'une imprégnation siliceuse de la même couleur localisée dans les joints des bioclastes voisins a été notée. Ce point plaide en faveur d'une mise en porosité localisée de la matrice bordière à la suite de la fracturation et de la circulation de l'eau chaude. Cette porosité temporaire a ensuite été colmatée au même titre que la fissure associée. La microfracturation cicatrisée n'a pas affectée la taille du matériau comme l'attestent de très nombreux artefacts présentant les traces de la tectonique ancienne.

Certains nodules de jaspéroïdes noirs sont associés aux faciès bréchiqes et présentent une forte densité attestant la présence de barytine. Ce minéral est également suspecté à Saint-Jeanvrin par la présence de *boxworks* de cristaux formant un petit agrégat en châtaigne (1 cm) moulé par le quartz et localisé sur une diaclase en bordure d'un petit nodule. La morphologie des contre-empreintes correspond à une barytine aciculaire fortement développée selon l'axe [001] avec les faces primitives orthorhombiques (210) et ($\bar{2}$ 10).

Dans leur gîte secondaire du Sidérolithique, les teintes d'origine des jaspéroïdes sont affectées par une puissante rubéfaction très pénétrative qui leur confère une couleur rouge plus ou moins carminée, parfois presque noire. Cette rubéfaction intense affecte totalement la matrice des rognons, blocs et galets des jaspéroïdes emballés dans un fond argileux. Certains rognons acquièrent des structures internes zonées soulignées par des liserés noirs ou verts (La Motte-Feuilley, Indre).

Ces matériaux, intensément rubéfiés, appartiennent à des formations superficielles localisées sur ou au voisinage des gîtes primaires. Elles peuvent être rapportées au Crétacé inférieur et/ou à l'Eocène (Sidérolithique *s.l.*). Cette rubéfaction ancienne est acquise à la faveur d'une pédogenèse fortement oxydante lors de la formation d'altérites argileuses riches en Fe et Mn qui se sont développées aux dépens de la formation silicifiée hettangienne sous-jacente. Les argiles à jaspéroïdes rubéfiés du Bois du Pérou et de Chateaufeuillant

(Cher) appartiennent à ce type de dépôt secondaire formé *in situ* ou à proximité de l'Hettangien à silex.

Quesnel *et al.* (2009) notent la présence de galets de jaspéroïdes dans les cuirasses sidérolithiques. Localement, et parfois loin des gîtes primaires, ces altérites contiennent des cassons de jaspéroïdes hettangiens et de silex jurassiques à matrices totalement rubéfiées, impliquant dans ces dépôts des remaniements et des mélanges de matériaux d'origines variées. Ils sont scellés par des silcrètes tertiaires plus récents (La Motte-Feuilley près de Briantes (Indre), Serres près de Néret (Indre), Les Varennes-Le Petit-Foulinin près de Vicq-Exempt, Cher)).

La présence fréquente d'une patine récente, pelliculaire, invasive et de teinte rouge sang sur de nombreux artefacts des ateliers de taille (éclats, nuclei) doit être signalée et plus particulièrement celle des pièces qui ont stagné dans des sols argileux. La matrice interne ayant conservé sa teinte d'origine, ces faciès patinés à rubéfaction superficielle partielle et récente ne peuvent pas être confondus avec les matériaux rubéfiés précédents dont la rubéfaction date du Sidérolithique (*cf. supra*).

Notons enfin que les jaspéroïdes du Berry sont très sensibles à la chauffe. Au feu, ils acquièrent une teinte carminée sombre consécutive de l'oxydation du fer ferreux. De plus, et comme à l'accoutumée pour les matériaux siliceux (Masson, 1981 ; Bordes, 1969 ; Inizan *et al.* 1977 ; parmi d'autres), ils deviennent luisants et sont affectés par de fines craquelures de retrait liées à la perte de leur eau de composition. Ces craquelures sont généralement révélées par des cupules de gel.

Les jaspéroïdes de l'Hettangien du Berry ont été largement exploités à toutes les époques. Les sites ateliers sont fréquents sur la totalité de l'horizon silicifié. Cette matière première a été largement «exportée» par les hommes préhistoriques tant dans le sud du Bassin parisien (Aubry et Walter, 2003) que dans les Combrailles et le plateau bourbonnais (Piboule *et al.*, 1977) et même dans les sites du Paléolithique supérieur du Velay (Delvigne, 2016)

1.3. Silex oolithique du Bathonien (J2-3) du Berry

Localités types : Cher : Le Lavoir, Les Loges et La Croix des Mines à Chambon, La Celle, Bruère-Allichamps, le Bois Coquillon à Farges-Allichamps, Vallenay, Saint-Rhomble à Meillant.

Les silex se répartissent à plusieurs niveaux dans les calcaires oolithiques du sommet du Dogger dans la «Grande oolithe» du Berry. Ils sont fréquents de Villiers (Montlouis, Cher) jusqu'à l'ouest du Bois de Meillant. Vers l'Est, au nord de ce bois dans la région de Saint-Rhomble, la fréquence des silex oolithiques diminue. Ils laissent la place à des silex «chailleux» fins légèrement lités et de plus en plus pauvres en oolithes. Les carrières de Bruère-Allichamps situées au bord du Cher permettent d'accéder à leur gîte primaire (Valensi, 1954). Ces matériaux constituent des rognons décimétriques aplatis dont l'allongement est conforme à la stratification générale. Certains silex moulent les stratifications entrecroisées. Ils possèdent des textures identiques à celles des calcaires encaissants et présentent les mêmes irrégularités de distribution de taille et de fréquence des oolithes. La présence de coquilles fossiles remaniées (lamelibanches) peut être notée à la base de certaines strates et dans les silex attenants.

En gîtes secondaires, l'abondance des silex oolithiques dans les argiles de décalcification doit être soulignée. Ils peuvent y être associés à des silex riches en fossiles (à radioles d'oursins, crinoïdes, algues,...) et à des silcrètes tertiaires variés (notamment dans le secteur de Vallenay). Pareillement les silex oolithiques sont très fréquents dans les zones argileuses superficielles modernes installées sur la «Grande oolithe» et dans les sols et dépôts issus de leur colluvionnement (La Celle, La Croix des Mines,...). Dans les alluvions récentes et en particulier celles de la première terrasse du Cher, sensiblement à l'aplomb des carrières de Bruère-Allichamps, les silex jonchent les sols sous la forme de gros blocs ou de rognons en galettes dépourvus de cortex carbonaté. À la cassure, leur couleur est jaune clair, rousse ou noire. Ils peuvent y être mélangés à des silex alluviaux apportés et souvent rubéfiés issus du Lias supérieur voisin de la région de Noiriac (Bruère-Allichamps, Cher).

La structure des silex est héritée de celles des calcaires contigus. Un litage net peut être observé avec des rubans pluri-centimétriques offrant un granoclassement normal. Certains lits présentent des matériaux à textures contrastées (silex mixte lité à texture bioclastique alternant avec une texture oolithique, lits à oolithes de granulométries contrastées, succession de lits à « *graded-bedding* », ...).

À l'affleurement, le cortex du silex est généralement blanc, granuleux et constitué d'oolithes millimétriques et jointives. En coupe, l'enveloppe est conforme aux limites du rognon et comporte soit un cortex simple soit sous celui-ci, plusieurs enveloppes sous-corticales de couleurs distinctes (crème, ocre, noire,...). Lorsque le rognon présente à ses bordures un litage net, les enveloppes sous-corticales le recoupent ou s'infiltrent le long. Dans les zones faillées, les rognons traversés par des diaclases montrent également un cortex très pénétratif qui s'invagine sur plusieurs centimètres le long des microfissures de la matrice centrale.

La texture des matériaux correspond à celles des oomicrites ou des oobiosparites. Le diamètre des oolites varie entre 1 et 4 millimètres. Pour la majorité d'entre-elles la forme est régulière et sphérique. Toutefois les plus grosses ont souvent des sections ellipsoïdales. Quelle que soit leurs tailles, la structure des oolithes est généralement zonée à 2 ou 3 couches fines concentriques et entourant un nucléus homogène de grande taille. Au microscope la couche externe est toujours limpide. Quelques bioclastes millimétriques montrent une enveloppe externe équivalente. Certaines oolithes (particulièrement les plus grosses) sont creuses : le nucléus, initialement carbonaté ayant été affecté par une dissolution tardive seule la couche siliceuse externe contigüe de la matrice fine subsiste. La matrice interstitielle est finement micritique et souvent blanche au niveau des enveloppes sous-corticales.

Ces matériaux bien typés ont été utilisés au Paléolithique inférieur et au Moustérien dans le nord du Massif central (Musée de Saint-Amand-Montrond : alluvions du Cher, Nérès-les-Bains (Marignon I), Saint-Bonnet-de-Four, Meillers). Il s'agit de bons traceurs des cheminements humains préhistoriques.

1.4. Silex jurassiques des formations rouges rapportées au Crétacé inférieur et/ou à l'Éocène inférieur (Sidérolithique sl.)

Localités types: Allier : Petit-Villevandret à Chazemais, Nassigny.

Sous-jacentes aux formations tertiaires du Bourbonnais et situées de part et d'autre de la vallée du Cher au nord de Montluçon, les formations rouges du sidérolithique sont rapportées selon les auteurs au Paléocène (Deschamps, 1973 ; Turland,

1983 ; Thiry et Turland, 1985), à l'Eocène *s.l.* ou même au Crétacé inférieur (Quesnel et *al.*, 2009). Argilo-gréseuses et riches en fer ferrique, elles correspondent à d'anciennes cuirasses. Lorsqu'elles se sont formées dans des fonds de vallées, elles offrent de fréquentes lentilles conglomératiques. Leurs galets roulés sont pour la plupart quartzeux. Toutefois, sur la rive gauche du Cher, à Nassigny et à Petit-Villevandret (cf. Turland et *al.*, 1990) les galets sont dominés par des «chailles» d'âge jurassique. Ces matériaux conglomératiques sont les témoins d'un ancien réseau fluvial contemporain d'une puissante phase de démantèlement du socle du Massif central et de sa couverture jurassique à silex. Chronologiquement cette érosion ancienne de la bordure méridionale du Bassin parisien est antérieure à l'Eocène supérieur.

Dans les deux gisements cités ici, les galets ont des formes ovoïdes et peuvent atteindre une quinzaine de centimètres. Leur surface de couleur variable (jaune claire, ocre, rouge,...) atteste souvent d'une rubéfaction liée au contact des grès rouges encaissants. Cette surface est souvent lustrée, finement piquetée et porteuse de quelques rares stigmates usés de chocs («coups d'ongle»), autant de témoignages d'un ancien martelage fluvial.

À Petit-Villevandret, la coupe d'un galet montre un cœur roux ou parfois noir et une enveloppe externe blanche (néocortex) épaisse (3,0 mm à 3,0 cm). Une enveloppe grise sous corticale l'accompagne le plus souvent. Elle est grenue à quartz largement recristallisé. Sa base est soulignée de taches rouges sang ou d'un liseré brun-rouge. Les produits issus de cette oxydation du fer s'infiltrèrent de façon centripète le long des surfaces de discontinuités et de fissures du matériau. Certains galets témoignent d'une généralisation de cette altération oxydante et offrent de larges zones grenues quartzueuses et accompagnées d'oxydes de fer (goethite, hématite...). On constate souvent la disparition de la matrice centrale ancienne, voire même l'oblitération de certaines structures zonées précoces établies au début de son altération.

La matrice rousse centrale est finement bioclastique, voire cryptocristalline. Elle peut montrer un vague litage sédimentaire qui témoigne de variations granulométriques du sédiment carbonaté initial. Lorsqu'elle est noire, elle peut être affectée par des structures zonées concentriques irrégulières. Il s'agit de zonations à textures

nuageuses régulièrement espacées et séparées par d'étroits liserés sombres. Ces figures zonées sont ici accompagnées d'un début de recristallisation du quartz. Elles témoignent de fronts successifs de restructuration de la matrice siliceuse poreuse lors d'invasions périodiques par des eaux de percolation. Ces zonations sont assez fréquentes dans les silex des alluvions modernes affectées par de forts balancements de leurs nappes phréatiques. À Petit-Villevandret, il est probable qu'elles aient été acquises très anciennement dans les alluvions qui ont subi ensuite la puissante rubéfaction sidérolithique, témoignant alors d'une phase climatique puissamment oxydante.

À Nassigny, les galets de chailles jurassiques ont été utilisés dès le Paléolithique moyen (atelier moustérien du Mont-Chévrier : Piboule, 1974; Pasty, 2001). De tels silex ont été retrouvés à une cinquantaine de kilomètres au sud-est sous la forme d'un éclat et d'un nucléus sur le site badegoulien de la Contrée Viallet (Gannat, Allier) (Lafarge, 2014).

1.3. Quartzites lustrés du plateau bourbonnais

Ces matériaux siliceux sont fréquents dans le Bourbonnais où ils ont été signalés la première fois à Louroux-Hodement (Allier) lors de la cartographie de la feuille de Hérisson (Turland et *al.*, 1989). Leur vaste répartition géographique, dans le nord du Massif central, mérite d'être soulignée. On les rencontre en effet dans tous les sols du Bourbonnais jusqu'aux marges du Berry ainsi que dans ceux des bassins de Roanne, du Forez (comm. pers. V. Georges) et de la Grande Limagne.

Dans l'Allier, leur présence est assez systématique dans les sols des points culminants (La Juche à l'est de Voussac, Meillers,...), des interfluves (région de Prémilhat), des rebords du plateau bourbonnais (Verneix, Saint-Angel, Chamblet,...) où sur le socle situé en bordure des formations tertiaires (Domérat, Les Rimords à Montluçon,...). Ces matériaux paraissent ainsi inféodés à une paléosurface anté-Éocène antérieure à la subsidence des bassins tertiaires de la région. Les âges précis du dépôt et de la silicification de ces matériaux restent cependant indéterminés.

En gîtes primaires, cette formation n'a été reconnue que dans la vallée de la Besbre au nord de la Montagne bourbonnaise (secteur de Châtelperon). Elle est également signalée comme «banc grésifié» à la base du Bassin de Domérat-Montluçon au nord

de la colline des Grises (Les Ferrandes et Bois-Rigaud (Turland, 1989). Dans ce gîte, les quartzites paraissent antérieurs aux formations tertiaires du bassin. Aux pourtours de ces deux rares gîtes primaires les blocs de quartzites lustrés sont très abondants et attestent du puissant démantèlement de cette formation détritique ancienne.

Dans les gîtes secondaires, ces matériaux participent avec des blocs de quartz hydrothermaux et des galets à facettes (*dreikanter*) à des *stone lines* situées à la base des sols actuels (Louroux-Hodement, La Pacaudière, Loire,...). La surface lisse et lustrée des faces des gros blocs attestent des effets d'une forte éolisation, suivie d'une légère dissolution superficielle. Les arêtes très émoussées et arrondies peuvent témoigner également de transports colluviaux, voire alluviaux anciens.

L'examen pétrographique de ces quartzites montre une composante arénique importante dominée par des clastes anguleux de quartz millimétriques et de très rares grains de feldspath et de zircon. Les grains de quartz sont généralement monocristallins. Ils offrent souvent des bords linéaires témoins d'une dissolution préférentielle selon les principaux plans cristallographiques du minéral. Les grains sont emballés dans un matériel optiquement isotrope jaune (opale). Cette phase ne montre aucune recristallisation. Par contre, localement, elle montre sur quelques millimètres d'extension un très fin litage interstitiel témoin d'un dépôt argileux déposé lors d'une phase de percolation. Ces reliques texturales attestent à l'origine d'illuviations périodiques comparables à celles des silcrètes. Ces détails permettent de rapporter la majorité de ces quartzites à d'anciens sols sableux et siliceux, perméables, soumis à une légère dissolution du quartz et consolidés par une imprégnation opalifère tardive.

Notons ici la présence exceptionnelle sur le rebord du plateau Bourbonnais à l'ouest de La Châtre (Verneix, Allier) de fréquents blocs de quartzites conglomératiques, indiquant que des alluvions très anciennes ont subi le même type de silicification que les sols aréniques associés précédents.

L'utilisation des quartzites lustrés au Paléolithique moyen est assurée par la présence de quelques pièces (éclats, percuteurs,..) sur le site moustérien de Saint-Bonnet-de-Four et par de rares éclats anciennement trouvés dans la région.

Signalons que ce même matériau, assez ubiquiste dans le nord du Massif central, a été retrouvé lors de la fouille de Sainte-Anne I (Polignac, Haute-Loire).

1.6. Silcrètes et silex tertiaires : Éocène supérieur à Oligocène

Localités types : En raison de leur fréquence les gîtes de silex tertiaires dans l'Allier concernent surtout l'Ouest du département et sa limite nord avec le Cher (Hémi-bassins de Montluçon-Domérat et de Saulzais-le-Potier). Ils sont rapportés à la formation des « calcaires du Berry » (Eocène supérieur) (Lablanche et al., 1994). Dans l'interfluve Allier-Cher, les gîtes à silex d'âges équivalents sont nombreux mais très localisés, se présentant sous la forme de petits placages résiduels (régions de Villefranche d'Allier, Cosne d'Allier, Montmarault, Chamblet...). Plus à l'Est, dans l'interfluve Allier-Loire, ils ne concernent que quelques rares gîtes dont les plus connus sont ceux de Saligny sur Roudon (Allier), Montaigut le Blin (Allier) et La Pacaudière (Loire) tous les trois rapportés à l'Oligo-Miocène.

La majorité des matériaux siliceux récoltés se rapportent à des silcrètes. Ces matériaux (souvent appelés « silexites » sur les cartes géologiques) offrent des structures, des textures et des teintes très variées, contribuant à la forte hétérogénéité des faciès lithologiques, non seulement entre les gîtes, mais également au sein d'un même gîte.

Génétiquement, le processus de silicification responsable de ces matériaux suit avant tout un mode hydrique, avec apport de silice dans un matériel sédimentaire. Il est consécutif d'un transport par voie phréatique (silcrète de nappe) ou par la voie des eaux de sub-surface (silcrète pédologique). L'analyse détaillée de ces matériaux permet de reconnaître ces deux modes de silicification épigénétiques et la variabilité des protolites à l'origine des silex. Associés à ces silcrètes, on peut noter la présence de matériaux subordonnés dérivés de la silicification d'argiles lacustres à cachet évaporitique (p. ex. silex à ostracodes et gastéropodes pulmonés fossiles et à pseudomorphoses siliceuses de cristaux de gypse) et celle plus commune de boues à débris de végétaux et moules racinaires (silcrètes à « typhas »). Quelques silex témoignent d'une origine plus franchement lacustre comme l'indique la présence de gastéropodes fossiles (limnées, planorbes,...), d'ostracodes et d'algues (characées). Ces derniers sont étroitement liés et peuvent être associés à des

silcrètes pédogénétiques (ex. Urçay, Saint-Bonnet-de-Four,...).

1.6.1. Bassin de Montluçon-Domérat

Localité type : Allier : Couraud et Chateaugay à Domérat.

Les matériaux siliceux (e-g1s) du bassin de Montluçon-Domérat (Turland et *al.*, 1989) ont été cartographiés avec les calcaires locaux de Domérat (e-g1c) définis par De Launay (1893) puis par Deschamps (1973) sans que les relations entre les deux ensembles lithologiques soient bien définis. Leurs gisements ont pu être cernés à la faveur des travaux récents de terrassement de la zone commerciale de Chateaugay et de l'élargissement de la voie rapide près de Couraud.

En gîte primaire, les silexites sont localisées principalement à la base des calcaires tertiaires situés sur des formations argilo-gréseuses des premiers niveaux du bassin (Couraud) et sur celles à niveaux rouges (sidérolithique remanié à Chateaugay). Les mécanismes de silicification paraissent être contrôlés par la présence d'argilites sous-jacentes et guidés par la dissolution des calcaires sus-jacents. Les dépôts siliceux les remplacent par les lithoclastes (joints et fractures) qui ont servis de drains verticaux (Chateaugay). La silicification s'exprime par le remplacement progressif des parois (épigénie), le tapissage et le remplissage siliceux des espaces vides.

Le remplacement inachevé des calcaires conduit à des rognons à morphologies "cérébroïdes", mamelonnées ou allongées selon la verticale, et dont certaines s'apparentent à des "poupées". Ces dernières peuvent être creuses et présenter un canal axial qui a servi régulièrement aux transferts hydriques successifs et à la lente migration de la silice *per descensum*. Le remplacement siliceux extrême conduit localement (Couraud) à l'établissement d'une dalle de silexites massives d'épaisseur plurimétrique. En coupe cette dalle surmonte un stock filonien diffus donnant aux calcaires un aspect de brèche. À sa base ou à ses bordures latérales, des opales de type "résinite" sont fréquentes. Cette polarité des silcrètes d'origine phréatique est assez générale dans le Bourbonnais.

En gîte primaire, la teinte des silcrètes de la région de Montluçon varie du blanc au gris bleu et au noir pour les matériaux à matrice opaque. Les bordures des rognons ou des petits filons

siliceux sont sombres sur un centimètre et peuvent présenter des fines dendrites ferromanganésifères invasives dans certaines matrices blanches ou semi-translucides. À la fracture, la surface des silex est mate et porcelanée. Ceux issus d'une dalle présentent une cassure conchoïdale, à surface plus lisse et luisante, correspondant à une texture cryptocristalline plus fine du matériau.

À la bordure sud-ouest du bassin de Montluçon-Domérat la dissolution totale des calcaires à silex a conduit à des dépôts argileux souvent riches en matières siliceuses résiduelles (ex. Les Maisons Rouges à Prémilhat ; Les Rimords à Domérat;...) voire même, sur le socle granitique ou métamorphique, à des arènes à silex (Perreguines Vaux/Saint-Victor ; Les Thoumassons à Lavault-Sainte-Anne/Néris ; Prémilhat ...). Ils se présentent alors sous la forme de cassons ou de graviers, souvent caverneux et affectés par une dissolution poussée, voire même parfois par une éolisation ancienne. L'extension de ces lambeaux argileux à silex résiduels est très mal définie cartographiquement.

En raison d'une très bonne aptitude à la taille, les silex du bassin montluçonnais ont fait l'objet d'une longue exploitation du Paléolithique moyen jusqu'au Néolithique. Plusieurs ateliers sont connus sur les gîtes cités précédemment. Faisant généralement l'objet d'une diffusion locale, au moins un nucléus en silcrète de Domérat-Montluçon a été reconnu sur le site des Venesmes (Saint-Amand-Montrond, Cher).

1.6.2. Bassin de Saulzais-le-Potier

Localités types : Allier : Les Pics à Urçay, Cher ; La Perche, Ainay-le-Vieil, La Celette, Favardines, La Roche Bridier.

Ce secteur, situé de part et d'autre du Cher, aux limites de trois départements (Allier, Indre et Cher) présente un potentiel important de silicifications variées. Il appartient à l'hémi-bassin de Saulzais-le-Potier qui s'étend d'Epineuil-le-Fleuriel (Cher) à La Celette en Berry. Déjà noté par Valensi, (1954), le gisement le plus typique est celui de La Roche-Bridier. Cet auteur décrit des «meulières» étroitement associées aux "calcaires du Berry". Il les rattache à celles de la butte des Combles à Urçay. L'attribution de cet ensemble à l'Éocène supérieur tient à la présence d'un gastéropode (*Bythinia duchasteli*) observé dans les mêmes calcaires de la région de Meaulne (Allier) (De Launay, 1893)

et dans les meulières des Combles à Urçay (L. Valensi, 1954).

1.6.2.1 - Dalle de silexites et calcaires silicifiés de La Roche-Bridier

Ce village offre l'un des rares affleurements de calcaires du Berry intensément silicifiés du bassin. Le gisement présente une dalle épaisse (3 mètres) qui rappelle par ses matériaux celle de Couraud (Domérat). Elle est affectée par une silicification tardive qui détermine un réseau serré de filonets anastomosés, de veinules et de zones riches en cavités tapissées de quartz. La densité des infiltrations siliceuses détermine une structure pseudo-bréchique à îlots carbonatés diversement silicifiés. Le remplacement des éléments carbonatés par la silice conduit à leur réduction et confère à la roche une texture grumeleuse. L'examen pétrographique a été largement détaillé par Valensi (1954). L'intérêt de son descriptif réside dans la mise en évidence d'un remplacement épigénétique du matériel calcaire et d'une séquence de dépôts des minéraux siliceux avec d'abord l'opale puis les formes fibreuses de la silice (quartzine ou calcédonite) puis le quartz. Ces roches siliceuses sont variées et peuvent être rapportées à des silcrètes qui dérivent de sédiments lacustres ou palustres. Elles sont souvent riches en résidus racinaires fossiles.

1.6.2.2 - Silex en plaquettes du plateau calcaire de Grand-Chaumoux (La Celette)

Les matériaux siliceux y sont peu fréquents mais de bonne qualité. Ils se présentent sous la forme de plaquettes d'épaisseur variable (de 1 cm à 10 cm) présentant un contact net avec l'encaissant calcaire. Les deux matériaux présentent également de nombreux tubules racinaires. Des dendrites de teinte marron clair sont fréquentes dans les plaquettes les plus épaisses. Certains silex en tablettes (< 3 cm) présentent des textures vaguement fluidales à micro-sphéroïdes (vadoïds) à bordures floues. Ce faciès est souvent associé à des calcaires pseudo-oolithiques. À la fracture, ces silex semi-translucides présentent des teintes grises à jaune paille clair. Leur résidence dans les sols issus de la décalcification des calcaires leur confère une patine blanche.

1.6.2.3 - Dalle siliceuse démantelée de La Perche

Il s'agit de gros blocs issus d'une dalle d'épaisseur métrique. Ces blocs sont constitués de matériaux à textures généralement hétérogènes

et le plus souvent grumeleuses. Le cailloutis de pente situé immédiatement au pied de l'ancienne dalle offre des silex très variés avec des silexites porcelanées blanches ("opalites") à blanc-bleuté, des silex transparents ou semi-transparentes de teintes variées (blonds, gris-bleu,...), des silex à dendrites. On trouve également des matières premières originales qui méritent d'être signalées :

* Les silex opaques à aspect jaspoïde bruns à jaune-orangé présentent un fond à texture très fine parfois affecté par des structures réticulées polygonales ("en grillage") correspondant à d'anciens réseaux de fissures en coins liées au retrait du sédiment. Ce faciès dérivé d'argilites s'est établi à la faveur d'une forte dessiccation à l'air libre avant leur enfouissement et la silicification tardive. Ces silex sont dépourvus de fossiles.

* Des silex jaspoïdes jaunes à fossiles de gastéropodes limniques (limnées, planorbes, *Bithynia duchasteli*). Leur présence confirme également l'origine lacustre des sédiments précurseurs de la silicification. Un matériau jaspoïde comparable a été rencontré aux Pics à Urçay avec *Limnaea sp.*

* Dans tout le bassin de Saulzais, les silex à vestiges racinaires (faciès à «typhas») sont fréquents. Ces reliques peuvent être observées à la base des cortex ou dans la matrice des plaquettes sous la forme de tubules souvent vides en réseaux anastomosés. L'examen des parties corticales des silex semi-transparentes à transparents révèle aussi des accumulations à débris végétaux fossiles (algues ?).

* L'examen de certaines plaquettes fait ressortir la fréquence des textures à micro-sphéroïdes (vadoïds). Ces formes sont rapportées à des pelotes algales qui se développent dans les sols humides (Peryt, 1983). Ce point est à mettre en parallèle avec la présence de calcaires pseudo-oolithiques ou pisolithiques associés aux silex à typhas. Quelques encroutements rubanés attribuables à des stromatolithes ont été rencontrés à proximité de La Celette (ex : dalle de Favardines).

* Opales : L'opale est accessoirement présente dans le secteur de La Perche. On peut l'observer encore plus fréquemment dans les fonds des vallées argileuses de la région de Favardines ou de La Celette. Malgré des conditions d'affleurement défavorables, les argilites vertes situées sous la dalle siliceuse des Pics à Urçay délivrent ce minéral. Il se présente sous la forme de rognons discoïdes

plats et peu épais (épais de 3 à 4 cm), de teinte brune à violacée proche des opales du Château de Peufelioux au nord de Vallon en Sully (Allier).

Ainsi, les calcaires du Berry offrent dans le secteur d'Epineuil-le-Fleuriel-La Celette des silicifications très variées, comportant des silex dérivés d'un matériel sédimentaire typiquement lacustre (ou palustre). La présence de fossiles végétaux ou animaux s'accorde avec une telle origine. Certains faciès à caractères jaspoïdes s'individualisent pétrographiquement des autres silexites en se rapportant à des matériaux témoignant peut-être des phases de retraits lacustres. Les conditions physico-chimiques de l'épigénie siliceuse paraissent se rapporter à celles des silcrètes phréatiques.

Au plan préhistorique, le bassin de Saulzais-le-Potier avait été reconnu comme une zone particulièrement riche en silex, en particulier dans la région de La Perche (Piboule et *al.* 1974). La présence à La Perche ou à La Roche-Bridier d'abondants déchets de taille et d'industries préhistoriques *s.l.* en matières premières locales, corrobore cette première reconnaissance.

1.6.3. Silcrètes pédogénétiques de la moyenne vallée du Cher

Localités types : Cher : Preuilly, Sainte-Thorette, Villeneuve-sur-Cher

Elles se présentent sous la forme de rognons ou de fragments de dalle pluricentimétriques à décimétriques, épais de plusieurs centimètres. Les rognons les plus volumineux présentent une zonation marquée, le cœur de la silcrète, qui apparaît blanc opaque, étant moins bien silicifié que la zone endocorticale, elle, de couleur grise transparente.

La zone corticale est généralement blanche à jaune, grumeleuse, carbonatée et d'épaisseur variable (généralement plurimillimétrique), à forte porosité et portant fréquemment des traces de tubes racinaires. La limite avec la zone silicifiée à proprement parler est diffuse et irrégulière, marquée par de fréquentes invaginations (initiées le long des tubes racinaires) et soulignée par une bande de silice de couleur blanche (front de désilicification ?).

La structure de la roche a enregistré celle du protolite (calcaire palustre, dits « calcaires du Berry »), l'aspect hétérogène de la silicification résultant en fait de l'héritage pédologique de

l'encaissant (structure de sol). Cette observation est renforcée par la présence de quelques figures d'illuviations et par l'aspect « floconneux » de la matrice. Les *allochems* sont de taille variable et se retrouvent sous la forme de fréquents intraclastes blancs et de grains de quartz arrondis. De nombreux petits éléments (< 50 microns) de nature indéterminée sont également représentés. Outre la composante détritique, nous avons pu observer la présence de quelques sphérolithes à remplissage de quartz automorphes à croissance centrifuge qui peuvent s'être développées aux dépens d'ooides carbonatées dissoutes puis remplies secondairement (sphérolithes) ainsi que de nombreuses traces de racines de taille variable. La lumière des tubes racinaires est généralement colmatée par une silice plus limpide que celle de la matrice bien que certains tubes puissent rester vides. Nous avons reconnu des faciès semblables mais plus riches en *microvadoids* (Peryt 1983) plus au nord sur la commune de Brinay (Cher).

Ce type de matériau forme l'essentiel des industries préhistoriques (Paléolithique à Néolithique) récoltées sur les sites de surface dans la moyenne vallée du Cher (Angevin et *al.*, ce volume).

1.6.4 - Interfluve Allier-Loire

Localité type : Allier : Tilly à Saligny-sur-Roudon

L'origine géologique du silex lacustre de Tilly est mal précisée sur la carte géologique, car il n'existe aucun affleurement de ce matériau. Il n'en subsiste que de rares témoins très localisés dans le vallon de Tilly. Il s'agit de blocs anguleux non remaniés issus des formations oligo-miocènes (G3-m1a) situées sous la formation des «sables à chailles du Bourbonnais» (Delfour et *al.* 1989).

Ces matériaux tertiaires comportent principalement des termes d'origine lacustre à oncolites et gastéropodes pulmonés. Les oncolites sont ovoïdes à sphériques de teinte blanche et de tailles millimétriques à pluri-centimétriques. Ces objets sont systématiquement zonés et offrent des couches concentriques centrées sur un nucléus comportant une ou plusieurs pseudo-oolites contiguës. Les couches montrent fréquemment des structures de croissance concrétionnées à microlobes festonnés, étroitement serrés et orientés radialement. Ces silex présentent parfois de petites constructions

stromatolitiques finement zonées. La base de ces édifices est plate et conforme à la stratification ; le sommet est convexe. La matrice générale de ce matériau est de teinte variable (blanche, jaune, ocre, grise,...). Elle présente un rubanement discontinu souligné par de fines concrétions algales gaufrées qui recouvrent parfois les gastéropodes fossiles. Localement ce fond prend une texture à pseudo-oolites de petites tailles, dispersées et comparables à celles des nuclei oncolitiques précédents. La matrice et les oncolites de certains blocs présentent des cavités de dissolution qui témoignent d'un matériel siliceux initial partiellement carbonaté. Par leurs faciès d'origine et leurs fossiles, ces silex paraissent être l'équivalent des calcaires construits à stromatolites de l'Oligocène supérieur de la Limagne bourbonnaise et de la Comté d'Auvergne. Des silcrètes - plus rares - ont également été reconnus sur ce même gîte.

Ces deux matériaux siliceux dits " silex de Tilly" (Bailleau, 1872 ; Delporte, 1968) ont été utilisés localement au nord de la Montagne Bourbonnaise, entre la Loire et la Besbre et plus particulièrement au Paléolithique moyen. Ils constituent également une bonne partie de l'industrie lithique des niveaux châtelperronien et aurignacien de la Grotte des fées à Châtelperron (Delporte, 1968).

1.7. Silex des sables du Bourbonnais

Cette formation alluviale dite des " sables à chailles du Bourbonnais " est rapportée au Plio-quadernaire d'après les travaux de cartographie du BRGM. Elle occupe une partie importante de l'est du département entre Loire et Allier et se poursuit au nord bien au-delà du Bec d'Allier, jusqu'à la région de Sancerre (Cher). La carrière des Grands-Brulés à Pierrefitte sur Loire (Allier) située à la base de la formation permet une bonne reconnaissance des matériaux siliceux. Elle correspond à des alluvions sableuses grossières riches en galets siliceux. L'extension de la formation et la variabilité des matériaux de la famille des silex ne permettent pas pour l'instant d'établir à partir des seules observations effectuées dans cette carrière des éléments diagnostiques relatifs aux différents faciès de silex.

Ces sables sont caractérisés par la présence de " chailles " jurassiques, de silex d'âge indéterminé, de silcrètes cénozoïques et par de rares quartzites. Les morphologies peu évoluées des galets et l'état des surfaces corticales impliquent des sources

relativement proximales (Charollais, Brionnais, région de Roanne,...). Certains silex à patines noires offrent des zones de recristallisation du quartz rendant ces matériaux inaptés à la taille. Par contre, d'autres offrent une matrice particulièrement fine et paraissent échapper à ce vieillissement. La nature des cortex préservés, l'épaisseur de la zone sous-corticale, la complexité des zonations impliquent qu'antérieurement à leur incorporation dans le réseau alluvial ces silex ont longuement résidé dans des altérites de décalcification (argiles à silex). Au contraire, les stigmates de chocs portés par les galets impliquent un transport fluvial court avant l'épandage alluvial final. Leur résidence au sein de la formation sableuse s'accompagne pour certains d'entre eux d'une reprise d'évolution corticale (altération tardive) attestant de nouvelles conditions physico-chimiques. Les termes ultimes de ses transformations conduisent aux «silex épuisés» dont une partie de la matrice siliceuse a été dissoute laissant la place à une trame à microquartz et calcédonite (Delfour et *al.*, 1990).

La formation des «sables à chailles du Bourbonnais» alimente en matériaux siliceux les alluvions récentes et actuelles de la Loire et de l'Allier, ainsi que celles des affluents du réseau hydrographique moderne (interfluve Allier-Loire, Basse Sioule en aval de Saint-Pourçain...). Notons que la reprise érosive récente complique d'autant plus la problématique de l'origine précise et de l'histoire des silex issus de cette formation.

Les chailles des « sables du Bourbonnais » ont été particulièrement exploitées au Paléolithique moyen, comme l'atteste leur fréquence dans les ateliers moustériens de Saint-Bonnet-de-Four ou du Bois Perdu à Gipy. Ce simple fait implique des collectes dans un très large secteur géographique qui peut s'inscrire dans le polygone Sancerre / Saint-Pourçain-sur-Sioule / Roanne / Digoin / Nevers. Une meilleure connaissance des matériaux siliceux dans ce secteur devrait permettre de circonscrire les zones alluviales d'approvisionnement au Paléolithique moyen.

2. Matières premières utilisées sur les sites moustériens de Meillers et de Saint-Bonnet-de-Four

La description des silex délivrés par les principaux gîtes producteurs de la région a permis de revoir leur fréquence d'utilisation au Moustérien. Seules les matières premières siliceuses les plus

fréquentes et les mieux typées des sites ateliers locaux (*cf. supra*) ont été retenues dans cette note. Deux sites moustériens producteur de matières premières et pour lesquels le nombre d'artéfacts est conséquent ont été pris comme exemple. Ils permettent d'entrevoir la fréquence d'utilisation des matières premières locales, de cerner l'origine géographique des approvisionnements et d'appréhender les apports de silex d'origines lointaines.

Sur le site atelier de Meillers, les pièces d'origine exotique s'avèrent extrêmement rares (deux pièces notées pour le sondage de Piboule et de Renard de 1979 et 1982, Merlet et *al.*, 1981). Les quelques collectes de surface effectuées, à l'époque et récemment, confirment cette extrême rareté avec seulement quatre autres pièces reconnues comme étrangères à la région. Parmi celles-ci, deux en jaspéroïde de l'hettangien, une en silex oolithique du Berry et une chaille fine ont été reconnues. Le matériau de la quatrième pièce (un biface) est nettement distinct des chailles des sables du Bourbonnais et dont l'origine géographique n'est pas cernée. Enfin, rappelons ici que sur les autres gisements moustériens de la région, les sinters de Meillers n'ont – jusqu'à maintenant – été observées de façon notable que sur le site de Saint-Bonnet de Four situé à 28 km au sud-ouest.

À Saint-Bonnet-de-Four le site atelier a délivré de nombreux racloirs en matériaux divers comprenant des silcrètes locaux, des galets de quartz et des silex exogènes issus du Bassin parisien et de l'Auvergne (figure 2). Sur un premier effectif de 2000 pièces, l'origine géographique et la nature des matériaux de 1545 pièces ont été reconnues. Les silcrètes issus du gîte local représentent 56 % de l'ensemble. Le nombre d'artéfacts d'origines semi-locales (< 50 km) s'élève à 24 % avec une très forte dominante des chailles issues des «sables du Bourbonnais» et/ou de celles remaniées et collectées sur les plages actives de l'Allier ou de la Loire. Les silex noirs de Gros-Bois et les sinters de Meillers, situés à des distances sensiblement équivalentes, sont représentés par 2,3 et 2,6 % des pièces. Les distances aux sources distales sont pour les matériaux du Bathonien oolithique (0,3 %) de l'ordre de 60 km, et pour ceux encore plus éloignés du Turonien inférieur pour le secteur de Meusne-Valençay (Loir et Cher) (1,7 %) ou du Sénonien de Savigny (près de Sancerre) (0,5 %) de 130 km. Au sud, la Comté d'Auvergne située à près de 90 km a

fourni seulement quelques pièces en silex lacustres stampiens (0,5%) dont une pièce issue d'un galet de l'Allier.

Certains des artéfacts provenant des domaines les plus éloignés offrent les marques d'une forte utilisation, de réaffutages successifs, voire de reprises d'outils usagés pour une production finale de petits éclats. Ces pièces usagées ou réutilisées impliquent leur abandon et leur remplacement sur le site. Les rares outils équivalents en matériaux locaux n'offrent pas une telle utilisation extrême. Il en est de même pour les silex noirs du permien (26 km) et les chailles issues principalement des alluvions de l'Allier (distance moyenne de 40 à 50 km). La quasi absence de nucléus volumineux en matériaux exotiques est également à souligner. Seul un unique nucléus de cette catégorie et provenant de l'Hettangien du Berry – distant de 55 à 70 km – se démarque de cette tendance. Les outils et éclats de ce domaine lointain et abandonnés sur le site représentent 4,5 % de l'effectif total.

Les sites ateliers de Meillers et de Saint-Bonnet-de-Four offrent des données extrêmement différentes quant à l'utilisation des matières premières locales. À Meillers, « l'importation » de matières étrangères au site est très anecdotique (sauf peut-être dans la couche 11 fouillée, Merlet et *al.* 1981) et l'effectif des pièces d'origine lointaine est trop faible pour invoquer une stratégie d'abandon et de réapprovisionnement comme cela peut être le cas à Saint-Bonnet-de-Four. Cette démarche implique, qu'au passage sur ce site, les moustériens pratiquent une substitution des pièces en matières premières souvent de bonne qualité mais très usagées par des matériaux permettant d'assurer les besoins futurs.

La figure 2 illustre l'existence de deux principaux axes de déplacements des Moustériens ayant occupés le site de Saint-Bonnet-de-Four. Le premier emprunte la vallée de l'Allier depuis la Comté d'Auvergne jusqu'à celle de la Loire au niveau de Sancerre. L'important approvisionnement en chailles se situe probablement en partie dans la région de Moulins-Nevers sur les plages de l'Allier, au point moyen des deux extrêmes précédents. Les deux gîtes de matières premières siliceuses du Permien (Gros-Bois et Meillers) se situent sur ce cheminement vers l'Allier proximale. Le second axe, dirigé vers le Berry, implique des transits par les vallées de l'Aumance, du Cher et de l'Arnon pour atteindre les domaines d'approvisionnement de

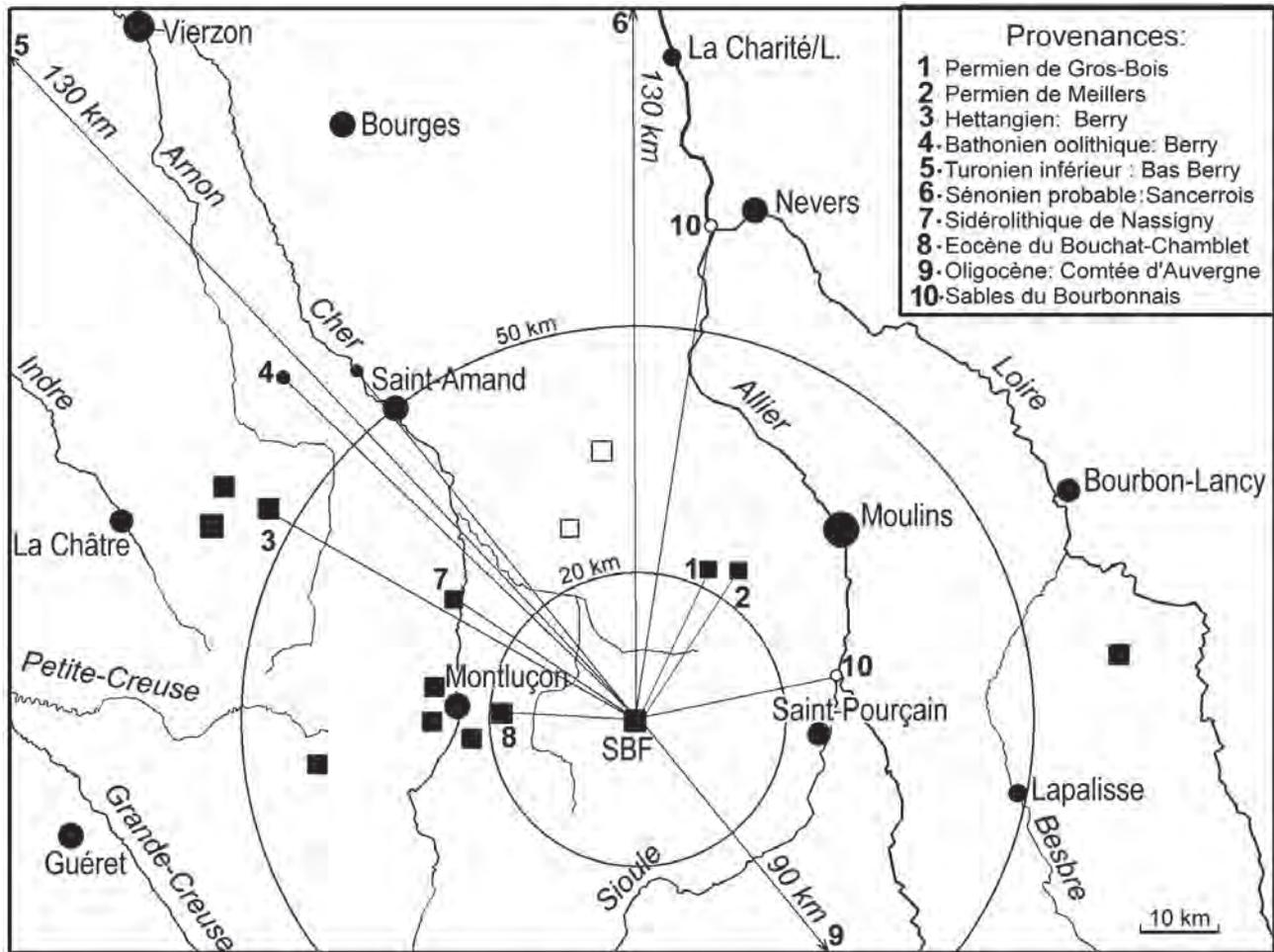


Figure 2 : provenances des matières premières utilisées sur le site de Saint-Bonnet-de-Four (SBF).

Carrés noirs : principaux sites ateliers moustériens, carrés clairs : sites moustériens principaux, cercles clairs : pour le lit de l'Allier : limites possibles de la zone de collecte des silex alluviaux ou issus des sables du Bourbonnais.

l'Hettangien, du Bathonien et du Turonien inférieur du Bas-Berry (Moulins-sur-Céphon, Valençay, Meusnes). La mise en évidence de quelques pièces issues des ateliers de Nassigny, de Vicq-Exempt et des argiles à silex du Turonien inférieur -et non discutés ici- paraissent valider cet axe principal.

3. Conclusions

Le département de l'Allier et ses bordures septentrionales offrent une grande variété de matières siliceuses lithiques dont les origines et les âges sont variés. Les formations embrassent des matériaux d'origine hydrothermale (sinters et jaspéroïdes), d'origine marine (silex et «chailles») et d'autres typiquement continentaux (silex lacustres, silcrètes pédologiques et phréatiques,...). L'ensemble de ces matériaux offre plusieurs types d'occurrences avec des gîtes primaires dans les formations géologiques d'origine et d'autres moins limités dans leurs gisements et plus ubiquistes en

gîtes secondaires principalement alluviaux. Cette dispersion secondaire n'est pas sans problème pour reconnaître l'origine géographique des collectes de l'homme préhistorique. Les âges, selon les matières premières sont très étalés entre le Permien et le Quaternaire récent. Les plus anciens datés de l'Autunien offrent une flore fossile très originale et surtout un degré de conservation exceptionnel. Les silex du Lias et du Dogger du Berry voisin s'inscrivent plutôt comme de bons témoins des déplacements humains au Paléolithique moyen pour les deux sites examinés. Leur caractère exotique à la région dénote dans les séries archéologiques avant tout dominées par des matières premières locales ; leur présence révèle des cheminements qui paraissent refléter les grandes voies d'accès du nord du Massif central. Les silex provenant du Turonien inférieur du Berry confirment ce modèle.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBRY T., WALTER B. 2003
Reconstitution des modalités d'approvisionnement et de diffusion des matières premières lithiques pendant le paléolithique supérieur. L'apport du site solutréen et badegoulien des Maitreaux (Indre et Loire, France). *Préhist. du Sud-Ouest*, n° 5, p. 41-49.
- BAILLEAU J. G. 1872
L'homme pendant la période quaternaire dans le Bourbonnais. *Cong. Sc. de France*, t. II, p. 95-130.
- BATES R. L., JACKSON A. J. 1980
Glossary of geology (Second édition). Amer. Geol. Inst., Falls Church, Virginia, 749 p.
- BORDES F. 1969
Traitement thermique du silex au Solutréen. Bull. Soc. Préhist. Fr., t. 66, n° 7, p. 197.
- COUREL L. 1970
Modalités de la transgression mésozoïque : Trias et rhétien de la bordure nord et est du Massif central Français. Thèse d'Etat Univ. Dijon ; *Mém. Soc. Géol. de Fr.*, 1978, n° 118, 152 p.
- DEBRIETTE P., 1985
Étude géologique du bassin permo-carbonifère de la Queune (Allier), 285 p. *Mém. DER. Univ. Dijon*.
- DE LAUNAY L. 1893
La vallée du Cher dans la région de Montluçon. *Bull. Serv. Carte Géol. de France*, t. 4, n° 30, p. 30-38.
- DE LAUNAY L. 1939
Notice de la carte géologique de la France 1/80 000^{ème}, n° 145 - Montluçon, 2^{ème} édition.
- DELFOUR J., FEYS R., CARRAT H.G., CLOZIER L. 1989
Notice explicative de la feuille Dompierre sur Besbre. (n° 599) à 1/50 000^{ème}. Éd. BRGM., 116 p.
- DELFOUR J., CLOZIER L., CARRAT H.G., CORNET J., LEFAVRAIS-RAYMOND A. (1990)
Notice explicative de la feuille Bourbon-Lancy. (n° 576) à 1/50 000^{ème}. Éd. BRGM., 109 p.
- DELPORTE H. 1968
Le Paléolithique dans le Massif central. II.- Le paléolithique de la Montagne bourbonnaise d'après la collection de Bailleau. *Rev. Archéol. du Centre*, vol.VII, fasc.1, p. 53-80.
- DELVIGNE V. 2016
Géoressources et expressions technoculturelles dans le sud du Massif central : des déterminismes et des choix. Thèse doct., Univ. Bordeaux.
- DESCHAMPS M. 1973
Étude géologique du Sidérolithique du Nord-Est, du centre du Massif central français et des terrains qui lui sont associés. Thèse doct. Sc. nat., Univ. Paris VI.
- DEMARS P. Y., 1982
Les matières premières siliceuses utilisées au paléolithique supérieur dans le Bassin de Brive. Thèse 3^{ème} cycle, Bordeaux, 173 p.
- FRAISSE C., LORENZ C., LORENZ J., PROST A., 1987
Notice explicative de la feuille La Châtre (n° 594) à 1/50 000^{ème}. Éd. BRGM. 56 p.
- FREYDET T., TOUTIN-MORIN N., BROUTIN J., DEBRIETTE P., DURAND M., EL WARTINI M., GAND G., KERP H., ORSZAG F., PAQUETTE Y., RONCHI A., SARFATI J. 1999
Paleoecology of non marine algae and stromatolites : Permian of France and adjacent countries. *Ann. Paléont.*, n° 85, p. 99-153.
- FREYDET P., BROUTIN J., DURAND M. 2000
Distribution and paleoecology of freshwater algae and stromatolites : III some new forms the Carboniferous, Permian and Triassic of France and Spain. *Ann. de Paléontologie*, n° 86 (4), p. 195-241.
- INIZAN M.L., TIXIER J., 2000
L'émergence des arts du feu: le traitement thermique des roches siliceuses. *Paléorient*, 26, p. 23-36.
- LABRANCHE G., MARCHAND D., LEFAVRAIS-RAYMOND A., DEBRAND-PASSARD S., GROS Y., DÉBÉGLIA N., MAGET P., LALLIER D. 1994
Notice explicative de la carte géologique de la France de Saint-Amand-Montrond (572) à 1/50000^{ème}, 81 p.
- LAFARGE A. 2014
Entre plaine et montagne : techniques et cultures du Badegoulien du Massif central français, de l'Allier au Velay. Thèse doct., Univ. Montpellier III.
- LEGRAND P., DEBRIETTE P. 2007
Les stromatolites de l'autunien (Permien inférieur) de Souvigny (Allier, Massif central, France). *Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. 4 (2^{ème} série), p. 43-53.
- LOUGNON J., DUTHOU J.L., LASSERRE M. 1974
Les gisements plombo-zincifères du seuil du Poitou et de sa bordure limousine. Bull. B.R.G.M., 2^{ème} série, vol. 2, n° 5, p. 453-476.
- MARCOUX E., LE BERRE P., COCHERIE A. 2004
The Meillers autunien hydrothermal chalcedony : first evidence of a similar to 295 Ma auriferous epithermal sinter in the French Massif central. *Ore Geology reviews, Elsevier*, n° 25. p. 69-87.
- MASSON A. 1981
Pétraarchéologie des roches siliceuses. Intérêt en préhistoire. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Lyon.
- MÉGNIE C. 1980
Synthèse géologique du bassin de Paris. Mémoire BRGM, n° 103, 104, 105.
- MERLET J.-C., PEIGNE H., PIBOULE M., RENARD G., 1981
Atelier de taille du Paléolithique inférieur à Meillers (Allier). *Rev. Soc. Sc. Bourbonnais*, p. 126-135.
- MOUTERDE R. 1952
Études sur le lias et le bajocien des bordures nord et nord-est du Massif central français. Bull. Serv. Carte géol. Fr., t. L, n° 236, 521 p.
- PASTY J.F. 2000
Le gisement Paléolithique moyen de Meillers (Allier) : un exemple de la variabilité du débitage discoïde. *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, t. 97, n° 2, p. 165-190.
- PASTY J.F. 2001
Le gisement Paléolithique moyen de Nassigny (Allier). *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, t. 98, n° 1, p. 5-20.
- PERYT T. 1983
Vadoid, p. 437-449, in *Coated Grains* (Éd. T.M. Peryt), Springer Verlag.
- PIBOULE M. 1974
La vallée du Cher préhistorique dans la région de Montluçon. *Rev. Scient. Bourbonnais*, p. 174-189.
- PIBOULE M. 1977
La préhistoire du département de l'Allier. *Publ. Cerc. Archéol. M. J. C. Montluçon*, 128 p.
- PIBOULE M., PIBOULE M., 1974
La vallée du Cher préhistorique. *Rev. Scient. du Bourbonnais*, p. 138-146.

PIBOULE M., PIBOULE M. 1977

La station magdalénienne de Durdat-Larequille (Allier). *Rev. Scient. du Bourbonnais*. p. 94-107

QUESNEL F., PROST A.E., LABRANCHE G., THIRY M., SIMON-COINÇON R., THÉVENIAUD H., MAGET P., BARBARAND J., CRIBELLIER C. 2009

Notice explicative de la feuille Châteaumeillant (n° 595) à 1/50 000^{ème}. Éd. BRGM., 139 p.

SÉRONIE-VIVIEN M., SÉRONIE-VIVIEN M.R. 1987

Les silex du Mésozoïque nord-aquitain. Approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique. *Bull. Soc. Linnéenne de Bordeaux*, suppl., t. XV, 136 p.

THIRY M., TURLAND M. 1985

Paléotoposéquences de sols ferrugineux et de cuirassements siliceux dans le sidérolithique du Nord du Massif central (bassin de Montluçon-Domérat). *Géol. de la Fr.*, n° 2, p. 175-182.

TURLAND M. 1983

Les formations indurées rouges dans la région de Montluçon (in " Mise au point sur les paléo-altérations tertiaires du Massif central "). *Géol. de la Fr.*, n° 4, p. 389-394.

TURLAND M., 1991

Notice de la carte géologique de Montmarault (n° 620) à 1/50 000^{ème}, 114 p.

TURLAND M., HOTTIN A.-M., FEYS R. 1989

Notice de la carte géologique de Montluçon (n° 919) à 1/50 000^{ème}, 116 p.

TURLAND M., HOTTIN A.M., COJEAN R., DUCREUX J.L., DEBÉGLIA N., D'ARCY D., MATHIS V., CARROUÉ J.P., PIBOULE M. 1990

Notice de la carte géologique de Hérisson (n° 596) à 1/50 000^{ème}, 118 p.

VALENSI L., 1954

Sur le silex oolithique de La Celle-Bruère (Cher). *C.R.S.Soc. Géol. de France*. n° 3-4, p. 82-84.

VALENSI L., 1954

Sur une meulière sphérolithique du calcaire du Berry. *Bull. Soc. Géol. de France*. (9), III, p. 841-845.

ZIZERMAN A., 1980

Le gisement de Chaillac (Indre) : la barytine des Redoutières, la fluorine du Rossignol. Association d'un gîte stratiforme de couverture et d'un gîte filonien de socle. Mém. BRGM, n° MD0903, 36 p.

The Urgonian chert from Provence (France): the intra-formation variability and its exploitation in petro-archeological investigations

Antonin Tomasso^{1,2}  · Didier Binder¹ · Paul Fernandes³ · Jean Milot⁴ · Vanessa Léa⁴

Received: 12 May 2017 / Accepted: 13 September 2017
© Springer-Verlag GmbH Germany 2017

Abstract Understanding details of stone tool procurement and transfers is for a major research avenue in improving our knowledge about prehistoric societies. The accuracy of the provisioning sources identifications is based on the establishment of large regional repositories. Recent studies show that specific investigations on the evolution of cherts were effective in distinguishing primary sources from the various secondary sources of a raw material. In this paper, we focus on another difficulty that is the distinction between different primary sources of the same geological layers.

We consider the specific case of the Bedoulian cherts from southeastern France. This chert was exploited and circulated over large distances during the whole prehistoric record. It is particularly known to have been heat-treated during Late Chassey culture (Neolithic). We show in this paper that paleogeographical variability exists due to variations in the bioclastic and detrital components. With the support of foraminifera data, the granulometry of detrital quartz grain provides the possibility to distinguish between different primary sources. A first test in archeological contexts illustrates the efficiency of the method as well as indicates major changes

in provisioning practices between upper Paleolithic and Neolithic groups.

Keywords Chert · Petroarcheology · Southern France · Paleolithic · Neolithic · Provenance studies

Introduction

Stone tool procurement and transfer modalities are of interest for specifying the economic patterns as well as inter-cultural relationship of prehistoric societies (Phillips 1980; Renfrew 1984). Moreover, the use of concepts and methods of cultural anthropology and prehistoric technology provides a framework to construct these relationships (Lemonnier 2010; Tixier 2012; Perlès 2016). Indeed, the latter allows adding qualitative data to a description of quantitative transfers and then highlights social aspects considering both temporal and spatial segmentation of goods trading (Binder and Perlès 1990; Geneste 2010).

In the western Mediterranean area, Provence and Liguria are regions where these issues can be studied with thanks to a large set of archeological data and the specific setting of lithic resources. Indeed, the latter has a discrete distribution according to a mosaic of geological formations whose localization depends on successive and complex events and processes (Lemoine et al. 2008). Thus, chert suitable for knapping activities is available in a primary position within several structural units (Fig. 1). The structural, tectonic, and sedimentary processes that occurred during the Neogene are at the origin of the current distribution of siliceous formations and lithic resources. According to the ancient paleogeography and relief partitioning, successive dismantling of primary deposits did not dramatically alter this macro-structuration of chert resource, which is of a great help for prehistoric sourcing.

✉ Antonin Tomasso
antonin.tomasso@ulg.ac.be

¹ Université Cote d'Azur, CNRS, CEPAM UMR 7264, Nice, France

² Present address: TraceoLab / Préhistoire, Université De Liège, Liège, Belgium

³ Université Bordeaux, CNRS, Ministère de la Culture et de la communication, PACEA UMR 5199 and Paléotime, Bordeaux and Villars-de-Lans, France

⁴ Université Toulouse 2 Jean Jaurès, CNRS, Ministère de la Culture et de la communication, TRACES UMR 5608, Toulouse, France

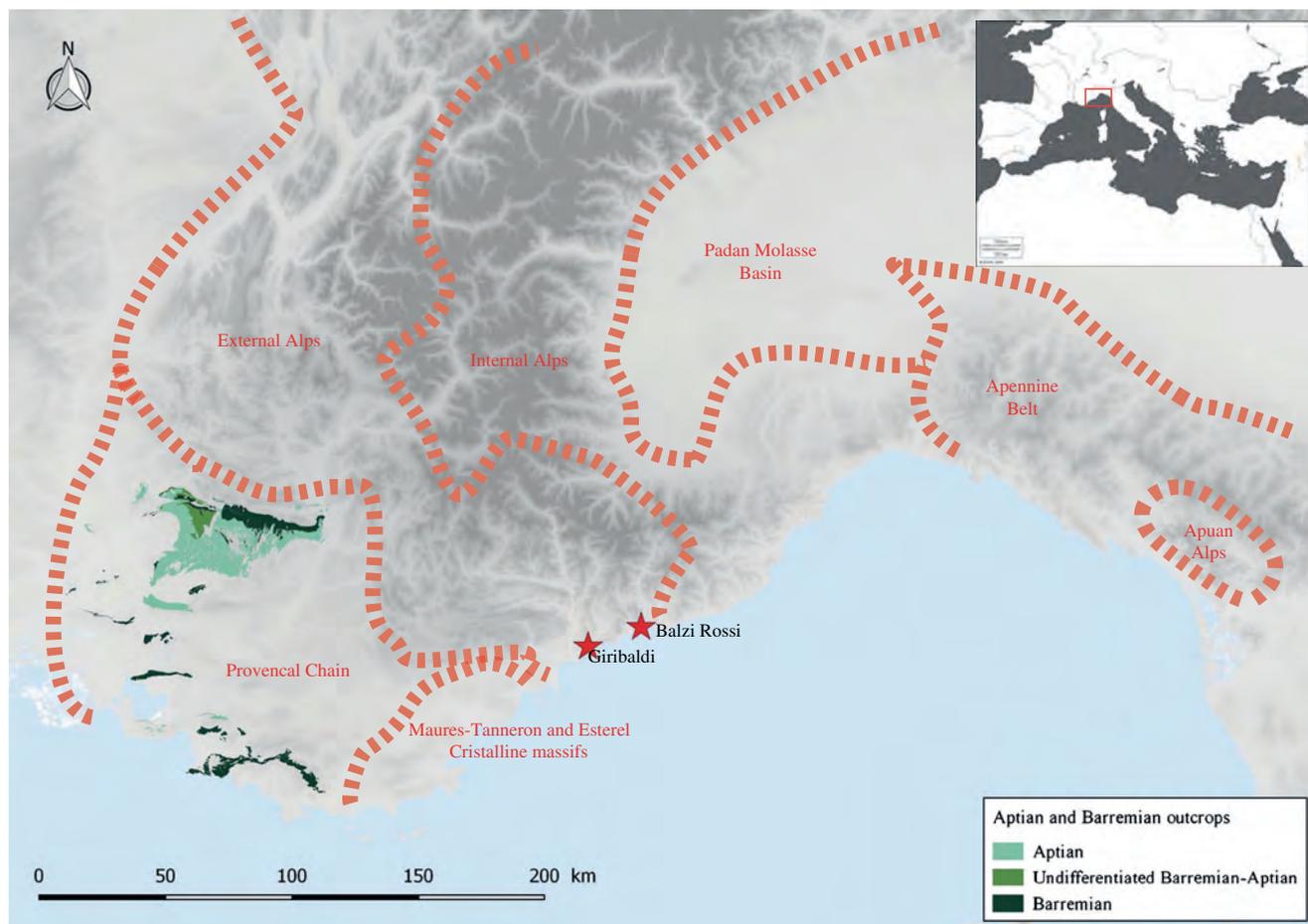


Fig. 1 Simplified structural elements of the Liguro-Provençal arc and localization of Barremian and Aptian outcrops

In such a context, Cretaceous limestones from the Provencal chains provide the most important chert resources of the region, as regard to their abundance as well as to their high quality for knapping, particularly blades. In this paper, we focus our attention on the so-called honey flints (Phillips 1980), the Barremo-Bedoulian cherts from the Urganian platform which formed during the Early Cretaceous and which are considered the most desirable, in a technical perspective, among the Barremo-Bedoulian resources (Binder 1998).

Several recent archeological studies revealed the significant role of these sources for long-distance transfers (by this term, we identify the different circulations modalities, e.g., trade or individual transport) that crossed the whole Provence region and reached Liguria as soon as the Proto-Aurignacian, c 40kY BCE (Before Common Era) (Porráz et al. 2010; Grimaldi et al. 2014). Current studies applied to the Late Upper Paleolithic highlight the continuation of such long-distance transfers for the Middle Gravettian c 25kY BCE (Santaniello 2016) and the Epigravettian sequence up to 9.5kY BCE (Tomasso 2014a, 2014b). On the contrary, the diffusion of these cherts to the North and the West is not documented so far, although there are rare mentions (Mevel et al. 2014). Even if based on different socio-economic

background, and even if the roots and evidences of networking highly differed from Neolithic ones (Binder and Perlès 1990), Upper Paleolithic chert sourcing has a key role for catching parts of the mobility systems at different scales in connection to environmental and cultural variations.

The question of “honey flint” diffusion is recurrent as far as Neolithic raw material procurement strategies, workshops, and networks are concerned in the northwestern Mediterranean. Indeed, the Barremo-Bedoulian cherts from Provence were intensively exploited and traded across Southern France and neighboring areas during the 6th and 5th millennium BCE (Binder 1998; Léa 2004). During the 4th millennium BCE in the context of Late Chassey culture, such cherts have been the object of a systematic heat treatment (Binder 1984; Léa 2005; Roqué-Rosell et al. 2011). At that time, this craft activity was at the origin of an extended network that reached Spain to the West and Central Italy to the East (Léa 2004). Archeological studies have recently improved the understanding of heat treatment processes (Roqué-Rosell et al. 2011; Schmidt et al. 2012, 2013; Delagnes et al. 2016; Milot et al. 2016). It is commonly assumed that these treatments aim to facilitate knapping and specifically pressure knapping. While empirical, this

statement is shared by all researchers. It has also been demonstrated for other raw materials (i.e., silcrets; Mourre et al. 2010). On the other hand, heating treatment also improves the cutting edges efficiency of Barremo-Bedoulian knapped flints (Torchy 2013). Even though less than obsidian, the use of the Provence Barremo-Bedoulian cherts was intense during the Neolithic, at least of a similar range than cherts from the Italian Pre-Alps (Barfield 1990), the Gargano Promontory (Tarantini and Galiberti 2011), and the Pre-Balkan platform (Biagi and Starnini 2013).

More recently, Barremo-Bedoulian cherts from Provence have been intensively used for gunflint production and most of the Neolithic wastes were obviously exploited from modern times until the early twentieth century.

In the 1990s, thematic geological surveys have been organized by D. Binder to draw a general picture of chert resource in the southeastern France. Since 2008, this program has been reinforced for extending sampling and databases towards Liguria and Tosco-Emilian Apennine and second, for improving sourcing accuracy and reliability. In parallel, another collective project conducted by V. Léa is aimed to run high-resolution analysis of thermic behavior.

The current study synthesizes the available data and new methodological advances concerning the sourcing of Barremo-Bedoulian cherts. The latter are detailed, thanks to the two case studies dedicated to Upper Paleolithic and Neolithic contexts, namely the Fanciulli's cave at Balzi Rossi (Ventimiglia, Italy) (Tomasso 2014b) and the Giribaldi settlement (Nice, France) (Binder 2016) both in the Liguro-Provencal corridor (Fig. 1). The following descriptions focus on the characterization of primary sources, which is a critical step in sourcing methodology.

Material and methods

Geological context and previous characterizations

During the Early Cretaceous, the region of Provence was an open oceanic area whose depth increased towards the North where pelagic formations of the Vocontian basin spread (Fig. 2). The extension of the different environmental domains varied during the Berriasian and Barremian periods and the limestone deposits reveal clear paleogeographical differentiations (Rat and Pascal 1982; Cotillon et al. 1984; Moullade and Tronchetti 2004). Thus, four main domains are identified from the South to the North: the southern Provence platform, the southern Provence basin, the Provencal platform, and the Vocontian trench. The entire area displays significant lateral and vertical variations highlighted, thanks to the analysis of the micro-paleontological assemblages. For instance, the dominant foraminifera, namely *Orbitolinidae*, are

progressively dominated by conic shapes at the end of the period (Cotillon et al. 1984).

This paleogeographic frame is necessary for understanding most of the chert diversity and distribution among the Early Cretaceous layers (Tomasso 2014a; Tomasso et al. 2016). These cherts are associated with specific paleogeographic context. Consequently, they are easy to discriminate using classical petrographic proxies as texture, structure, and clasts (Tomasso 2014a; Tomasso et al. 2016). On this basis, we defined several families associated with the major outcrops domains (Fig. 3). In the South, the platform deposits provide cherts in the Nerthe chain (family 206) and in the Evenos hills (family 204). In the North, the Vocontian trench provides cherts in the Lure mountain (family 205).

The Urgonian cherts (family 201) are located within the Provencal platform where they are specifically associated with the third term of the Urgonian facies (n5U3, Leenhardt 1883). Within this family, we distinguish several types according to the bioclasts (nature, proportion). This study is focusing on the type 201A, defined by the low preservation of bioclasts (less than 10%). They can be either yellows (those frequently called honey flint), grays, or even blacks. Unlike the other families of Bedoulian cherts, they are displayed in a wide zone including several massifs from the South to the North: the Vaucluse Mounts, the Ventoux, the Ventouret, and the Rissas (Blanc et al. 1975; Monier and Cavalier 1991). In the South, a first set is associated with the brachy-anticlinal of the Vaucluse Mounts, which has a NE-SW direction; its northern limit corresponds with a beam of faults (the Monieux fault) following the Nesque's Gorge. Here, chert is embedded in a thin-grained calcarenite, which constitutes the basal part of the n5U3 subset. In the North, the Ventoux' anticlinal shows some difference in terms of lithology and the U3 subset shows a stratigraphic evolution from biocalcarenes to calcilutites. There, chert is only present in the second petro-facies of this series, which is upside-down from the North to the South. Further to the North, the Urgonian deposits are lesser developed in Ventouret and the n5U3 subset is made of calcarenite. Finally, in the Rissas, chert is associated with calcilutites.

The accuracy of the Urgonian chert sourcing is a critical point for designing prehistoric procurement patterns in this broad region. First, the environmental and surrounding rock conditions determine their lithology, and further, their accessibility, the method of extraction, and the related human behavior. Moreover, the selection of a specific outcrop unlike the gathering of cherts coming from several distinct points over the territory result from contrasted provisioning strategies we aim to distinguish.

For this purpose, several studies have been previously carried out to attempt the characterization of these cherts.

M. Barbier (Barbier 1996) tried to classify these materials according to micro-paleontological and mineralogical criteria such as the dominant form of silica, the accessory minerals,

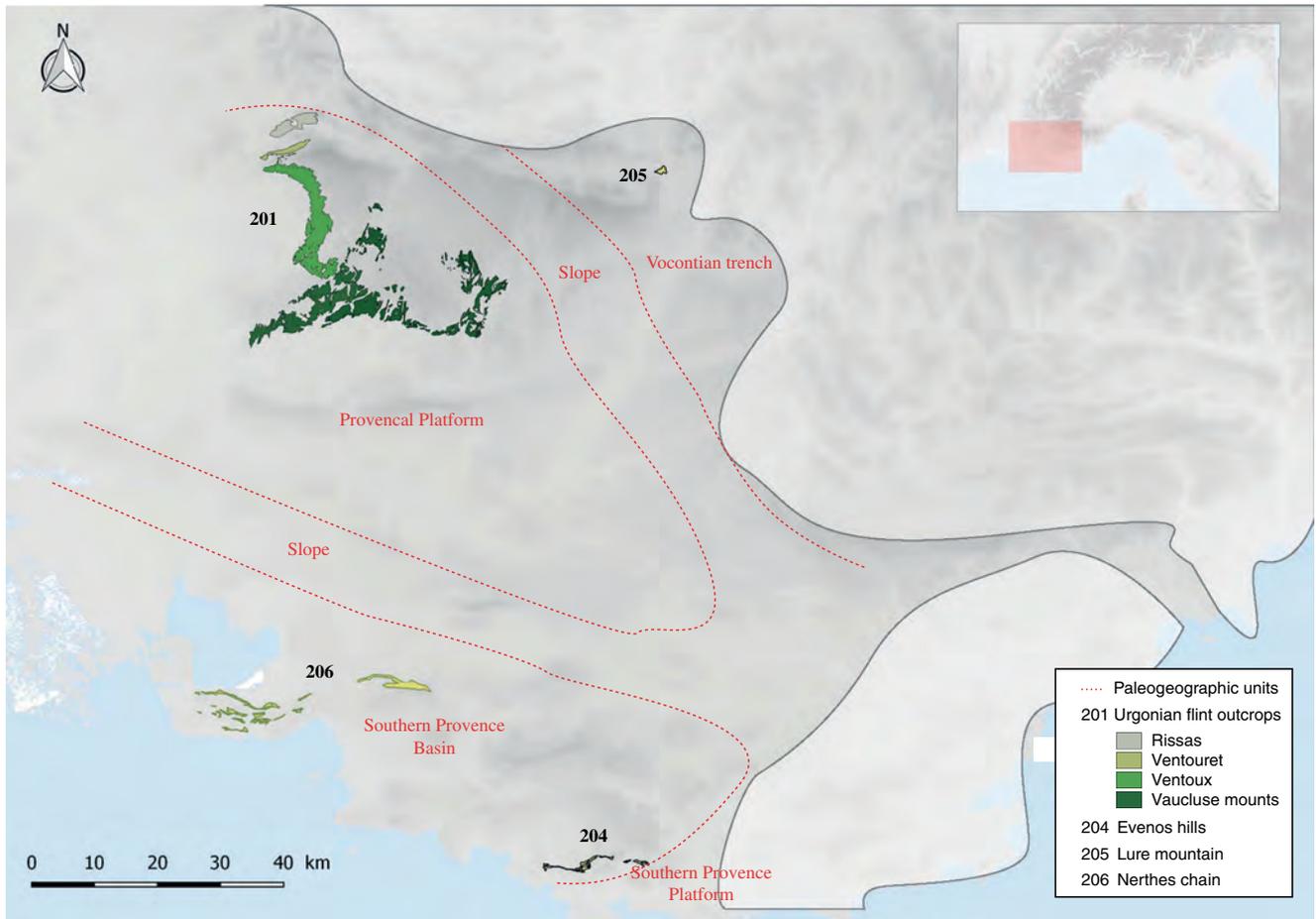


Fig. 2 Paleogeographic structure of the Provençal chains area during the Bedoulian (from Moullade and Tronchetti 2004) and localization of the different families of cherts

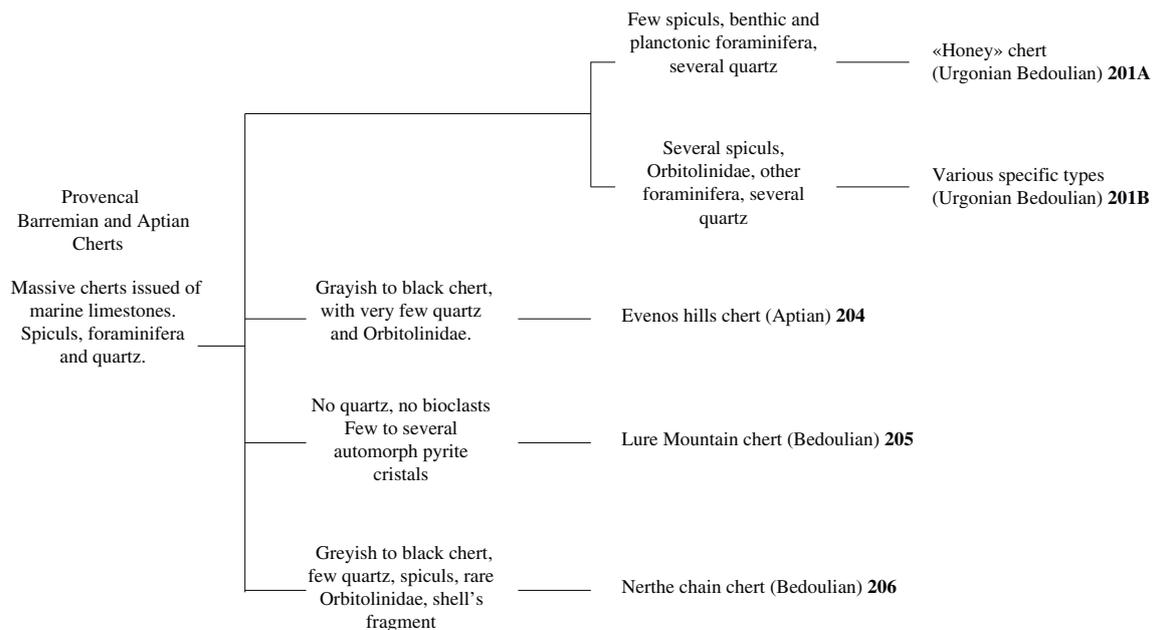


Fig. 3 Schema of the main criteria to distinguish the principal types of Bedoulian cherts. See Tomasso 2014a for details

and the presence of carbonates. Thanks to her observation of chert's host rock samples and associated thin sections, she was able to identify their typical environments of formation. Nevertheless, she was unable to distinguish these samples because of the differences in the relative abundance of fossil species observed between the chert and its corresponding host rock.

Pioneer elemental analyses have been performed on a large set of geological chert samples from the Provence region by M. Lemarquand-Blet (Blet 1999; Blet et al. 2000) using destructive (liquid ICP-MS, ARNC) and minimally destructive techniques (LA-ICP-MS). Her study has shown that the analysis of minor elements was unable to characterize the Bedoulian chert meaningfully, according to previous work demonstrating that the variability was very high (i) at the geological stage scale for minor elements (Rio 1982) and (ii) at the nodule scale for trace elements (Aspinall et al. 1976, 1981). However, some chemical signatures have been obtained for a few types of Bedoulian cherts, depending on elemental enrichments occurring through post-depositional processes.

According to these studies, Barremo-Bedoulian Urgonian cherts can be defined as massive cherts with a mixed siliceous matrix of chalcedony and crypto- to microcrystalline quartz and chalcedony. Their color is essentially due to iron oxydes. Bioclasts, initially dominant in the calcareous rock, are intensively altered and are rare in the cherts. They consist of spicules, echinoderms, foraminifera (*Orbitolina*, *Miliolida*, *Textularida*, *Glomospira*), lamellibranch, bryozoans, and ostracodes. Several detrital quartz can be observed associated with rare pyrite and zircon. Some minor elements are present in very low concentration, frequently close to the limit of detection of the used methods.

In this frame, highlighting an intra-formation variability remained the most challenging because of an apparent homogeneity which contrasts the diversity of its paleoenvironments and the correlated outcrop areas they came from. Recent studies carried out in other regions (Fernandes 2012; Delvigne 2016) suggest that the apparent uniformity is artificial and that post-genetic evolutions induce geochemical processes at the origin of transformations of the mineral structure and alterations of the bioclastic component (Fernandes et al. 2016).

Outcrop sampling

Our study focuses on the third term of the Urgonian set (n5U3). Samples were collected in different sites. Sampling has been organized in different sites, following the mapping realized by the French Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Blanc et al. 1975; Monier and Cavelier 1991). The samples have been encoded according to (i) the geological map number, (ii) the collection point number, and (iii) the sample number. All chert nodules thus received individual identifiers.

We prospected a total of 92 different Barremo-Bedoulian outcrops among which 53 belong to the n5U3 subset. Not all of them provide suitable cherts and not all of them provide the type 201A; 52 samples of chert of the type 201A coming from 21 distinct outcrops were identified. Among them, 32 thin sections were cut and observed while detrital quartz grain analysis was performed on 33 samples. In addition, the whole 256 samples from Barremo-Bedoulian outcrops were described at the mesoscopic scale and 34 thin sections were cut and observed among the other types of Barremo-Bedoulian cherts.

Characterization method

Our characterization method takes into account the *chaîne évolutive* (Fernandes 2012) of the cherts, from its genesis to its discovery within archeological deposits, i.e., the successive events that occurred in the raw material formation and transformation processes. The related qualitative and quantitative analyses are multi-scalar: (i) macroscopic; (ii) mesoscopic, i.e., observations of dry and wet samples with a stereomicroscope (magnifications $\times 40$ to $\times 200$); and (iii) microscopic, i.e., observation of thin sections with a petrographic microscope at magnifications $\times 50$ to $\times 100$ LED-polarized light. These observations focused on the identification of the most discriminant proxies which enable to distinguish the transmitted characteristics from the host rock and those that developed along times. They are based on the analysis of (i) mineral phases, (ii) newly formed elements, and (iii) surface conditions. Then, the consideration of diagenetic, epigenetic and post-deposition mechanisms, and features enables an accurate determination of exploited geomaterials.

Running this general protocol shows that most of the exploited chert did acquire an evolved appearance. Post-genetic transformations induced a homogenization of the matrix, which masks the original petro-fabric.

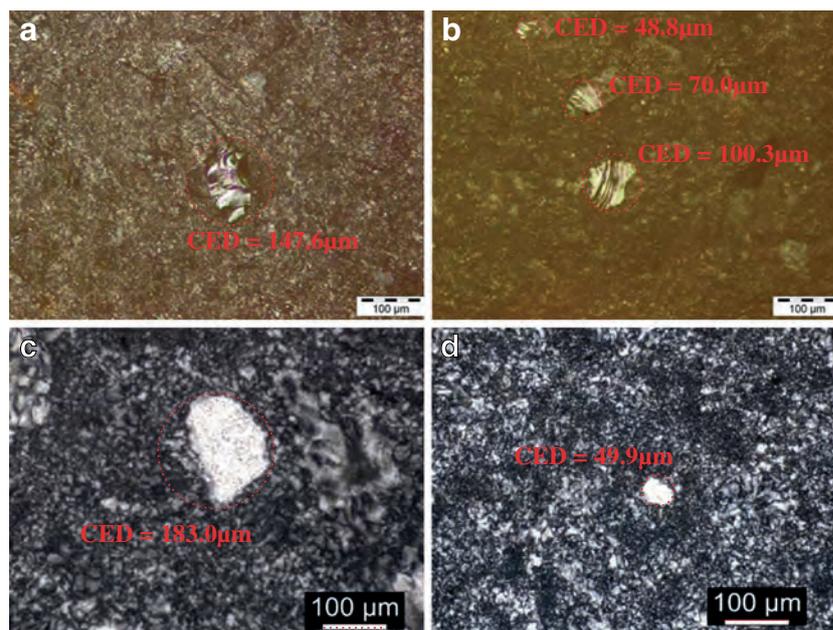
Then, for this study, we add a new semi-quantitative and non-invasive method of characterization based on the analysis of detrital quartz, which constitutes the more stable chert component.

The detrital quartz analysis

While detrital quartz grains are visible macroscopically, their identification is only accurately possible with a metallographic microscope, by direct observation on flake's surface with reflected light. At this scale, the quartz grains are perfectly identifiable and measurable (Fig. 4a, b). Thin sections were used to confirm their identification (Fig. 4c, d).

The observation of the quartz grains has been performed on the flake's surfaces with a reflection microscope (Olympus) at a magnification of $\times 200$. For each sample, we have considered a surface of 1 cm^2 where each quartz grain has been

Fig. 4 Quartz in Urgonian cherts. **a, b** Direct observation with reflected light on flakes surfaces. **c, d** Thin section observation, polarized light microscopy (Samples: **a** 941.19.P15; **b** 915.93.03; **c** 916.01.03; **d** 915.63.P36)



systematically identified. Each quartz grain was drawn using Olympus Image Analysis Software. Their circular equivalent diameter (CED; i.e., the diameter of a circle that could exactly contain the grain), their factor of form, their convexity, the surface of each grains, and the number of grain identified were considered.

The equivalent diameter is classically used as a reference for granulometric studies. In our case, we have considered two categories of grain, respectively, under and over 1/16 mm (62.5 μm). This limit has been chosen per the classical distinction between lutites and arenites, regarding the grain size distribution of sedimentary deposits, and because of being significant, regarding the granulometry of quartz in the Urgonian cherts. The grain size distribution index (I_g) is defined as the proportion of grains inferior to 1/16 mm ($d_{<1/16}$) respect to grains superior to 1/16 mm ($d_{>1/16}$): $I_g = \frac{d_{<1/16}}{d_{>1/16}}$.

Results and discussion

Description of geological samples

The macroscopic aspects of Urgonian chert result are very homogeneous. Most of the samples are deep yellow to strong yellow, sometimes grayish. Some have orange shades. They are semi-translucent and bright.

Matrix and detrital component

In thin sections, the siliceous matrix appears predominantly composed by a cryptocrystalline silica with chalcedony in

bioclasts (Fig. 5a), chalcedony spherules in regularly dispersed areas, carbonates (Fig. 5b) and rhombs crystals (Fig. 5c), or boxworks filled with iron (Fig. 5d). Detrital component is low, from 1 to 5 to 10%. Some samples ($n = 9$) with higher proportion of detrital elements (from 20 to 30%) are close to the 201B1 type. Their sorting varies from very good to moderate.

Bioclasts

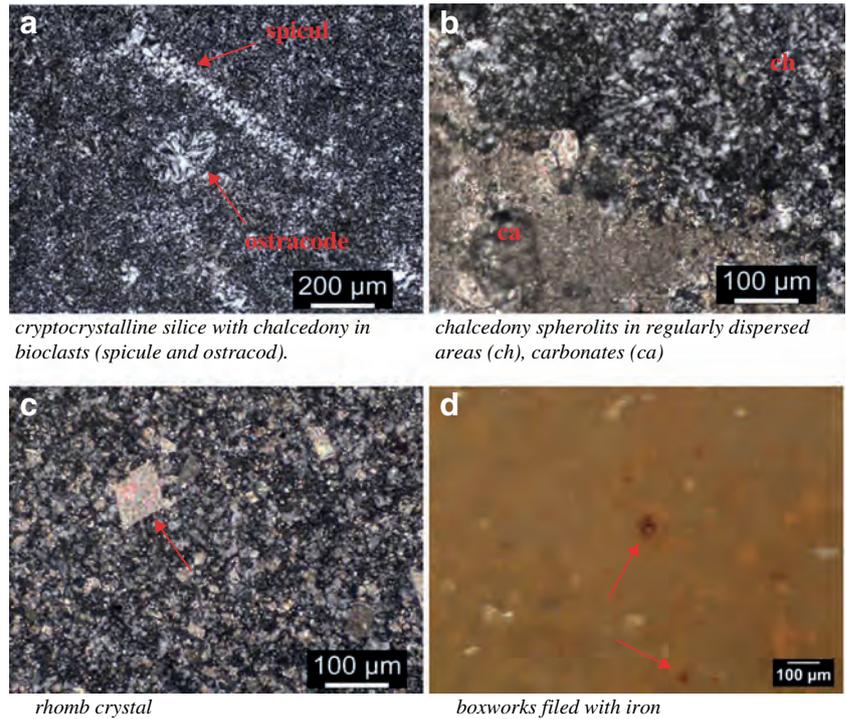
All samples are characterized by the presence of thin and elongated monoaxones spicules (Fig. 5a) whose preservation varies from one sample to another. The range of their dimensions is wide, from 200 μm to 1 mm, more rarely up to 5 mm. Fragments of bryozoans, crinoids, and echinoids are also present in some samples with a dimension from some micrometers up to 5 mm.

The other bioclasts, especially Foraminifera, are geographically limited. Their repartition seems to support a contrast between the north and the south of the outcropping area. *Sabaudia* (Fig. 6a), *Nezzazata*, and *Globigerinelloididae* are more frequent in the south. *Glomospira* (Fig. 6b, c), *Trochammina* (Fig. 6d), *Tritaxia*, *incertae sedis*, and undetermined algae are frequent in the north. Biserial foraminifera are present in both southern and northern outcrops.

Detrital quartz component

We tested several characters for the grains such as factor of form and convexity. Both reveal a global homogeneity, contrary to the CED. As shown in Table 1, the convexity and the factor of form are very homogeneous between the Rissas and

Fig. 5 Matrix (Samples: **a** 941.01.P22; **b** 915.65.P30; **c** 917.02.#; **d** A3-941-22-P5)



the Vaucluse Mounts (respectively, the northern and southern extremities of outcrops area) with respectively 0.2 and 2.3% of variation from one domain to the other on the medians. By contrast, the CED shows a variation of 11.2% on the medians between the two areas.

In order to identify a relevant surface of observation, we tested the variation of values in a sample for different measured areas. Our results show that no major variation can be

recorded beyond a surface of 0.5 cm² (Table 2). Indeed, up to this area, variations can exceed 35% for critical values (I_g , average and median). For areas exceeding 0.5cm², only a minor variation could be noticed with a maximum value around 10% for the I_g and 5% for average and median.

A critical matter was to test the variability of grain size inside a single nodule to define its homogeneity. We then aimed to test two samples coming respectively from the

Fig. 6 Foraminifera (Samples: **a** 941.01.P22; **b** 915.66.P29; **c** A3-941-22-P5; **d** 941.18.P13B)

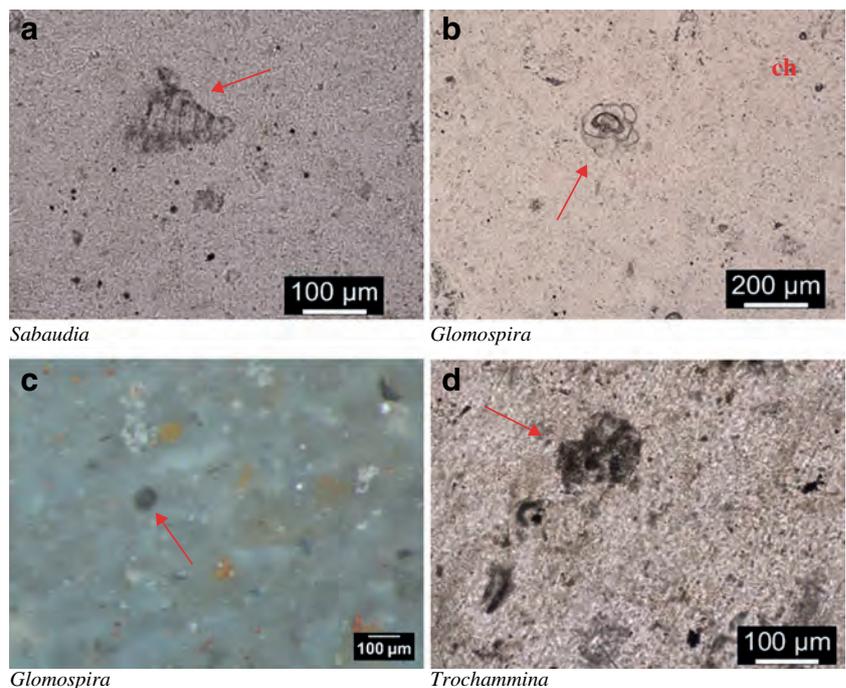


Table 1 Differential of values for CED, factor of form, and convexity between the two opposed domains of the considered areas (Rissas and Vaucluse Mounts)

	Rissas			Vaucluse Mounts			Differential		
	Factor of form	Convexity	CED	Factor of form	Convexity	CED	Factor of form (%)	Convexity (%)	CED (%)
Minimum	0.20	0.75	11.69	0.28	0.69	9.32	36.4	- 7.6	- 20.3
Q1	0.66	0.95	33.46	0.63	0.95	32.03	- 3.8	- 0.1	- 4.3
Median	0.72	0.98	51.95	0.70	0.98	46.15	- 2.3	- 0.2	- 11.2
Q3	0.77	0.99	70.45	0.76	0.99	60.76	- 1.3	- 0.2	- 13.8
Maximum	1.74	1.98	169.90	0.91	1.00	136.95	- 47.6	- 49.7	- 19.4
Average	0.74	1.05	53.69	0.69	0.96	48.47	- 6.2	- 8.5	- 9.7
Standard deviation	0.19	0.28	23.84	0.10	0.04	21.39	- 48.4	- 84.8	- 10.3

Rissas at the extreme north of the outcrop area (915-61-P40) and the Vaucluse Mounts at the south (941.21.P9). For each of them, we conducted three independent analyses in different parts of the nodules from the subcortical zone towards the block core. Results (Table 3) show a relative variability in measured values especially for limits (maximum and minimum sizes) and counts. The median shows the best homogeneity (respectively, 19 and 5% of variability) and the average remains globally homogeneous, too (respectively, 21 and 13% of variability). Whenever the I_g shows comparable variations (around 30% of variability, from 2.1 to 2.6 and from 0.7 to 0.9), it remains very different from one sample to the other.

The microscopic semi-quantitative analysis of quartz grains offers more accurate data and reveals three groups of samples (Table 4). Their characteristics are summarized in Table 5.

To test the consistency of these groups, we have compared the CED of the population of individual quartz per groups (Table 6). We considered three criteria: (a) density; (b) I_g ; and (c) individual quartz grains CED (Fig. 7).

Group 1 is composed of 12 samples exhibiting few detrital quartz (less than 21 grains cm^{-2}). Because of the low quantity of grain, the I_g value is of low relevance. The quartz grains CED are relatively low and the interquartile range (from 27.7 to 54.6 μm) is the lowest of the three groups.

Table 2 Variation of values in relation with the analyzed areas

Analyzed area	Number of quartz				Grain size						
	Total	< 1/16 mm	> 1/16 mm	I_g	Average	Standard deviation	Min	Q1	Median	Q3	Max
0.07	70	42	28	1.5	61.2	31.0	35.3	43.0	44.2	73.0	110.3
0.14	77	42	35	1.2	66.0	29.1	35.3	42.7	60.2	80.1	119.5
0.21	94	47	47	1.0	72.9	28.4	37.6	44.4	69.8	96.6	119.5
0.28	81	42	39	1.1	69.3	27.3	37.6	43.4	65.7	89.6	119.5
0.36	85	45	39	1.1	68.3	25.9	37.6	45.9	64.3	82.7	119.5
0.43	96	59	38	1.6	61.1	26.8	23.3	41.9	53.6	74.5	119.5
0.50	93	56	36	1.6	62.8	27.5	23.3	42.9	54.3	83.1	119.5
0.57	97	53	44	1.2	62.8	27.1	22.4	42.9	60.4	83.1	113.4
0.64	111	61	50	1.2	62.0	26.6	12.8	42.9	58.9	81.7	122.9
0.71	120	68	52	1.3	59.4	25.6	12.8	41.2	58.5	76.2	122.9
0.78	117	67	50	1.3	58.4	25.0	12.8	41.5	58.3	72.0	122.9
0.85	128	70	58	1.2	60.4	24.9	12.8	40.5	58.8	72.2	122.9
0.92	134	72	63	1.1	63.1	26.2	12.8	39.5	59.0	76.4	122.9
0.99	134	70	63	1.1	61.4	27.1	8.0	39.0	59.8	76.8	122.9
1.07	141	73	68	1.1	59.9	26.8	8.0	37.9	60.4	76.8	122.9
1.14	165	90	76	1.2	56.2	28.6	8.0	32.8	58.6	77.1	142.8
1.21	172	97	75	1.3	54.9	28.1	8.0	32.6	56.6	76.3	142.8
1.28	171	97	74	1.3	54.7	28.3	8.0	32.6	55.2	76.6	142.8

Table 3 Intra-nodular variability regarding quartz grains

Sample	Density (cm ⁻²)				Grain size						
	Total	< 1/16 mm	> 1/16 mm	I _g	Average	Standard deviation	Min	Q1	Median	Q3	Max
915.61-P40	90	38	52	0.7	69.0	22.2	16.5	54.4	64.6	83.6	129.7
	119	53	66	0.8	65.4	23.1	20.3	49.7	63.3	81.5	139.8
	137	66	71	0.9	65.8	23.8	17.1	50.0	65.4	80.2	169.9
941.21.P09	73	49	24	2.1	54.2	19.6	15.8	38.9	54.7	65.4	107.0
	90	61	29	2.1	54.3	16.6	21.6	43.3	54.1	67.1	101.5
	116	84	32	2.6	54.7	17.3	24.4	42.7	52.5	63.9	99.7

Group 2 is composed of 7 samples. I_g is very homogeneous (0.4 to 1.1). Densities are variable, with an interquartile range from 81 to 102 grains cm⁻². The quartz grains CED vary in a wide range with an interquartile range (47.9 to 77.8 μm) higher than the two other groups.

Group 3 consists in 20 samples. Their I_g values (1.4 to 9.3) are the highest of the three groups and the interquartile range (2.1 to 5.6) shows a relative heterogeneity. The densities are comparable to those of the group 2 whenever the interquartile range (47 to 101 grains cm⁻²) is slightly higher. The quartz

Table 4 Quartz analysis of Bedoulian cherts (*Murs/**201B1)

Sample	Density (cm ⁻²)				Grain size							Group
	Total	< 1/16 mm	> 1/16 mm	I _g	Average	St. dev.	Min	Q1	Median	Q3	Max	
915.65-P31	3	3	0	–	55.9	4.8	50.4	54.4	58.4	58.7	58.9	1
941.02-P19	4	4	0	–	32.4	12.6	20.7	22.7	30.9	40.6	47.2	
915.65-P32	5	5	0	–	42.4	11.7	27.4	33.9	43.5	52.2	54.9	
915.63-P37	5	4	1	4.0	35.7	16.2	23.9	29.0	29.8	31.5	64.3	
915.65-P30	7	7	0	–	32.5	9.4	23.3	25.9	30.1	38.2	45.9	
915.64-P35	8	5	3	1.7	49.2	18.4	22.8	33.0	49.9	66.4	70.5	
915.63-P36	8	8	0	–	35.0	8.6	20.7	30.1	35.8	38.2	48.9	
915.83-P50	13	7	6	1.2	51.3	24.0	22.5	31.0	47.0	69.5	88.0	
915.61-P58	14	11	3	3.7	45.5	23.8	18.8	29.7	38.3	55.8	93.9	
915.61-P41	15	5	10	0.5	65.3	21.5	26.4	50.5	72.4	78.1	93.2	
915.83-P46	17	8	9	0.9	63.95	22.81	24.58	49.96	63.39	77.81	101.81	2
915.61-P59	21	17	4	4.3	49.5	13.1	31.5	38.8	45.7	55.4	80.3	
915.76-P53	38	10	28	0.4	68.1	19.1	31.2	59.6	66.6	78.3	104.6	
915.61-P40	90	38	52	0.7	69.0	22.2	16.5	54.4	64.6	83.6	129.7	
915.61-P40	119	53	66	0.8	65.4	23.1	20.3	49.7	63.3	81.5	139.8	
915.62-P39	89	42	47	0.9	61.5	21.7	17.6	43.5	64.0	75.5	104.9	
915.61-P40	137	66	71	0.9	65.8	23.8	17.1	50.0	65.4	80.2	169.9	
915.61-P40	73	37	36	1.0	60.3	18.9	13.8	47.7	62.4	72.5	102.7	
915.62-P38	125	66	59	1.1	58.9	18.3	21.6	47.7	59.6	72.7	100.0	
941.01-P20	162	94	68	1.4	56.1	28.5	8.0	32.5	52.5	76.6	142.8	
941.22-P05	72	42	30	1.4	53.2	22.5	14.2	35.0	54.9	70.7	93.1	
941.01-P22	53	33	20	1.7	57.1	27.6	13.1	36.5	53.1	75.0	137.0	
941.22-P06	47	31	16	2.0	56.9	18.7	24.7	45.2	56.7	66.5	105.0	
941.21.P09	73	49	24	2.1	54.2	19.6	15.8	38.9	54.7	65.4	107.0	
941.21.P09	90	61	29	2.1	54.3	16.6	21.6	43.3	54.1	67.1	101.5	
941.19-P14	143	98	45	2.2	51.1	20.8	17.7	34.4	47.9	65.8	105.9	
941.10-P23**	98	70	28	2.5	49.8	19.0	20.2	34.6	49.7	63.1	111.7	
941.21.P09	116	84	32	2.6	54.7	17.3	24.4	42.7	52.5	63.9	99.7	
941.19-P15	101	73	28	2.6	46.0	21.9	13.8	26.4	46.7	68.1	87.1	
941.18-P16*	56	44	12	3.7	45.33	22.80	14.10	25.11	46.15	58.58	105.11	
941.21-P09	126	102	24	4.3	44.0	18.9	10.7	27.8	45.0	56.9	80.8	
941.27-P26	122	101	21	4.8	45.1	17.2	17.0	31.8	45.1	55.7	89.4	
941.22-P04	195	164	31	5.2	45.8	19.4	16.0	29.9	46.1	56.7	94.2	
941.18-P17*	100	84	16	5.3	47.2	21.4	12.3	32.2	45.9	58.6	99.0	
941.01-P21	60	52	8	6.5	44.5	16.2	17.3	32.1	45.9	56.7	79.1	
941.19-P13	101	89	12	7.3	43.3	15.5	17.5	31.1	41.8	52.7	81.1	
941.20-P12	90	80	10	7.7	41.3	17.0	15.8	28.2	38.6	50.9	81.9	
941.18-P18*	147	131	16	8.3	38.2	17.3	9.3	24.5	34.9	50.9	77.5	
941.22-P07	143	129	14	9.3	42.8	15.1	15.7	30.9	42.8	52.9	81.8	

Table 5 Synthesis of the granulometric classification of the Bedoulian cherts

Type		201A1	201A2	201A3
Density of quartz (cm ⁻²)	Minimum	3.0	38.0	47.0
	Maximum	21.0	137.0	195.0
	Average	10.0	95.9	104.8
I_g	Minimum	0.5	0.4	1.4
	Q1	1	0.8	2.1
	Median	2	0.9	3.2
	Q3	4.2	1.0	5.6
	Maximum	10	1.1	9.3
	Average	3.0	0.8	4.1
	Standard deviation	3.6	0.2	2.5
Median size	Minimum	30.1	59.6	34.9
	Maximum	72.4	66.6	56.7
	Average	54.7	63.7	47.7
Average size	Minimum	32.5	53.2	38.2
	Maximum	69.0	65.8	56.9
	Average	58.9	59.0	47.3
Sample number		12	7	20

grains CED appear clearly lower than the group 2 but are comparable with the group 1.

Classification

The semi-quantitative analysis of detrital quartz shows the existence of three groups of cherts (Table 7). Globally, these groups show a north-south repartition (Fig. 8). The Ventoux that forms an intermediary domain introduces some uncertainties. The type 201A2 is exclusively associated with the Rissas while the two others are respectively associated with the northern (201A1: Rissas and Ventoux) and the southern (201A3: Vaucluse and Ventoux) parts of the outcropping area. This north-south repartition is supported by the bioclastic component. *Incertae sedis*, *Glomospira*, and *Trochamina* are associated with northern outcrops and types 201A1 and 201A2.

Table 6 CED values (μm) of the individual quartz grains by groups

Group	Total	201A1	201A2	201A3
<i>n</i>	1627	365	292	970
Average	50.11	42.90	63.26	48.86
Standard deviation	22.24	18.83	22.47	21.73
Minimum	9.3	11.69	13.75	9.32
Q1	32.6	27.72	47.91	32.12
Median	47.6	40.41	63.90	46.52
Q3	64.1	54.61	77.79	61.55
Maximum	169.9	111.65	169.90	136.95

Sabaudia, Nezzazata, and *Globigerinelloididae* are associated with the southern outcrop and with the type 201A3.

Archeological application

The Urganian chert in the Epigravettian layers of the Grotta dei Fanciulli (Ventimiglia, Italy)

The Fanciulli's cave belongs to the well-known Balzi Rossi complex close to the French border at c. 170 km southeast to the closest in situ Urganian chert sources. Albeit the main excavations were performed in the early twentieth century, the site is still to be considered as one of the major prehistoric sites of northwestern Italy due to its successive Upper Paleolithic occupations from the Aurignacian up to the Late Epigravettian. Indeed, recent studies provided new results concerning technical systems, territories, and resource management (Tomasso 2014b; Santaniello 2016; Tomasso and Porraz 2016).

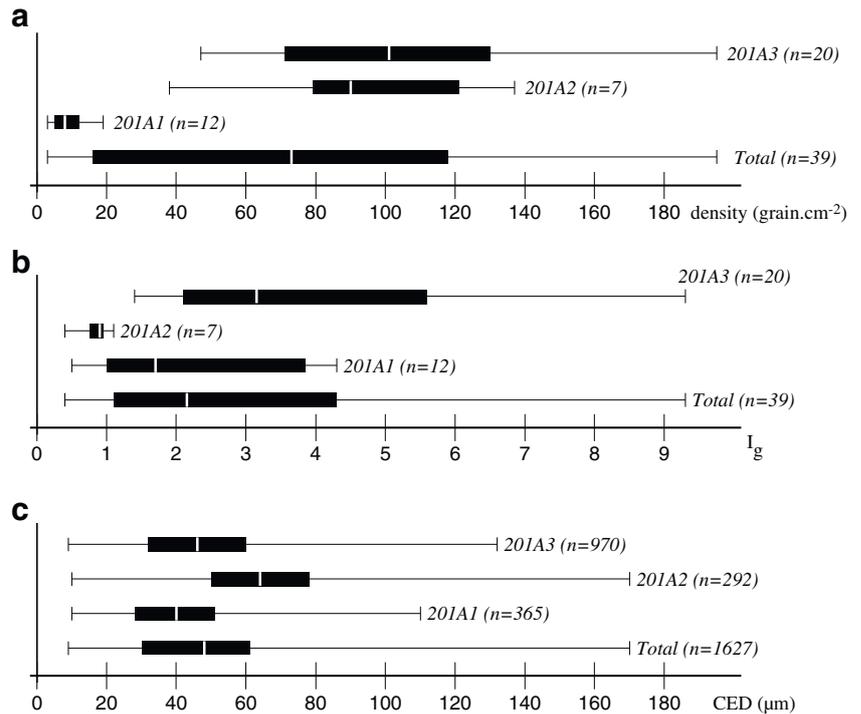
A set of 33 artifact samples (Table 8) has been selected from the Epigravettian layers (layers 1 to 5) which are the best known at this time. This sampling reflects the entire variability estimated at the mesoscopic scale. Non-altered as well as altered pieces (with patina, desilicification) have been selected to appreciate the effects of alteration on our observations. Largest flat flakes have been favored to facilitate the observations.

Among the selected samples, patina induces major variations regarding the macroscopic aspect; in global view when developed, patina tends to make bioclasts more visible. We also notice differences in relation with the raw material itself. A subset of the sample yielding many rhombohedral boxworks and orange color is characterized by the richness in bioclasts. Another subset, with pale yellow color, rarely provides identifiable bioclasts. It is not yet possible to define precise groups within this diversity.

The semi-quantitative quartz grain analysis (Table 9 and Fig. 9) has been crossed with other observations. A first set of 22 pieces belongs to the type 201A1 with less than 21 quartz cm⁻². While of low consistency, the I_g value of these pieces could support this attribution. However, the quartz grains CED are clearly too high and are comparable to those of the type 201A2 among the geological samples. In addition, the identification of *Incertae Sedis* (EnfD-905), *Glomospira*, and *Trochamina* (EnfE-236) supports the northern origin of these cherts.

A piece (EnfE-247) has a high I_g (5.2) and high density (56 grains.cm⁻²) and reveals to contain *Textularidae*. All these indications are convergent to indicate a southern origin. The individual quartz grain CED of this piece with an interquartile range from 29.4 to 55.9, while very similar to those of the type 201A1, is also compatible with the type 201A3.

Fig. 7 Boxplot. (a) density of detrital quartz grains per semplaes (b) I_g per samples analyzed and (c) CED of individual quartz grouped by types



A third group (Enf4-022, Enf4-004, EnfF-310, EnfD-001, Enf4-001) reveals densities higher than 31 grains cm⁻². The I_g of these samples should indicate the type 201A3 but remains inferior to the first quartile of our geological sample (from 1.4 to 1.8). In addition, the individual quartz grains CED show a clear similarity with those of the type 201A2. No specific foraminifera were determined for most of these pieces but the presence of *Glomospira* in EnfF-310 is another element supporting a northern origin for these cherts. This group remains matter of uncertainty. A fourth group (Enf4-002, EnfC-110, and EnfE-386) can be more accurately attributed to the type 201A2. The presence of *incertae sedis* in one sample (EnfE-386) is coherent with this diagnostic.

This first test of the granulometric analysis of quartz grain in an archeological context gave positive results. Despite a group of pieces remains matter of uncertainty, several other ones can be attributed to one of the three types we defined. Foraminifera, when identifiable, always comfort the diagnostic. While preliminary, these results could suggest stimulating remarks. Bedoulian's cherts used in the Epigravettian layers of the Fanciulli's cave

appear to come from various sources, both in northern and southern outcropping areas identified in the Provence shelf. An exploitation of the southern outcrops was already expected regarding the exploitation of neighboring formations in the same archeological phase (Oligocene cherts, Evenos' Southern Bedoulian chert). The acquisition of chert from the northern ones is even more so surprising, considering its dominant frequency. These results clearly illustrate that provisioning strategies are oriented towards a large panel of outcrops, which support previous assessment in this chronological context (Tomasso 2015). This first step encourages us to engage a systematic analysis to verify this unexpected importance of northern sources in Epigravettian provisioning strategies and extend investigations on other Upper Paleolithic contexts.

The Urgonian honey chert from the Neolithic site of Giribaldi (Nice, France)

The open-air settlement of Nice-Giribaldi is c. 150 km southeast to the closest in situ Urgonian chert sources.

Table 7 Definition of the three types of Urgonian cherts and location of the outcrops

Type	201A1	201A2	201A3
Detrital quartz component	< 21 quartz cm ⁻²	$I_g < 1.1$	> 38 grains cm ⁻²
Most characteristic bioclast	<i>Incertae sedis</i> , <i>Glomospira</i> , and <i>Trochamina</i>		<i>Sabaudia</i> , <i>Nezzazata</i> , and <i>Globigerinelloididae</i>
Outcrop's area	Rissas and Ventoux	Rissas	Vaucluse Mounts and Ventoux

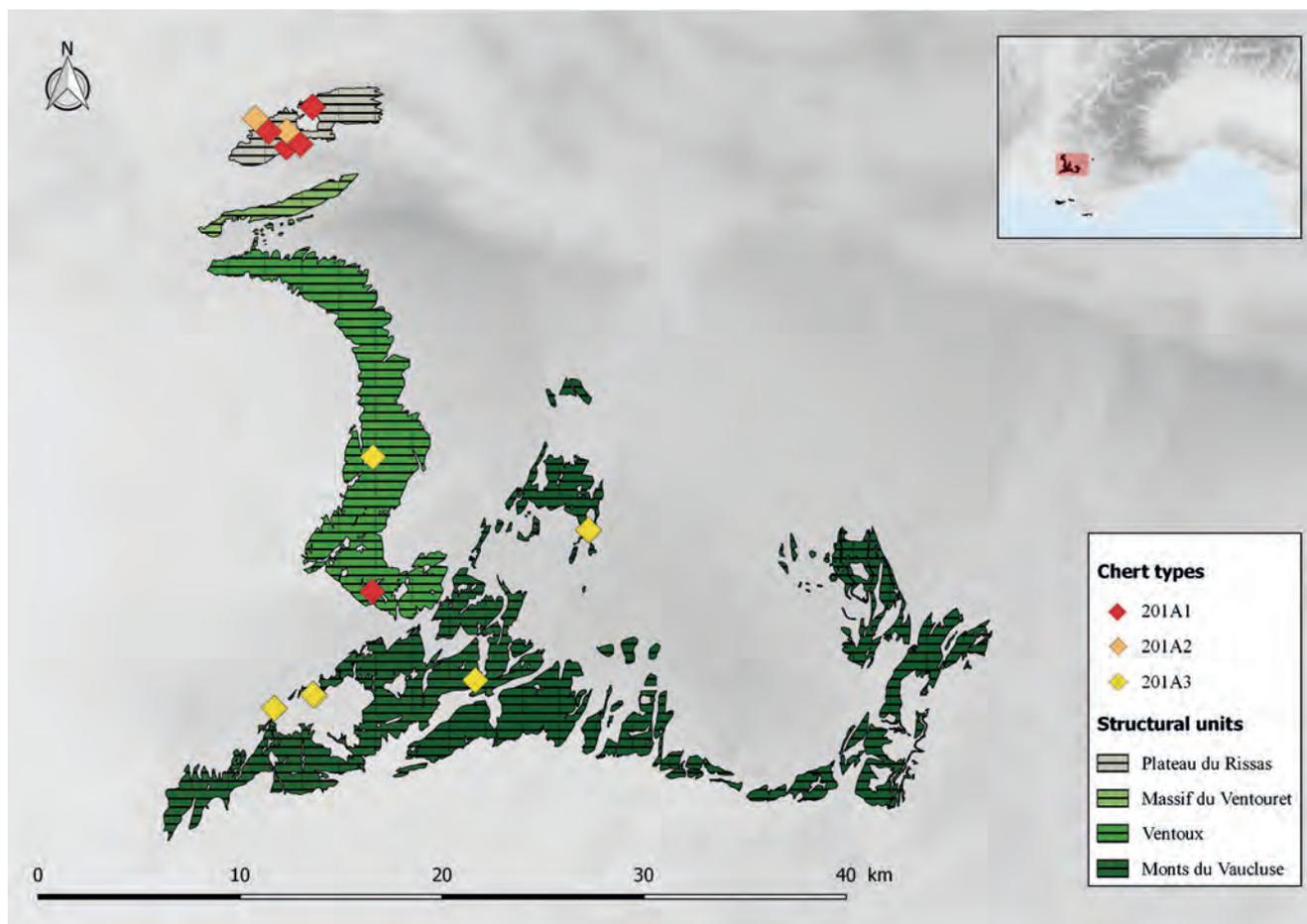


Fig. 8 Repartition of each group among the Bedoulian outcrops

The occupation, principally concentrated during the second half of the 5th millennium BCE, displays three main phases (B1, C1, and C2) that helped to define the formative period of the Chassey culture. Among the abundant related industries, Barremo-Bedoulian chert from the Provence shelf plays a major role among identified siliceous resources ($n = 1392$), i.e., 65.1% within phase B1, 58.4% within C1, and 47.7% within C2. Urgonian honey chert is clearly dominating, as rare pieces from other Barremo-Bedoulian types are displayed in phases B1 up

Table 8 Sample selection from Ventimiglia-Fanciulli cave (Tomasso 2014a, Tomasso 2016)

Layer	Attribution	Total Nb. Bedoulian cherts	Selected samples
1	Late Epigravettian (ER3a)	20	6
2	Early or Late Epigravettian	5	2
4	Early Epigravettian (EA3)	54	18
5	Gravettian/Early Epigravettian (EA1)	88	6
Total		167	33

to C2 as gray-black chert from Murs type 201A4 ($n = 144$) and light gray from Banon/Sault type 201B3 ($n = 8$). None of these artifacts received heat treatment. The knapped production is clearly focused on flakes during phase B1, while few blades appear during phase C1 (Binder 2016).

A set of 11 flakes and 4 blades has been selected among honey chert from C1 ($n = 6$) and B1 ($n = 9$) (Table 10).

The semi-quantitative quartz analysis (Table 11) provides obvious results: 13 of the 15 pieces fall into the type 201A3. Only two remain dubious with I_g densities of quartz of 23 and 28 cm^{-2} which are comprised between the higher values of 201A1 and the lowest values of the two other types. However, the I_g is consistent with an attribution to 201A3. For the 15 pieces, the quartz grains CED are totally consistent with the type 201A3. The densities are lower than those of the geological sample (Fig.9). These relatively low densities were already noticed for the pieces of Fanciulli's cave. Further studies are needed to explain this observation.

All the selected pieces from the phase B1 have the same aspect with white-colored subcortical zonation. Intra-clastic porosity is important and oxidized rhombohedra are

Table 9 Quartz analysis of Fanciulli's cave samples

Sample	Density (cm ⁻²)			I_g	Grain size						Type	
	Total	< 62.5 μm	> 62.5 μm		Average	St. dev.	Min	Q1	Median	Q3		Max
EnfD-095	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	201A1
EnfF-303	1	1	0	–	28.2	–	–	–	–	–	–	
EnfI-475	4	4	0	–	38.9	16.1	15.5	34.9	44.8	48.8	50.6	
EnfE-038	5	5	0	–	31.5	13.2	15.7	24.1	29.4	37.8	50.3	
EnfE-113	5	2	3	0.7	70.4	10.2	57.8	61.4	74.4	78.5	80.0	
EnfE-003	6	3	3	1.0	51.1	21.0	30.0	33.4	49.6	65.1	78.9	
EnfC-012	10	9	1	9.0	44.2	11.7	23.2	38.2	41.5	48.8	73.9	
EnfI-481	10	5	5	1.0	61.0	16.2	30.4	50.2	62.2	72.0	82.5	
EnfI-476	13	7	6	1.2	65.7	17.5	41.5	50.5	59.4	83.7	89.8	
EnfE-166	13	3	10	0.3	70.9	10.4	52.4	63.4	70.7	77.3	92.1	
EnfI-490	15	9	6	1.5	62.2	24.6	32.4	44.0	53.1	77.2	106.4	
EnfE-141	15	7	8	0.9	63.0	15.8	22.8	47.0	55.8	62.1	81.6	
EnfF-302	15	8	7	1.1	61.8	23.4	18.7	50.5	62.2	71.7	105.9	
EnfE-369	16	11	5	2.2	51.2	37.6	15.5	27.8	39.5	64.5	170.6	
EnfF-303	16	12	4	3.0	52.7	23.5	13.6	36.9	47.2	67.1	97.1	
EnfE-006	18	12	6	2.0	52.8	15.5	26.9	43.1	52.6	63.4	82.2	
EnfE-120	18	4	14	0.3	70.5	17.6	27.9	64.3	73.6	82.0	96.7	
EnfE-236	18	8	10	0.8	60.7	16.6	30.3	50.7	63.6	71.7	89.0	
EnfF-174	18	13	5	2.6	55.5	17.4	26.6	42.9	56.1	63.5	99.2	
EnfE-173	21	16	5	3.2	53.7	15.8	22.8	47.0	55.8	62.1	81.6	
Enf4-003	25	10	15	0.7	67.4	21.5	31.2	48.9	69.3	80.6	116.6	
EnfE-005	25	14	11	1.3	57.4	16.2	30.2	47.6	59.4	67.8	86.0	
Enf4-002	34	16	18	0.9	63.4	15.1	33.9	54.7	63.4	75.1	91.5	201A2
EnfC-110	45	22	23	1.0	62.4	19.9	25.2	45.3	66.0	77.2	105.7	
EnfE-386	36	19	17	1.1	61.4	20.7	21.6	47.9	60.7	74.9	103.5	
Enf4-022	31	18	13	1.4	58.1	17.6	28.7	45.7	59.7	70.7	87.8	201A2 or 201A3
Enf4-004	40	24	16	1.5	57.3	18.3	27.3	43.3	53.6	71.3	98.5	
EnfF-310	54	33	21	1.6	54.8	22.8	17.9	35.0	52.4	71.5	119.1	
EnfD-001	52	32	20	1.6	60.6	16.7	35.0	48.4	59.0	71.2	99.7	
Enf4-001	33	21	12	1.8	58.4	16.2	24.2	50.3	56.7	66.9	96.5	
EnfE-247	56	47	9	5.2	45.0	19.2	17.3	29.4	40.6	55.9	103.9	201A3

numerous. Spicules are present as well as rare Foraminifera (*Textularidae*). The pieces coming from C1 are deep yellow and very homogeneous with many boxworks. The clasts are well sorted with low density (less than 10%). Identified bioclasts (spicules, ostracods) are rare, i.e. only one occurrence of each one.

There is no correlation between the quartz count and the two groups recognized at the mesoscopic scale. The difference seems to be in relation with the evolution of cherts in secondary position rather than to different subtypes.

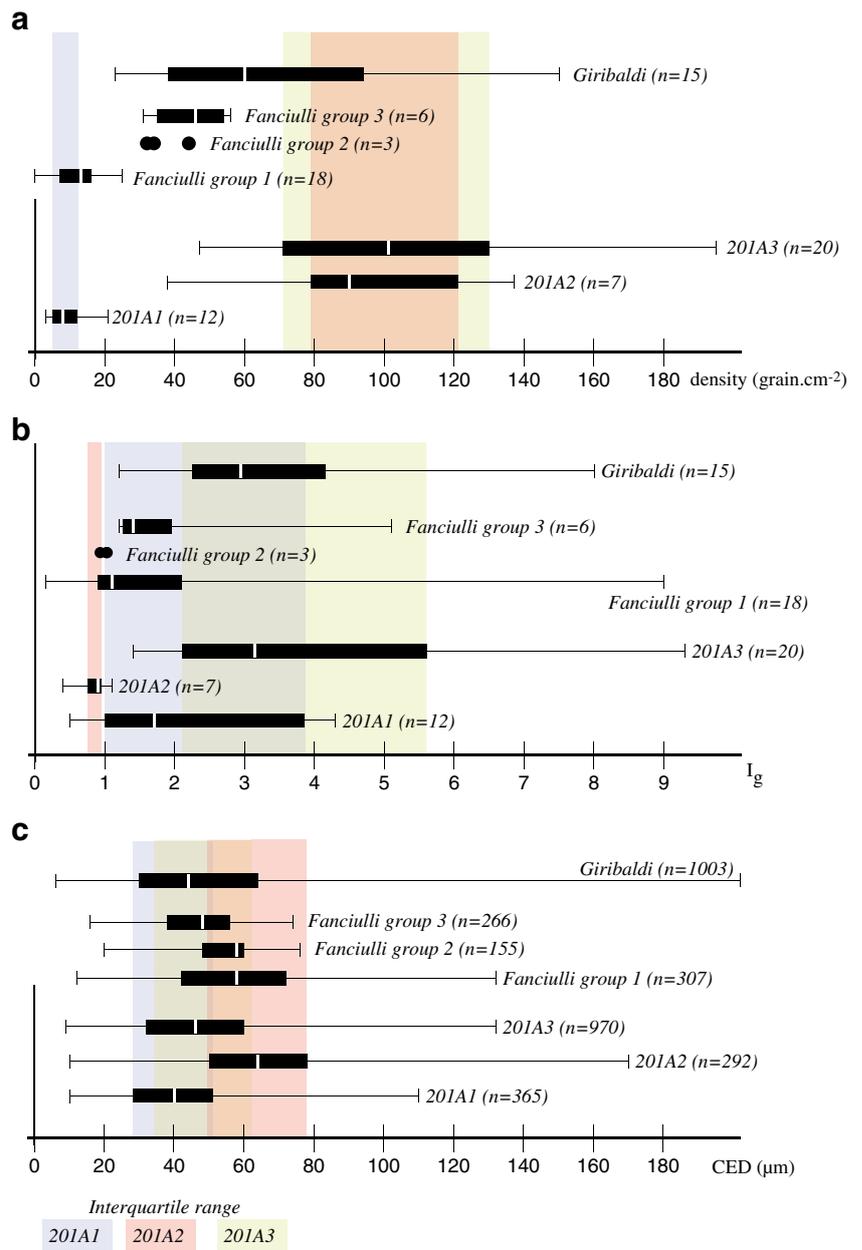
The application of the granulometric analysis of quartz grains on this first set of Neolithic pieces shows a great homogeneity for all analyzed pieces. All measured values are consistent with an attribution to the type 201A3 and could indicate a southern origin. This observation is

consistent with the presence in the industry of few other characteristic types of southern Barremo-Bedoulian outcrops (201A4, 201B3) as well as Oligocene chert whose sources are rather close in distance.

Conclusions and perspectives

Our study allowed to identify three different groups among the Barremo-Bedoulian cherts. The grain size classification of detrital quartz added to the mesoscopic description including the identification of some foraminifera provides stimulating results in the perspective of identifying with a great accuracy the provisioning modalities within an extended set of primary and secondary formations which is considered as one of the

Fig. 9 Boxplot of archeological and geological samples. **a** Densities. **b** I_g . **c** Individual quartz grains CED



major chert reservoirs in the western Mediterranean. The next steps are (1) to strengthen geological sample in primary deposits and (2) to extend the study to the secondary deposits in

Table 10 Sample selection from Nice-Giribaldi

Layer	Attribution	Total Nb. Bedoulian cherts	Selected samples
C1	Early Chassey culture	436	6
B1	Proto-Chassey culture	625	9
Total		1061	15

order to define the dispersion of different types from their respective sources.

In addition, the application test we applied to some archeological samples confirms the applicability of the method in archeological context and illustrates the type of results we can expect from its systematic application. While preliminary, these tests seem to highlight contrasted patterns. Whenever these results cannot be generalized without a new large examination towards regional sites, it provides some stimulating perspectives.

In the Upper Paleolithic site of the Fanciulli's cave, the source data highlights the diversity of sources used. The finding is consistent with previous studies that have shown the

Table 11 Detrital quartz analysis in the samples of Giribaldi

Sample	Density (cm ⁻²)				Grain size (µm)							Type
	Total	< 62.5 µm	> 62.5 µm	I _g	Average	St. dev.	Min	Q1	Median	Q3	Max	
VG-4404	23	19	4	4.8	51.2	16.9	25.3	39.8	50.1	59.2	83.5	201A1 or A3
VG-4654	28	23	5	4.6	47.1	17.4	25.0	34.6	41.0	59.2	89.9	
VG-774	30	24	6	4.0	50.1	22.0	13.6	33.3	47.7	59.2	97.0	201A3
VG-293	54	48	6	8.0	40.3	18.7	10.4	25.0	38.4	51.9	94.6	
VG-686	41	24	17	1.4	58.4	19.0	28.1	41.8	57.6	70.8	107.8	
VG-4492	60	42	18	2.3	54.4	20.8	19.8	39.3	49.6	69.9	111.3	
VG-4402	71	50	21	2.4	51.5	19.9	17.7	36.4	47.6	64.7	105.6	
VG-209	35	25	10	2.5	52.2	15.6	17.9	39.8	50.1	65.7	82.7	
VG-317	150	112	38	2.9	47.9	22.2	7.0	30.6	44.6	62.6	114.1	
VG-682	90	69	21	3.3	48.6	23.9	10.9	30.4	44.9	61.0	136.5	
VG-4658	98	84	14	6.0	42.5	19.1	10.4	28.6	42.6	51.6	119.0	
VG-1049	97	69	28	2.5	55.9	23.7	14.7	45.0	55.0	64.2	223.0	
VG-411	67	50	17	2.9	50.1	20.9	19.1	34.0	44.4	63.2	109.8	
VG-684	59	34	25	1.4	57.0	16.4	25.3	44.8	55.8	68.2	92.7	
VG-685	100	72	28	2.6	54.4	20.3	12.2	40.9	50.7	64.9	115.8	

diversity of sources exploited in the regional Late Upper Paleolithic layers (Tomasso 2015). It will be interesting to compare with other site and particularly with Early Upper Paleolithic sites with notable proportion of Bedoulian cherts, e.g., the Observatoire cave in Monaco (Porraz et al. 2010).

As a contrast, the results obtained for the Giribaldi's Neolithic series seem to indicate a more specialized exploitation over one group of the southern sources. In this very specific context of the increasing craft specialization during the Chassey culture (Léa et al. 2012), this result has a high significance. From the application of this analysis method at the scale of the Neolithic Barremo-Bedoulian cherts circulation network, we can expect major results. By relating receiver sites at the scale of the northwestern Mediterranean Basin producer workshop around outcrops and specific outcrops, we will assess the economic structuration of this network. One of the main issues is to test the hypothesis of the unicity or the multiplicity of producing centers eventually associated with different skills.

In addition, we believe that this method could be applied to other types of cherts with similar precision. Indeed, several cherts contain mineral fragments, frequently quartz, or gravel, and the granulometric analysis seems to be effective for discriminating fine variations of paleogeographic conditions within a formation or between convergent types.

This perspective is critical for the development of techno-economic perspectives. Indeed, the geological availabilities in an area could imply convergences in the composition of assemblages. Because of these convergences, our capacity to interpret the provisioning practice could be limited. Our ability to distinguish with the best accuracy the different source

areas is then crucial and it is necessary to go beyond the simple identification of the geological formation.

Acknowledgments The authors are grateful to P. Simon for facilitating the access to the Fanciulli's series conserved at the Museum of Prehistoric Anthropology at Monaco. The authors thank J.-M. Lardeaux (GEOAZUR, Nice) for improving our structural map.

Funding information This study has been undertaken within the framework of the ETICALP project (Evolutions, Transferts, Interculturalités dans l'Arc Liguro-Provençal, D. Binder dir.) funded by the French Ministry of Culture (Service Régional de l'Archéologie, Provence-Alpes-Côte-D'azur), the Departmental Council of the Alpes-Maritimes, and the CEPAM (Nice) and of the ProMiTraSil project (Processus et milieux du traitement thermique des silex barrémo-bédouliens au Chasséen-fin 5ème et 4ème mill. Cal BC, Méditerranée occidentale, V. Léa dir.) funded by the French National Research Agency (ANR) with the partnership of TRACES, GET, and CEMES (Toulouse) and CEPAM (Nice). The mapping of the geological formation was supported by the Réseau de lithothèques en Auvergne Rhône-Alpes, funded by the French Ministry of Culture (SRA Rhône-Alpes), Paléotime, and the CEPAM, with contribution of C Tufféry, G. Davtian, J.-B. Caverne, and P. Tallet.

References

- Aspinall A, Feather AA, Phillips A-P S-W (1976) Preliminary analyses of Southern French flint samples. In: Engelen FHG (ed) Second international symposium on flint, 8–11 mai, vol 1975. Nederlandse Geologische Vereniging, Maastricht, pp 42–46
- Aspinall A, Feather SW, Phillips AP (1981) Further analyses of Southern French flint industries. In: Engelen FHG (ed) Proceeding of the third international symposium on flint, 24–27 May, vol 1979. Nederlandse Geologische Vereniging, Maastricht, pp 92–93
- Barbier M (1996) Caractérisation des silex urgoniens dans la région du Vaucluse. Université de Bourgogne, Thèse de doctorat

- Barfield LH (1990) The lithic factor: a study of the relationship between stone sources and human settlement in the Monti Lessini and the Southern Alps. In: Biagi P (ed) *The Neolithisation of the Alpine Region*. Museo civico di scienze naturali di Brescia. Brescia. Pp 147–157
- Biagi P, Starnini E (2013) Pre-Balkan platform flint in the Early Neolithic sites of the Carpathian Basin: its occurrence and significance. In: Anders A, Kulcsár G (eds) *Moments in time*. Eötvös Loránd University/L'Harmattan. Pp 47–60
- Binder D (1984) Systèmes de débitage laminaire par pression : exemples chasséens provençaux. In: Tixier J, Inizan ML, Roche H (eds) *Préhistoire de la pierre taillée. 2: économie du débitage laminaire: technologie et expérimentation : III^e table ronde de technologie lithique*. Meudon-Bellevue. Octobre 1982. Cercle de Recherches et d'Études Préhistoriques, Paris, pp 71–84
- Binder D (1998) Silex blond et complexité des assemblages lithiques dans le Néolithique liguro-provençal. In: Danna A, Binder D (eds) *Production et identité culturelle : actualité de la recherche : Rencontres méridionales de préhistoire récente, actes de la deuxième session*. Arles (Bouches-du-Rhône), 8 et 9 novembre, vol 1996. APDCA, Antibes, pp 111–128
- Binder D (2016) Approvisionnement et gestion des outillages lithiques au Néolithique : l'exemple de Giribaldi en Provence orientale. In: Tomasso A, Binder D, Martino G et al (eds) *Ressources lithiques. Productions et transferts entre Alpes et Méditerranée*. Société Préhistorique Française, Nice, pp 289–311
- Binder D, Perlès C (1990) Stratégies de gestion des outillages lithiques au Néolithique. *Paléo* 2:257–283
- Blanc JJ, Masse JP, Triat JM et al (1975) Notice de la carte géologique de France au 50000-feuille de Carpentras. 941. BRGM, Orléans
- Blet M (1999) L'apport de l'ablation laser couplée à l'ICP-MS à la caractérisation des archéomatériaux siliceux. Thèse de doctorat. Université d'Orléans
- Blet M, Binder D, Gratuze B (2000) Essais de caractérisation des silex Bédouliens provençaux par analyse chimique élémentaire. *Revue d'archéométrie* 24:149–167
- Cotillon P, Arnaud-Vanneau A, Arnaud H et al (1984) Crétacé inférieur. In: Debrand-Passard S (ed) *Synthèse géologique du Sud-Est de la France*. BRGM, Orléans, pp 287–338
- Delagnes A, Schmidt P, Douze K et al (2016) Early evidence for the extensive heat treatment of silcrete in the Howiesons Poort at Klipdrift Shelter (layer PBD. 65 ka). *South Africa. PLoS One* 11: e0163874. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163874>
- Delvigne V (2016) Géoressources et expressions technoculturelles dans le sud du Massif central au Paléolithique supérieur : des déterminismes et des choix. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01326945/>
- Fernandes P (2012) Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée. Application au Paléolithique moyen Thèse de doctorat Université de Bordeaux 1. http://ori-oai.u-bordeaux1.fr/pdf/2012/FERNANDES_PAUL_2012.pdf
- Fernandes P, Tuffery C, Raynal J-P. et al (2016) Les formations à silex dans le sud de la France : élaboration en multipartenariat d'une base de données géoréférencées, premiers résultats. In: Tomasso A., Binder D., Martino G. et al. (eds) *Ressources lithiques, productions et transferts entre Alpes et Méditerranée*. Société Préhistorique Française. Nice. pp 137–150
- Geneste J-M (2010) Systèmes techniques de production lithique. Variations techno-économiques dans les processus de réalisation des outillages paléolithiques. *Techniques and Culture* 54–55:419–449
- Grimaldi S, Porraz G, Santaniello F (2014) Raw material procurement and land use in the northern Mediterranean Arc: insight from the first Proto-Aurignacian of Riparo Mochi (Balzi Rossi, Italy). *Aust Q* 61:113–127
- Léa V (2004) Centres de production et diffusion des silex bédouliens au Chasséen. *Gallia Préhistoire* 46:231–250
- Léa V (2005) Raw. Pre-heated or ready to use: discovering specialist supply systems for flint industries in mid-Neolithic (Chasséen) communities in Southern France. *Antiquity* 79:51–65
- Léa V, Roqué-Rosell J, Torchy L. et al (2012) Craft specialization and exchanges during the Southern Chassey Culture: an integrated archaeological and material sciences approach. 5 (Gava, février 2011, edited by M. Borrel, F. Borrel, J. Bosc, X. Clop & M. Molist). 119–27. Rubricatum (Gavà) Special issue:119–127
- Leenhardt F (1883) *Étude géologique de la région du mont Ventoux*. Collet et Masson. Montpellier, Paris
- Lemoine M, de Graciansky PC, Tricart P (2008) *De l'océan à la chaîne de montagne. Tectonique des plaques dans les Alpes*. Editions scientifiques GB. Contemporary Publishing International, Paris
- Lemonnier P (2010) L'étude des systèmes techniques. Une urgence en technologie culturelle *Techniques & Culture* 54–55:49–67
- Mével L, Fornage-Bontemps S, Béreiziat G (2014) Au carrefour des influences culturelles ? Les industries lithiques de la fin du Tardiglaciaire entre Alpes du Nord et Jura. 13 500–9 500 cal. BP. In: Langlais M, Naudinot N, Peresani M (eds) *Les groupes culturels de la transition Pléistocène-Holocène entre Atlantique et Adriatique*. Actes de la séance de la Société Préhistorique Française, Bordeaux 24–25 Mai, vol 2012. Société Préhistorique Française, Paris, pp 45–81
- Milot J, Siebenaller L, Béziat D et al (2016) Formation of fluid inclusions during heat treatment of Barremo-Bedoulian. *Archaeometric Implications*. *Archaeometry, Flint*. <https://doi.org/10.1111/arc.12256>
- Monier P, Cavalier C (1991) Notice de la carte géologique de France au 50000-feuille de Vaison la Romaine. 915. BRGM., Orléans
- Moullade M, Tronchetti G (2004) Le Gargasien (Aptien moyen) dans les stratotypes historiques de l'Aptien (SE France) : Introduction générale. *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology* 1:1–3
- Mourre V, Villa P, Henshilwood CS (2010) Early use of pressure flaking on lithic artifacts at Blombos cave. *South Africa Science* 330:659–662
- Perlès C (2016) La technologie lithique. de part et d'autre de l'Atlantique. *Bulletin de la société préhistorique française* 113:221–240
- Phillips P (1980) Raw materials and social interaction in the Southern French middle Neolithic. In: JGP B, Vries D, NMW (eds) *Interaction and acculturation in the Mediterranean*. Gruner, Amsterdam, pp 23–28
- Porraz G, Simon P, Pasquini A (2010) Identité technique et comportements économiques des groupes proto-aurignaciens à la Grotte de l'Observatoire (Principauté de Monaco). *Gallia préhistoire* 52:23–59
- Rat P, Pascal A (1982) Les plates-formes carbonatées à Rudistes (dites urgoniennes) du Crétacé inférieur et leur environnement. *Cretac Res* 3:155–166. [https://doi.org/10.1016/0195-6671\(82\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0195-6671(82)90016-7)
- Renfrew C (1984) Trade as action at distance. In: Renfrew C (ed) *Approaches to social archaeology*. Harvard University Press, Cambridge, pp 86–134
- Rio M (1982) Les accidents siliceux dans le crétacé du bassin Vocontien (Sud-Est de la France). Contribution à l'étude de la silicification des formations calcaires
- Roqué-Rosell J, Torchy L, Roucau C et al (2011) Influence of heat treatment on the physical transformations of flint used by Neolithic societies in the western Mediterranean. *MRS Proc*. <https://doi.org/10.1557/opl.2011.926>
- Santaniello F (2016) *Il Gravettiano dell'Italia tirrenica nel contesto mediterraneo: definizione delle strategie di insediamento e mobilità attraverso lo studio delle materie prime e delle industrie litiche*. Tesi di dottorato. Università degli studi di Trento, Université Nice Sophia Antipolis <http://eprints-phd.biblio.unitn.it/1825/>
- Schmidt P, Léa V, Sciau P, Frölich F (2012) Detecting and quantifying heat treatment of flint and other silica rocks: a new non-destructive method applied to heat-treated flint from the Neolithic Chassey

- culture. Southern France. *Archaeometry* 55:794–805. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2012.00712.x>
- Schmidt P, Porraz G, Slodczyk A et al (2013) Heat treatment in the South African Middle Stone Age: temperature induced transformations of silcrete and their technological implications. *J Archaeol Sci* 40: 3519–3531. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.10.016>
- Tarantini M, Galiberti A (2011) Le miniere di selce del Gargano: topografia. tipologia. tecniche estrattive. vincoli geomorfologici. dinamica diacronica. *Rassegna di Archeologia* 24:83–98
- Tixier J (2012) A method for the study of stone tools/Méthode pour l'étude des outillages lithiques. MNHA / CNRA, Luxembourg
- Tomasso A (2014a) Territoires, systèmes de mobilités et systèmes de production. La fin du Paléolithique supérieur dans l'arc Liguro-provençal. Thèse de doctorat. Université de Nice - Sophia Antipolis ; Università di Pisa. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01245932>
- Tomasso A (2014b) Pérennité et évolution des territoires d'approvisionnement au Paléolithique supérieur : l'exemple de l'Épigravettien de la grotte des Enfants (Ventimiglia. Italie). In: Otte M (ed) Modes de contacts et de déplacements au Paléolithique eurasiatique. Université de Liège/MNHA-CNRA, Luxembourg. Liège, pp 513–532
- Tomasso A (2015) Se déplacer moins ou se déplacer autrement. Que disent les assemblages de l'Épigravettien dans l'arc liguro-provençal sur les changements dans la mobilité à la fin du Paléolithique supérieur ? In: Naudinot N., Meignen L., Binder D. et al. (eds) Les systèmes de mobilité de la Préhistoire au Moyen Âge. APDCA. Antibes. pp 197–214
- Tomasso A (2016) Une unité de façade. Évolution des systèmes techniques tardiglaciaires entre l'Allerød et le Dryas récent en Europe méditerranéenne. *Bulletin de la Société préhistorique française* 113: 241–264
- Tomasso A, Porraz G (2016) Hunter-gatherers' mobility and embedded raw material procurement strategies: a critical view from the Mediterranean Upper Paleolithic. *Evol Anthropol* 25:164–174
- Tomasso A, Binder D, Martino G. et al (2016) Le référentiel Matières Premières de l'Arc Liguro-Provençal (MP-ALP) : ressources siliceuses entre Vallée du Rhône et Apennins. In: Tomasso A, Binder D, Martino G. et al. (eds) Ressources lithiques, productions et transferts entre Alpes et Méditerranée. Société Préhistorique Française. Nice. pp 11–44
- Torchy L (2013) De l'amont vers l'aval : fonction et gestion des productions lithiques dans les réseaux d'échanges du Chasséen méridional. Thèse de doctorat. Toulouse II Le Mirail. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01124208/>

« Vrais trous » et « fausses erreurs » : le contrôle de la numérisation de contours des formations à silex en Dordogne à l'aide d'un SIG.

"True holes" and "false errors": the control of the digitization of shapes of flint formations in the Dordogne department by using a GIS.

Christophe Tuffery¹, David Talec², Jean-Baptiste Caverne³, Pascal Tallet³, Geneviève Pinçon², Stéphane Konik², Jean-Pierre Platel, Alain Turq⁴, André Morala⁴, Paul Fernandes³

¹ Inrap - Direction Scientifique et Technique, christophe.tuffery@inrap.fr

² CNP, talec.david@free.fr, genevieve.pincon@culture.gouv.fr, stephane.konik@culture.gouv.fr

³ Paléotime, jean-baptiste.caverne@laposte.net, pascal.tallet@paleotime.fr, paul.fernandes@paleotime.fr

⁴ MNP, alain.turq@orange.fr, andre.morala@orange.fr

RÉSUMÉ. Dans le cadre de plusieurs Projets Collectifs de Recherches¹, un partenariat avec le Centre National de Préhistoire à Périgueux a permis de réaliser la numérisation au 1/10 000 de tous les polygones identifiés comme correspondant à des formations à silex dans le département de la Dordogne. Ce travail, réalisé avec les logiciels ArcGIS et QGIS en utilisant les cartes géologiques au 1/50 000 numérisées et géoréférencées, disponibles dans le service web Infoterre du BRGM, a permis la production d'une base de données unique sur les géoressources. Une fois numérisées et caractérisées de façon homogène, les formations à silex servent à visualiser les géoressources actuelles et donc à émettre des hypothèses sur les stratégies d'approvisionnement et de déplacement des populations préhistoriques. Les données sur les formations à silex ont été transférées sur ArcGISOnline (AGOL), une plateforme cartographique d'ESRI² qui permet de diffuser et de partager des données géoréférencées de façon sécurisée. Lors de cette étape, des différences de géométrie sont apparues entre les données d'origine et les données après leur importation sur la plateforme AGOL. Un contrôle systématique de la qualité de la numérisation et des transformations des fichiers après leur transfert sur la plateforme AGOL, est apparu indispensable. Il s'agit d'une garantie de la qualité des données pour les partenaires du projet. Si ce contrôle n'avait pas été fait, des erreurs d'interprétation auraient pu apparaître, notamment lors de l'utilisation de fonctionnalités d'analyse spatiale avec ces données, pour lesquelles la qualité de la géométrie est essentielle. Cette communication vise à souligner l'importance des étapes du contrôle qualité des données géoréférencées, non seulement lors de leur numérisation initiale mais aussi lors de leurs traitements et de leurs transferts vers diverses plateformes de diffusion et de partage de données.

ABSTRACT. In the framework of several collective research projects, a partnership with the Centre National de Préhistoire in Périgueux has achieved digitization at 1:10 000 scale of all flint formations in Dordogne department. This work, carried out with ArcGIS and QGIS software, using 1:50 000 scale geological maps scanned and georeferenced, available on BRGM Infoterre web service, enabled the production of a unique database on georesources. Once digitized and uniformly characterized, flint formations are used to view current georesources and therefore to make hypothesis on supply strategies and movements of prehistoric populations. Data on flint formations were uploaded on ArcGISOnline (AGOL), a mapping web platform of ESRI for sharing securely geo-referenced data. During this step, differences in geometry arose between original data and data after uploading on AGOL platform. A systematic quality control of digitization and transformation of files after their transfer to AGOL platform, has appeared necessary to ensure the data quality for project partners. If this control had not been made, errors of interpretation could have occurred, especially when using functionalities of spatial analysis with these data, for which the quality of geometry is essential. This communication aims to highlight importance of quality control of georeferenced data, not only during their initial digitalization but also throughout their treatments and transfers to various diffusion and sharing platforms.

MOTS-CLÉS. Silex, cartographie, SIG, numérisation, contrôle qualité.

KEYWORDS. Flint, mapping, GIS, digitalization, quality control.

¹ « Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes », « Réseau de lithothèques en Auvergne », « Réseau de lithothèques en Grande Aquitaine » et « Réseau de lithothèques en Centre Val de Loire »

² www.arcgis.com

© 2017 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience.fr

1. Cadre du projet et sa chronologie

Les résultats présentés ici sont le fruit de travaux conduits depuis une dizaine d'années entre un nombre croissant de chercheurs (préhistoriens, géologues, minéralogistes, géographes, etc.), engagés dans la connaissance des zones de formations à silex en France et dans la compréhension des processus physico-chimiques intervenant dans la formation des silex et dans l'évolution leur divers micro-faciès (Fernandes P., 2012, Fernandes P. et al., 2016).

Parmi les travaux réalisés pendant cette décennie de collaboration scientifique, on peut mentionner les étapes suivantes qui intéressent plus particulièrement notre propos :

- 2006 : premières cartes de localisation de gîtes à silex (Massif central, Alpes, vallée du Rhône)
- 2006-2010 : lancement du Projet Collectif de Recherche (PCR) « Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes » dont les objectifs étaient et restent d'harmoniser les pratiques, les modèles, les méthodes descriptives
- 2011-2012 : harmonisation de plusieurs bases de données de plusieurs laboratoires
- 2013-2016 : élargissement des zones géographiques concernées par les travaux des divers PCR (régions PACA, Aquitaine, Centre Val de Loire, Midi-Pyrénées, etc.) qui ont fonction de mettre en commun et d'harmoniser les informations recueillies à l'échelle régionale
- 2016 : lancement de l'enquête nationale sur les lithothèques sous l'égide du Ministère de la Culture et de la Communication, Sous-Direction de l'Archéologie (SDA), du Centre National de la Préhistoire (CNP), du CNRS (instituts InEE et InSHS), de l'Inrap et de Paléotime dont l'une des retombées envisagées est la constitution d'un réseau national.

Ces différents travaux et les résultats auxquels ils ont permis d'aboutir, visent à répondre à une thématique de recherche impliquant des problèmes méthodologiques.

2. Thématique et problèmes méthodologiques

L'identification des sources d'approvisionnement en matières premières est une question déjà ancienne, qu'ont peut dater de l'apparition de la préhistoire comme discipline scientifique dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle.

L'étude des espaces parcourus par les hommes durant la préhistoire s'appuie depuis longtemps et essentiellement sur l'identification des sources d'approvisionnement en matières premières utilisées pour la fabrication des séries lithiques trouvés dans les sites archéologiques ou en prospection.

Ph. Boissinot (2015) a proposé de schématiser la partition des espaces accessibles (en distance et en temps) pour les populations du passé (figure 1). Ces espaces sont découpés selon des potentialités économiques supposés des différents secteurs d'approvisionnement en ressources (W, X, Y, Z) et des ressources exploitées dans plusieurs gisements archéologiques proches (a, b, c, d, e, f, g, h) du gisement principal S situé au centre.

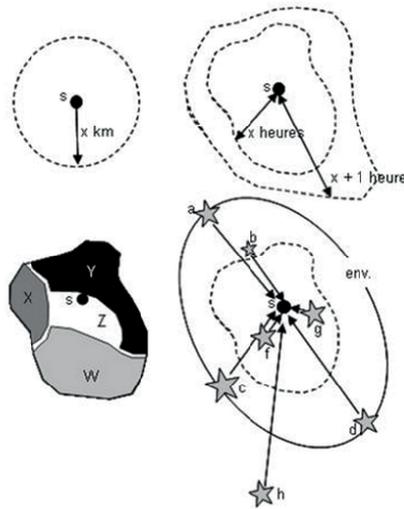


Figure 1. Schéma de partition des espaces accessibles (en distance et en temps) pour les populations du passé (in . Boissinot Ph., 2015)

On peut retrouver dans cette figure, les principes du "site catchment analysis" proposés par des auteurs anglo-saxons, parmi lesquels de P. Binford (1980) qui a proposé de distinguer les chasseurs de type "foragers" et ceux de type "collectors", les premiers désignant des populations à forte mobilité mais avec des stratégies opportunistes d'improvisation dans leurs activités d'approvisionnement en ressources, les seconds se déplaçant moins souvent mais de façon davantage programmée et avec une stratégie de prévoyance.

Appliqués à des travaux réalisés sur les territoires d'approvisionnement des populations préhistoriques en matières premières dans le Massif-central, ces principes ont donné lieu à la production de plusieurs cartes (figure 2).

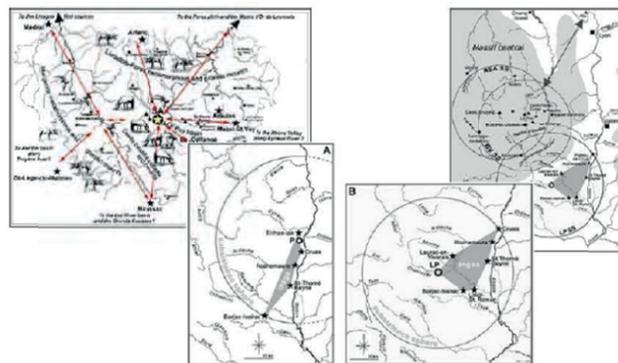


Figure 2. Cartes des zones théoriques d'approvisionnement en matières premières dans le Massif central pour le paléolithique moyen (in Raynal J-P. et al., 2010)

Sur ces cartes, les cercles tracés à partir des sites archéologiques délimitent les territoires compris dans une zone de 20 à 50 km à l'intérieur desquels les populations étaient censées s'approvisionner en matières premières.

Habituellement, la détermination des sources d'approvisionnement s'appuie sur la connaissance des géoressources : les lithothèques, la cartographie, les prospections de terrain, la consultation de la littérature spécialisée, les bases de données de référence.

Nous menons, depuis plusieurs années, un travail méthodologique pour aboutir à la mise en place d'un protocole adapté à une meilleure reconnaissance de la provenance du mobilier lithique. Dans ce but, nous avons formé le concept de « chaîne évolutive » qui élargit à la préhistoire les raisonnements sur le rapport entre silicifications et environnements (Fernandes 2012). Notre protocole est fondé sur l'analyse comparative des transformations rencontrées dans les échantillons géologiques et dans les objets archéologiques. L'enregistrement des caractères acquis et mémorisés nécessite des mesures systématiques. Ce protocole renouvelé implique à la fois démarche qualitative et quantitative, qui intègre les caractères évolutifs les plus discriminants. Il s'appuie sur la caractérisation des phases minéralogiques, l'analyse des éléments figurés et l'examen des états de surface. La prise en compte des évolutions prédépositionnelles et post-dépositionnelles participent donc à la reconnaissance des géoressources exploitées ainsi qu'à l'évaluation de l'intégrité du site dans une perspective taphonomique.

L'analyse des silex nécessite l'utilisation de modèles dynamiques afin de décrypter les étapes de la phase diagénétique et l'historique des processus post-génétiques. En fait, chaque environnement du silex a imposé une série de traits communs caractéristiques dans une unité paléogéographique déterminée. C'est sur le postulat de décryptage de la variabilité, qu'elle soit génétique et/ou post-génétique, qu'est fondée notre conception de la pétroarchéologie du silex.

L'étude et la description des matériaux géologiques s'effectuent à trois échelles complémentaires :

- échelle macroscopique : vestige archéologique ou échantillon géologique,
- échelle mésoscopique : microscope optique,
- échelle microscopiques : microscope électronique à balayage.

Ces nouveaux outils de lecture, qui prennent en compte les processus génétiques et l'histoire post-génétique des silex, sont couplés aux méthodes de caractérisation structurale (diffractométrie X, Raman) et géochimique (analyses élémentaires), ce qui permet une approche considérablement affinée des sources. Leur détermination s'appuie désormais aussi sur une caractérisation pétrologique, tenant compte de l'évolution physico-chimique des matériaux géologiques et archéologiques.

L'étape suivante consiste en la confrontation entre assemblages archéologiques et référentiels géologiques. Cette confrontation permet d'émettre ensuite des hypothèses sur des logiques d'approvisionnement qui nécessitent néanmoins toujours une grande prudence dans leur interprétation.

Concernant la caractérisation spatiale, les processus d'évolution des matières siliceuses (ou concept de Chaîne évolutive) interviennent dans trois types de sites (gîtes primaires, gîtes secondaires et sites archéologiques). Une cartographie basée sur la position des formations actuelles doit prendre en compte l'évolution des reliefs, ce qui implique une étude géomorphologique pour chaque gîte secondaire étudié. Notre expérience montre que la prise en compte de l'évolution du réseau hydrographique et des bassins versants est essentielle. Les matériaux présents dans ce type de formation fluviale témoignent des polarités dynamiques (types d'itinéraires parcourus par les silex) dans la distribution entre les familles génétiques (silex en position primaire) et les variantes gîtologiques (silex issus de l'évolution des types génétiques en position secondaire). Le but final est de constituer des cartes sur lesquelles chaque gîte primaire est en relation avec l'ensemble des formations qu'il alimente. Chaque gîte secondaire est considéré comme le maillon d'une chaîne évolutive, de l'encaissant vers les gîtes les plus éloignés.

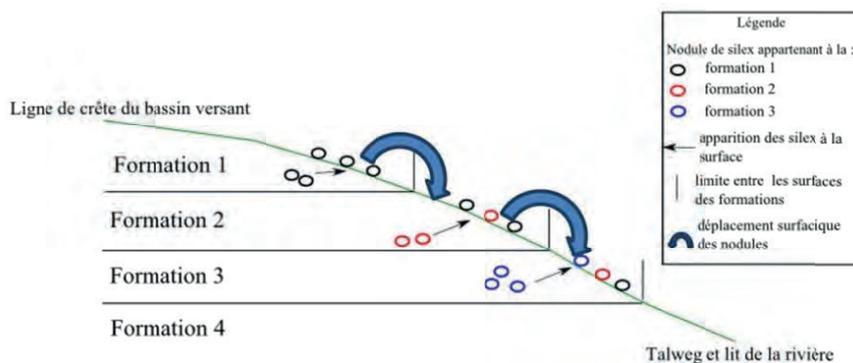


Figure 3. Déplacement schématisé des silex le long d'une pente

Les déplacements le long d'une pente des silex provenant de différentes formations qui en comportent peuvent être schématisés (figure 3). On constate une accumulation de l'amont à l'aval des nodules de silex provenant de plusieurs formations successives. Dans la formation la plus en aval, on peut retrouver des nodules provenant des différentes formations se trouvant en amont, ce qui n'est pas le cas des formations les plus en amont.

Dans un secteur (autour de Fumel) de la vallée du Lot, ces principes théoriques ont pu être identifiés sur le terrain (figure 4), en s'appuyant sur la distinction entre gîtes primaires et gîtes secondaires.

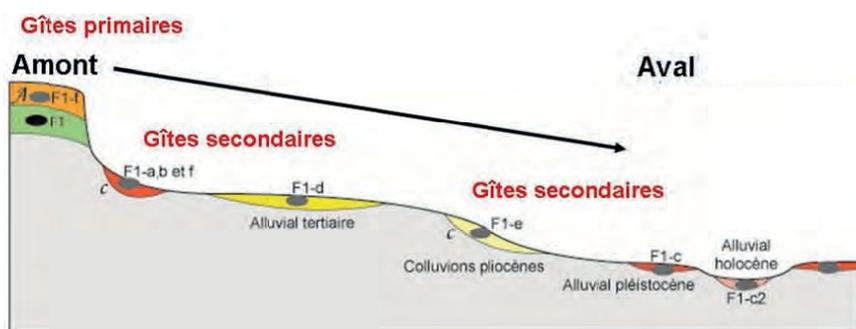


Figure 4. Déplacement schématisé des silex le long d'une pente

Cette distinction entre les différentes étapes de la chaîne évolutive des silex de l'amont vers l'aval se retrouve en planimétrie, dans les différents types de formations correspondant aux divers types génétiques et à leurs évolutions respectives (figure 5).

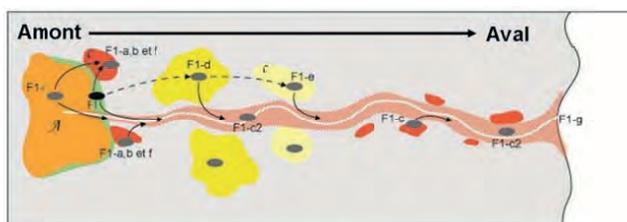


Figure 5. Positionnement en plan des divers types génétiques et de leurs types évolutifs respectifs

Dans une même vallée (figure 6), on peut observer des transports naturels relativement simples, alors que dans d'autres secteurs on peut voir des transports successifs entre gîtes primaires et gîtes secondaires qui sont plus difficiles à interpréter, notamment par rapport à la topographie actuelle qui a été largement modifiée du fait de l'érosion fluviale.

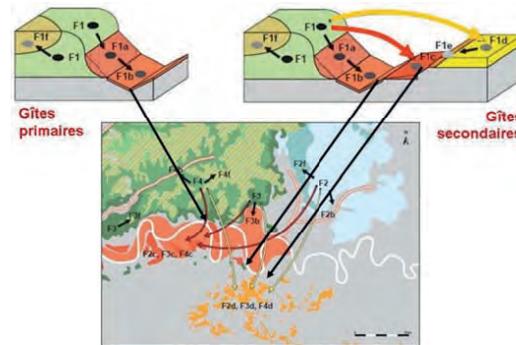


Figure 6. Les déplacements des matières siliceuses de part et d'autre du thalweg actuel d'une vallée

Pour pouvoir émettre des hypothèses recevables quant aux scénarios possibles de mise en place des divers types gîtologiques c'est-à-dire ayant évolué au cours de leur itinéraire post-génétique, il convenait de renforcer la qualité des observations faites sur ces matières aux différentes échelles indiquées : macro, méso, micro.

Les informations disponibles dans les lithothèques devaient permettre d'alimenter ces travaux. Or force fut de constater que les lithothèques constituées en France, l'avaient été de façon non coordonnée pour des raisons d'émergence et de développement hétéroclite de ce type de référentiel.

Lors de la confrontation de plusieurs lithothèques, divers problèmes méthodologiques sont apparus, parmi lesquels :

- une diversité des pratiques et des modalités de description des formations à silex in situ, des échantillons géologiques, des pièces lithiques,
- des données disparates et souvent inadéquates pour répondre aux questionnements archéologiques,
- un cloisonnement inutile des initiatives dû aux limites administratives,
- l'absence de prise en compte de la notion de chaîne évolutive.

C'est pourquoi il est apparu indispensable de viser deux objectifs majeurs :

- améliorer le niveau de qualité de la précision spatiale de la connaissance des formations à silex,
- améliorer l'interopérabilité entre les corpus de données, de dictionnaires de données et parfois de métadonnées,
- concevoir des lithothèques intégrant des données dynamiques (l'altération post-génétique) jusque-là sous exploitées.

3. Les travaux réalisés dans ce cadre

Les travaux des PCR réseaux de lithothèques ont précisément permis d'aboutir à plusieurs résultats :

- des cartes de localisation des lieux de collecte de silex,

– une carte des limites des principales formations à silex dans 6 régions du sud de la France (Aquitaine, Auvergne, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Rhône-Alpes).

Les premiers travaux cartographiques conduits avec le PCR en région Rhône-Alpes, datent de 2006. Réalisés avec ArcGIS, ils ont consisté à reporter la localisation des gîtes à silex en liaison avec les formations géologiques ayant pu les alimenter (figure 7).

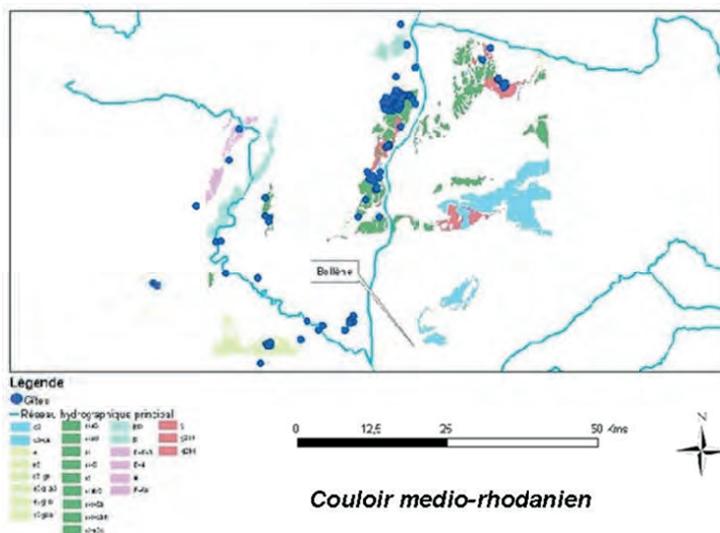


Figure 7. Premières cartes de localisation de gîtes à silex dans le couloir médio-rhodanien (Fernandes P. et Tufféry C., 2005)

A ces premiers travaux ont succédé ceux qui ont permis d'aboutir à la production d'une carte réalisée avec Adobe Illustrator (figure 8) à partir d'une lecture interprétative des cartes géologiques du BRGM scannées, géoréférencées et mosaïquées dans ArcGIS (Fernandes P. et al. 2013).

Mais les conditions de production de ces cartes limitaient leur utilisation pour des travaux systématiques à grande échelle.

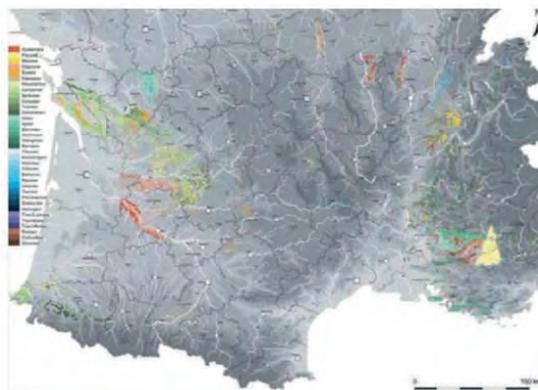


Figure 8. Premières cartes de localisation de gîtes à silex pour la France méridionale (Fernandes P., et al., 2012)

Après ces premiers travaux qui ont produit des cartes statiques produites par un seul chercheur et consultable que par un faible nombre d'autres, il a été décidé de réaliser des cartes interactives et évolutives, produites par un collectif de chercheurs et rendues disponibles en ligne.

Les contours des formations à silex ont alors été numérisées, avec les logiciels QGis et ArcGIS, en utilisant les cartes géologiques au 1/50 000 du BRGM disponibles sur le webservice WMS Infoterre du BRGM. La numérisation a été effectuée selon un protocole homogène consistant à les afficher à l'écran au 1/10 000. Puis des attributs descriptifs sur la géologie et sur la géographie ont été associés aux polygones des formations numérisées.

Après avoir été mise au point pour la région Rhône-Alpes puis pour la région PACA, ce même protocole a été utilisé en 2015 pour le département de la Dordogne (figure 9), dans le cadre d'un travail co-financé et encadré par le CNP (Talec D., 2015).

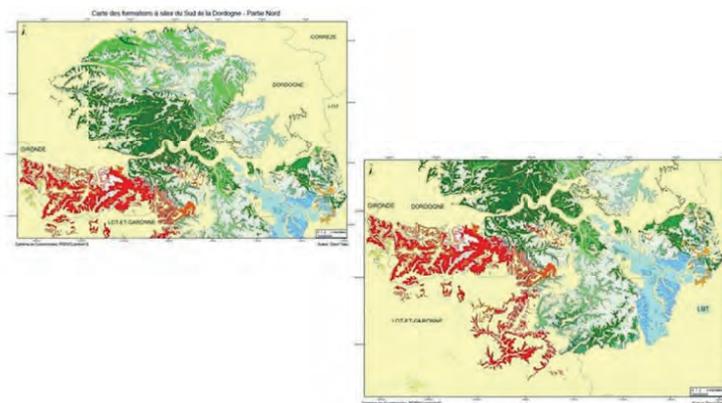


Figure 9. Carte des formations à silex de Dordogne (parties nord et sud) (Talec D., 2015)

Une fois numérisées, les données ont été stockées, traitées et mises à jour dans le système de gestion de base de données PostgreSQL et dans son module de gestion de données spatiales PostGIS. Dans le but de modéliser la notion de chaîne évolutive sous SIG des scripts ont été développés notamment pour le parcours de graphe sur les réseaux hydrographiques ou encore dans la recherche des formations contiguës (Fernandes P. et Dalphiné D., 2014). Ces scripts font intervenir les fonctions de récursivité pour constituer la dynamique et les liens qui unissent les formations.

Lors de ces développements, le problème de la qualité des données est apparu crucial, que ce soit dans la qualité de numérisation des contours mais aussi dans la pertinence de l'attribution des données descriptives.

4. La qualité des données et diffusion

Une topologie de qualité s'est avérée indispensable pour pouvoir aborder l'étude des relations spatiales entre les polygones de formations à silex. C'est le cas, notamment, lorsqu'il s'agit d'identifier les frontières entre formations contiguës (figure 10).

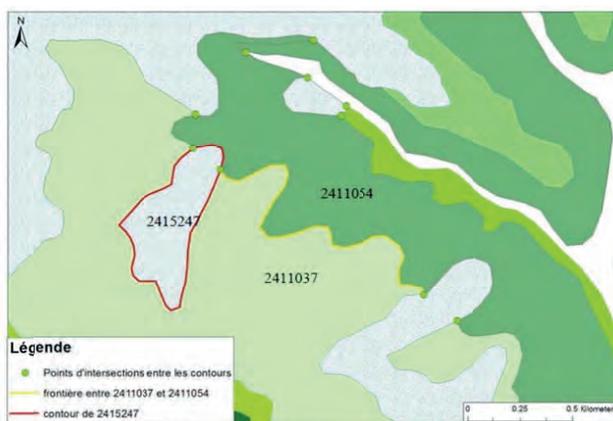


Figure 10. Identification des frontières entre formations à silex contiguës

Il en est de même pour le calcul de la surface théorique d'approvisionnement en silex à partir d'un point d'intérêt dans un bassin-versant dans lequel se trouvent des formations siliceuses (figure 11).

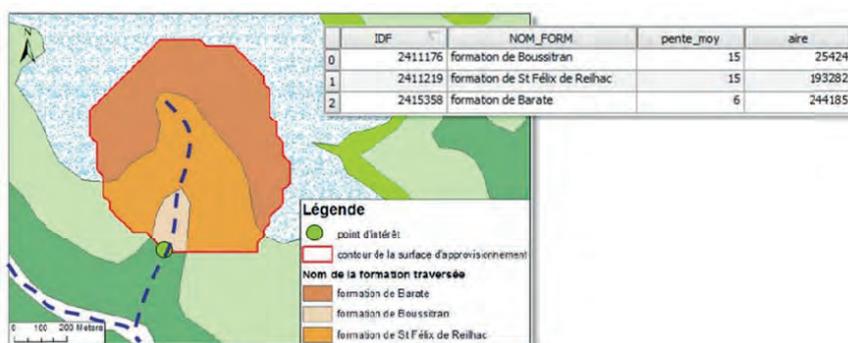


Figure 11. Identification de la surface théorique d'approvisionnement en silex à partir d'un point d'intérêt dans un bassin-versant

Afin de permettre la diffusion et le partage des données, des tests ont été réalisés avec la plateforme ArcGisOnLine (AGOL) d'ESRI (figure 12).



Figure 12. Affichage dans AGOL des polygones des formations à silex et des données attributaires associées

Une fois importées dans AGOL, il est possible de développer une application de webmapping grâce à des modèles disponibles et l'usage de boutons et de fonctionnalités associées (widgets), très simples à insérer dans l'interface du site de consultation (figure 13).

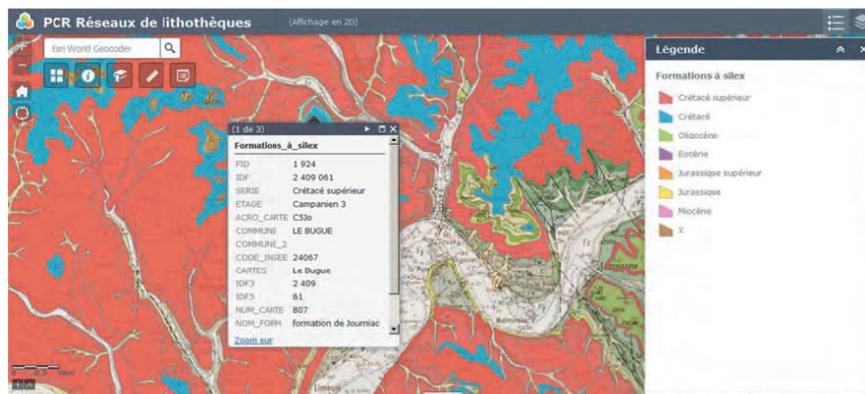


Figure 13. Affichage dans AGOL des polygones des formations à silex et des données attributaires associées

A l'issue de l'importation des polygones des formations à silex dans AGOL, nous nous sommes aperçus que les données avaient subi des transformations de leur géométrie. En effet, les contours des polygones des formations avaient été "généralisés", c'est-à-dire simplifié. Dans ce cas, le nombre de vertex des contours des polygones est diminué, mais d'une façon qui n'est pas systématique. Cela dépend de la forme et du nombre de vertex par polygone.

Cette généralisation est l'option cochée par défaut dans AGOL lors de l'importation. Pour éviter la généralisation, il faut veiller à cocher l'option « Conserver les entités d'origine » lors de l'importation dans AGOL. De plus, il faut modifier la limite par défaut des 1000 entités au maximum qu'il est possible d'importer.

L'identification de la modification des contours des polygones a été réalisée grâce à la fonction de vérification de topologie du logiciel QGIS. Cette extension, utilisée pour ce projet dans la version 2.8 de QGIS, s'installe dans le menu Vecteur de QGIS. Cette extension a été complétée depuis la version 2.12 par l'extension "Vérificateur de géométrie" qui enrichit grandement les possibilités de vérification et qui s'installe dans les outils de géométrie du logiciel.

Le vérificateur de topologie de QGIS propose 5 options de vérification :

- Doublons (2 polygones de géométries identiques).
- Polygones multi-parties (2 polygones distincts mais ne formant qu'une seule entité dans la table attributaire).
- Polygones à géométrie invalide.
- Superpositions entre polygones.
- Trous.

Avec l'option "Trous", le vérificateur a détecté 408 "erreurs".

Une vérification systématique visuelle de toutes ces "erreurs" a été faite. Elle s'est imposée. Certes le développement d'un script de nettoyage aurait pu être développé. Mais celui-ci aurait pu identifier par erreur des trous là où ils existent effectivement sur les cartes géologiques du BRGM. Sur le terrain

ce sont de véritables polygones inclus dans les polygones des formations où le silex n'apparaît plus en surface.

Dans ce cas, il s'agit de "vrais trous", justifiés qui sont donc de "fausses erreurs" et qu'il faut conserver.

A l'inverse, il peut y avoir aussi des polygones supprimés qui résultent de la limitation du nombre de nœuds par polygones (ce qui est le principe de la généralisation). Dans ce cas, il faut retrouver les polygones injustement supprimés.

C'est en zoomant sur les "trous" identifiés qu'on peut s'apercevoir que les contours de certains des polygones ont été modifiés lors de leur importation dans AGOL.

Ces "trous" sont des petits polygones créés en limites de polygones plus grands. Il faut les supprimer et revenir à la topologie d'origine.

Dans ce cas, les "faux polygones" sont de "vraies erreurs" du vérificateur de topologie (figure 14).

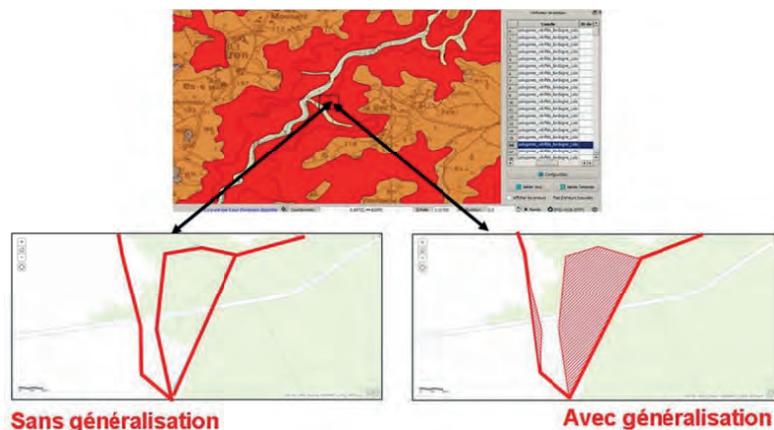


Figure 14. Résultat de la généralisation des contours de polygones contigus de formations à silex

Les conséquences des erreurs de topologie sur la géométrie et sur les possibilités d'utiliser des fonctionnalités d'analyse spatiale sont multiples :

- des données au niveau de qualité hétérogène,
- des relations spatiales artificielles, tronquées, disparues entre les polygones des formations à silex,
- des erreurs dans la recherche des contiguïtés entre polygones,
- des erreurs dans l'utilisation des scripts de parcours de graphe du réseau hydrographique par rapport aux formations à silex.

De ces exemples, on peut distinguer quelques préconisations générales sur la qualité des données.

En archéologie, comme tous les domaines de la recherche, la connaissance de la qualité des données s'inscrit dans la gestion des données. Cette gestion doit s'appuyer sur un Plan de Gestion des Données (PGD) ou *Data management plan* (DMP). Un PGD doit prendre en compte toutes les étapes du cycle de vie des données qui comporte 6 grands domaines d'activité : Création, Traitement, Analyse, Conservation, Accès, Réutilisation (figure 15)

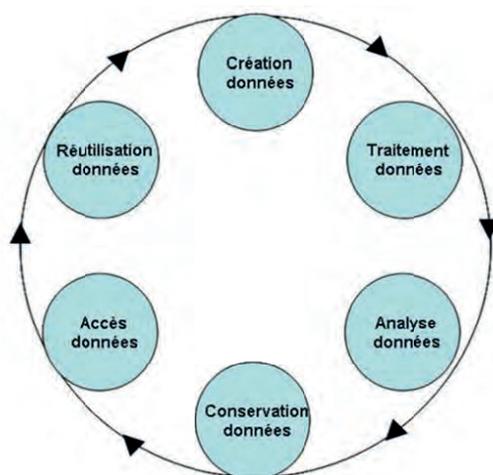


Figure 15. Cycle de vie des données (d'après Corti L. et al., 2014)

Le PGD définit ce que les chercheurs feront de leurs données pendant et après le projet, explicitant notamment la mise à disposition des données (cf. l'initiative pilote pour le libre accès aux données de la recherche qui oblige les projets financés sur le programme Horizon 2020 de disposer d'un PGD).

Il existe deux types de qualité des données sur les données géoréférencées (CERTU, 2010).

- une qualité interne : liée aux spécifications de contenus qui doivent être définies en amont qui doit conduire à s'interroger sur "Que doit-on numériser et comment ?",
- une qualité externe : liée aux spécifications des besoins d'utilisation en aval et qui doit faire se demander "Quels usages sont possibles des données numérisées ?".

Le contrôle de la qualité de la numérisation des données archéologiques géoréférencées devrait répondre à trois exigences principales :

- il devrait s'agir d'une activité indispensable tout au long du processus d'acquisition et de traitement des données ("bonne pratique"),
- ce processus devrait être décrit dans les métadonnées,
- il devrait s'appuyer sur les normes existantes dans le domaine de l'information géographique.

De façon plus générale, la qualité des données se trouve à l'interface entre quatre domaines :

- l'exactitude,
- la complétude,
- la fraîcheur,
- la cohérence.

Les problèmes rencontrés dans l'usage des normes traitant de la qualité des données archéologiques géoréférencées, sont communs à toutes les données géoréférencées. Ces normes sont nombreuses et souvent difficiles et fastidieuses à appliquer. Elles sont très peu ou très mal connues, notamment en raison du manque de formations sur le sujet.

Pour faire face à ces difficultés, il conviendrait :

- d'ouvrir le dialogue entre chercheurs, producteurs, utilisateurs...mais aussi juristes, techniciens, grand public,
- de mettre en place des actions d'accompagnement (formation, sensibilisation, séminaires, ateliers, et... des communications et des publications sur le sujet etc.), notamment sur les métadonnées permettant de décrire la qualité des données.

A côté des actions nécessaires à la sensibilisation au problème de la qualité des données, il faut aussi que des actions soient conduites dans le domaine des métadonnées qui comprend, notamment, des informations sur la qualité des données elles-mêmes.

5. L'importance des métadonnées

Les métadonnées sont indispensables pour permettre aux données d'être correctement diffusées entre les partenaires d'un projet collectif de recherche présentés ici, en transportant avec la carte toutes les descriptions définies dès le PGD.

Les métadonnées permettent aux données d'être publiées et moissonnées sur les webservices dédiés aux données archéologiques qui se multiplient ces derniers temps, à l'échelle française ou européenne (cf. projet ARIADNE).

L'intérêt final de ces webservices est de permettre aux données scientifiques ainsi publiées et moissonnées, d'alimenter le web sémantique.

La constitution des métadonnées doit s'effectuer dès les phases amont de la production des couches de données géoréférencées. Pour cela, les logiciels ArcGIS et QGIS proposent tous les deux des outils facilitant la saisie des métadonnées (figure 16).

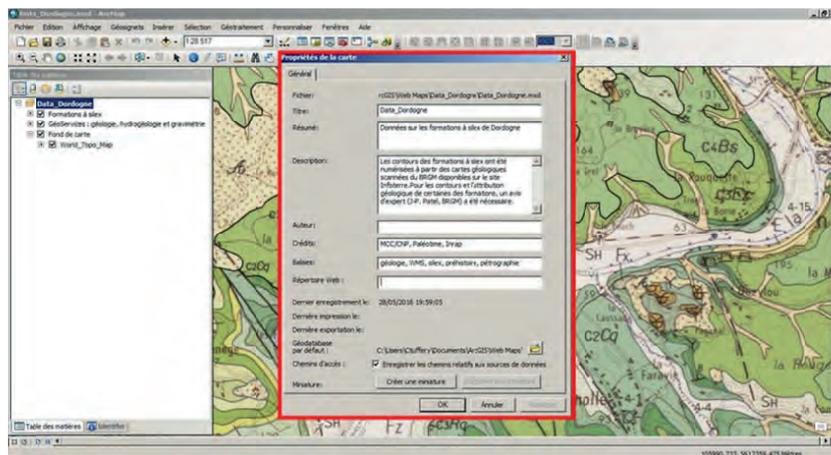


Figure 16. Panneau dans ArcGis permettant la saisie des métadonnées

Dans AGOL, il existe un premier niveau de description de la ressource ; ce sont les métadonnées minimales (figure 17) :

- Description.
- Contraintes d'accès et d'utilisation.
- Contenu des couches de la carte.

– Propriétés.

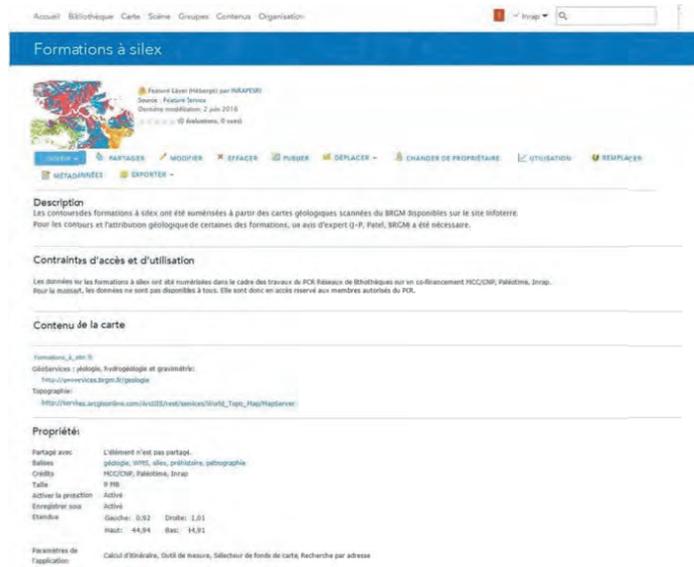


Figure 17. Panneau dans AGOL permettant l'affichage des métadonnées

Mais AGOL propose aussi de décrire les données selon plusieurs normes de métadonnées dont la norme ISO 19139 qui comprend de nombreux descripteurs, organisés de façon hiérarchique en rubriques et sous-rubriques (figure 18). Par exemple, dans les rubriques décrivant la ressource, apparaissent les sous-rubriques sur les titres et dates, les URL pour accéder aux données, les identifiants, la forme, les contacts, etc.

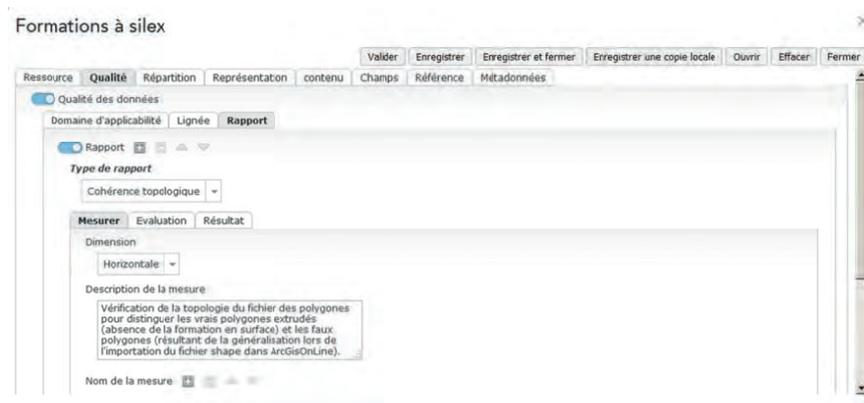


Figure 18. Outil de saisie dans AGOL des métadonnées selon la norme ISO 19139

Dans ces rubriques sur la qualité des données, il faut fournir les informations décrivant les mesures effectuées sur la qualité, l'évaluation de la qualité qui a été faite et les résultats des mesures sur cette qualité. Il peut y avoir plusieurs types de rapport (ex. Cohérence topologique).

6. Conclusion

La connaissance et la caractérisation des formations à silex dans le sud de la France présenté ici, s'appuient sur le travail de nombreux chercheurs d'horizons très variés (archéologues, préhistoriens, géologues, géographes, etc.) dont les apports et les compétences sont complémentaires depuis une dizaine d'années.

La constitution, selon un protocole harmonisé, de bases de données sur les formations à silex ouvre la voie à la comparaison des corpus de données descriptives sur ces formations, longtemps restés difficiles à confronter du fait d'une hétérogénéité dans leurs modes de constitution et des descripteurs utilisés.

Le partage des données et des métadonnées devient dorénavant possible, même si un travail important reste à faire pour consolider l'approche proposée. Celle-ci présente néanmoins l'intérêt d'offrir un cadre renouvelé pour une approche véritablement pluridisciplinaire sur le silex comme ressource essentielle et pérenne (puisque parvenue jusqu'à nous) des populations du passé. Il s'agit de mieux comprendre leurs logiques d'approvisionnement et leurs déplacements sur leurs territoires, en ayant pu mettre en connexion toutes les formations à silex.

La constitution des bases de données, si elle devient de plus en plus aisée à mettre en œuvre, ne doit pas faire l'impasse sur plusieurs aspects. Notamment elle doit intégrer la connaissance et la gestion de la qualité des données en s'appuyant sur la production et le maintien des métadonnées associées. Il en va de la crédibilité de la recherche effectuée et de ses possibilités de partage et de diffusion.

7. Bibliographie

- Binford P., 1980 – Willow Smoke and Dogs' Tails: Hunter-Gatherer Settlement Systems and Archaeological Site Formation, *American Antiquity* 45:420.
https://anthropology.boisestate.edu/wp-content/uploads/2010/06/article10_willow-smoke-and-dogs-tails.pdf
- Boissinot Ph., 2015 – Qu'est-ce qu'un fait archéologique ? Ed. EHESS, volume : 57, 365 pages (Collection : En temps & lieux)
- CERTU, 2010 – La qualité des données géographiques. État des lieux pour un débat. Rapport d'étude du CERTU, 32 pages. <http://www.certu-catalogue.fr/la-qualite-des-donnees-geographiques.html>
- Corti L., Van den Eynden V., Libby Bishop L., Woollard M., 2014 – Managing and sharing research data : a guide to good practice. SAGE, 240 pages.
<https://www.ukdataservice.ac.uk/manage-data/handbook>
- Fernandes P., 2012 – Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen. Thèse de l'université de Bordeaux 1 sous la direction de Jean-Paul Raynal soutenue le 12 juin 2012. 2 vol., 623 pages
http://ori-oai.u-bordeaux1.fr/pdf/2012/FERNANDES_PAUL_2012.pdf
http://www.prehistoire.org/offres/file_inline_src/515/515_P_40036_578298164ec72_6.pdf
- Fernandes P. et Tufféry C., 2005 – Utilisation d'ArcGIS 9 et d'un SGBD pour la recherche de corrélations spatiales entre sites archéologiques et gîtes de matériaux siliceux au Paléolithique moyen dans le Massif central. Conférence annuelle francophone d'ESRI France, 5-6 octobre 2005 <http://www.esrifrance.fr/sig2005/communications2005/ehess/ehess.htm>
- Fernandes P., Tufféry C., Raynal J.-P., Piboule M., Séronie-Vivien M., Séronie-Vivien M.-R., Turq A., Morala A., Tallet P., Affolter J., Millet D., Millet F., Bazille F., Schmidt P., Foucher P., Delvigne V., Liagre J., Gaillot S., Morain A., Moncel M.-H., 2013 – Une carte et une base de données pour les formations à silex du sud de la France : un outil pour la pétroarchéologie, *PALEO* [En ligne], 24 | 2013, mis en ligne le 17 avril 2014, consulté le 01 novembre 2016. URL : <http://paleo.revues.org/2633>
- Fernandes P. et Dalphin D., 2014 – Vers une cartographie dynamique des géoressources en silex dans le sud de la France, contribution à l'étude des comportements humains au cours de la Préhistoire, Communication à la Conférence SIG 2014, Versailles, 1-2 octobre 2014

- Fernandes P., Tufféry C., Binder D., Leandri-Bressy C., Bracco J-P., Tallet P., Morala A., Turq A., Davtian G., Caverne J-B., Dalphiné D., Delvigne V., Liagre J., Gaillot S., Millet D., Millet F., Piboule M., Picavet R., Schmidt P., Tomasso A., Affolter J., Bazile F., Garnier J-F., Bintz P., Pinçon G. et Raynal J-P., 2016 – Les formations à silex dans le Sud de la France : élaboration en multipartenariat d'une base de données géoréférencées, premiers résultats, in Ressources lithiques, productions et transferts entre Alpes et Méditerranée. Actes de la journée de la Société Préhistorique Française. Nice, 28-29 mars 2013, Textes publiés sous la direction de Antonin Tomasso, Didier Binder, Gabriele Martino, Guillaume Porraz, Patrick Simon et Nicolas Naudinot, Paris, Société préhistorique française, 2016 (Séances de la Société préhistorique française, 5), p. 137-150
- Raynal J-P. et Moncel M-H., 2010 – Matières et cultures au Paléolithique moyen : un retour sur expérience. Les journées silex de Lyon. Vers une harmonisation méthodologique. Octobre 2010, Lyon, France. <hal-00660526>
- Talec D., 2015 – Intégration des phénomènes de diffusion dans la cartographie. Rapport de Stage CNAM-ESGT, 40 pages.



Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Palevol

www.sciencedirect.com



Paléontologie humaine et préhistoire (Archéologie préhistorique)

Techno-économie et signification culturelle de l'occupation moustérienne supérieure de Baume-Vallée (Haute-Loire)



Techno-economy and cultural significance of the upper Mousterian occupation from Baume-Vallée (Haute-Loire)

Erwan Vaissie^{a,*}, Vincent Delvigne^{a,b}, Jean-Philippe Faivre^a, Paul Fernandes^{a,c}, Alain Turq^{a,d}, Jean-Paul Raynal^{a,e}

^a UMR 5199 PACEA, université de Bordeaux, bâtiment B18, allée Geoffroy-Saint-Hilaire, 33615 Pessac, France

^b Service de préhistoire, université libre de Liège, place du XX-Août, 4000 Liège, Belgique

^c SARL Paléotime, 6173, rue Jean-Séraphin-Achard-Picard, 38250 Villard-de-Lans, France

^d Musée national de préhistoire, UMR 5199 Pacea, université de Bordeaux, 1, rue du Musée, 24620 Les-Eyzies-de-Tayac-Sireuil, France

^e Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Deutscher Platz 6, 04103 Leipzig, Allemagne

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 9 mars 2017

Accepté après révision le 3 juin 2017

Disponible sur internet le 18 août 2017

Handled by Marcel Otte

Mots clés :

Paléolithique moyen
Massif central
Technologie lithique
Chaîne opératoire
Techno-économie
Levallois
Néandertal

Keywords:

Middle Paleolithic
Massif Central
Lithic technology
Chaîne opératoire
Techno-economy
Levallois
Neandertal

RÉSUMÉ

Les niveaux archéologiques de l'abri sous-roche Baume-Vallée (Haute-Loire), dans le Sud-Est, du Massif central, fouillés par A. Laborde (de 1966 à 1973), puis par J.-P. Raynal (de 1974 à 1996), ont livré un matériel lithique abondant attribué au Paléolithique moyen récent, avec une grande diversité de matières premières. L'industrie lithique des unités supérieures fut tout d'abord rattachée au faciès charentien *lato sensu*, puis ultérieurement attribuée au Moustérien de type Ferrassie. Sa révision technologique et techno-économique livre de nouvelles informations sur les concepts de débitage et le fractionnement des chaînes opératoires mises en œuvre, données qui permettent d'inclure désormais cette série au sein des techno-complexes Levallois à racloirs, fréquemment observés au Paléolithique moyen récent dans un grand Sud-Est de la France.

© 2017 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

ABSTRACT

The archaeological units of the Baume-Vallée rock shelter (Haute-Loire) in the South-East of the Massif Central, excavated by A. Laborde (from 1966 to 1973) then by J.-P. Raynal (from 1974 to 1996), have yielded abundant lithic assemblages attributed to the late Middle Paleolithic, characterized by a remarkable diversity of the raw materials used. The lithic industry of the upper units had previously been described as belonging to the Charentian facies *lato sensu*, then was attributed to the Ferrassie-type Mousterian. The technology and the techno-economic revision of its upper assemblage bring new information on the

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : erwan.vaissie82@orange.fr (E. Vaissie).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.crpv.2017.06.005>

1631-0683/© 2017 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

flaking mechanisms and the steps of the *chaînes opératoires*. These data tend to include this assemblage in the Levallois techno-complexes with scrapers often observed in late Middle Paleolithic of southeastern France.

© 2017 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Abridged English version

Introduction

Located in the Velay, on the Devès plateau, the Baume-Vallée site is a basaltic rock shelter (Fig. 1). Excavated by A. Laborde (from 1966 to 1973), then by J.-P. Raynal (from 1974 to 1996), the deposit have yielded an important stratigraphy with many archeological levels (Daugas et Raynal, 1977; Laborde, 1972; Raynal, 1975, 1981, 1983a, 1983b, 1988, 1989, 1992; Raynal et al., 2005). Cold climatic conditions have played an important role in the filling constitution, with many periglacial figures like cryoclasty or solifluxion. Past studies (Decroix, 1984, 1985; Decroix-Bourhim, 1990; Decroix-Bourhim et al., 1990; Raynal et Decroix, 1986) have focused on the lower units that contain Mousterian material with a mixed *chaîne opératoire* of Levallois and Quina components and well-represented retouched tools. These characteristics have led to an attribution to the Mousterian Charentian of Ferrassie type, which was confirmed for the upper units (Bouzzougar, 1993).

Material and methods

The analysis presented here focuses on lithic material from J.-P. Raynal excavations. The majority of the current lithic analyses are based on technological studies that emphasize a systemic vision of technical concepts and production processes encapsulated in the *chaîne opératoire*. Recent works demonstrated the necessity of a new definition of lithics industry and F. Bordes's Mousterian facies (Bordes, 1950; Bourguignon et Meignen, 2010; Delagnes et al., 2007; Jaubert, 2012; Jaubert et al., 2006; Lebègue, 2012; among others). This study includes revised 2984 lithic objects.

Results and discussion

The upper units of the Baume-Vallée site have yielded an important diversity of raw materials dominated by flint *s.l.* (Table 1) showing a large geographic repartition (Fig. 2), which results in the application of different *chaînes opératoires*.

The quartz, represented by 259 artifacts, is flaked according to a Discoid conception and, to a lesser extent, a bipolar flaking one (Figs. 3 and 4). The Discoid conception is represented by both unifacial and bifacial modes, which mainly produced large flakes, with neocortical platform or not, and sharp edges more or less devices or converging in the knapping axis. These flakes are mostly invasive on the debitage surface and, in case of bifacial modality, some of them were produced in a cordal direction, which participates in

the volumetric management of the core (Boëda, 1993). The bipolar on anvil flaking method concerns a small part of the quartz series and appears as an addition to the Discoid component. Typical flakes present an opposite double platform and a very flat ventral surface resulting from split fracturing (Bracco, 1992, 1997; Faivre et al., 2011; Jaubert, 1990). Retouched tools are rarely represented ($n=26$) and largely dominated by scrapers, mostly simple and convex.

Magmatic rocks are comprised of granite, basalts and trachyphonolites ($n=46$). If granite is only represented by whole pebbles or fragments with traces of percussion, basalts and trachyphonolites show knapping action. Except a Levallois flake, knapping products are mostly non diagnostic. Only three flakes have been retouched as scrapers.

The flint assemblage, consisting of 2682 artifacts (Table 2), is characterized by the relatively small size of the products and a strong technological homogeneity based on the use of the Levallois flaking system (Figs. 3 and 4). The Levallois component is well represented on the flint material, but only a few flint types from local or semi-local area (Fig. 2) allowed us to carry out a full observation of the *chaînes opératoires*. Cores are small and share the same volumetric structure comprised of two hierarchically organized surfaces (Boëda, 1993). They are mostly reduced following a centripetal recurrent method. Predetermined Levallois flakes are poorly represented ($n=124$), but it may result from the use of a recurrent knapping method, complicating the task of setting the limits between predetermining and predetermined flakes. The Levallois flakes are morphologically variable, but more often longer than broad. Meanwhile, some artifacts illustrate the use of flakes as cores, which are also reduced according to a centripetal method carried out on the ventral surface. We could possibly connect this Kombewa component to a ramified Levallois *chaîne opératoire* (Bourguignon et al., 2004; Faivre, 2008). Retouched tools, dominated by scrapers, are poorly represented and mostly on undifferentiated blanks; only a few are on Levallois flakes. Despite the preponderance of scaled retouches, the resharpening cycle is essentially short, with rarely more than two or three retouch ranks. The flint series yields some technical evidence of bifacial shaping, mainly represented by shaping flakes.

Despite the technological homogeneity that characterizes the lithic material, we observed a differential splitting of the *chaînes opératoires*. Some materials illustrate complete or sub-complete "chaîne opératoire" while others only characterize finished products or retouched tools. The materials with these fragmentary operating chains are also those where the retouched tools have the larger regrinding cycles. These data argue for a distant origin of these raw materials and seem to indicate large material and human circulation, unusual for these ancient periods. Detailed petrographic determination could allow us to discuss the

settlement patterns and land-use by humans of the Baume-Vallée upper units.

Due to the poor preservation of the faunal remains, subsistence strategies can only be discussed from the viewpoint of lithic technology. Splitting of the *chaînes opératoires* and low transformation rates argue in favor of a short occupation time included in the migration route. When faunal remains are present, medium altitude sites show seasonal occupation for hunting certain ungulate species that seek summer grazing at higher altitudes (Bernard-Guelle, 2005; Daujeard et al., 2012; Raynal et al., 2013).

Based on these results, we can now suggest a new cultural attribution of these units. The technological component and the low transformation rate assimilate the industry to a Levallois techno-complex with dominant scrapers (Delagnes et al., 2007). Other cases of reattribution are frequently observed in recent studies of many Mousterian sites (Bourguignon et Meignen, 2010; Jaubert, 2012; Jaubert et al., 2006; Lebègue, 2012; for example). The upper units of the Baume-Vallée site are well integrated in the technological area of southeastern and central-eastern France (Table 4). Many sites of the Mediterranean area and of the Rhône valley show assemblages attributed to typical Mousterian or Ferrassie-type Mousterian, with a strong Levallois component (Bernard-Guelle, 2002; Bernard-Guelle et al., 2011; Bourguignon et Meignen, 2010; Daujeard et Moncel, 2010; Durand et al., 2009; Giraud et al., 1998; Meignen, 1976; Moncel, 1996, 2005; Moncel et Michel, 2000; Moncel et al., 2010; Porraz, 2005, 2007; Texier, 1974; Tillet, 1997; Slimak, 2004; Yvorra et Slimak, 2001). A relative homogeneity has led to the definition of a Mediterranean cultural area (Lebègue, 2012). A similar component can be seen in a larger geographic area: the Alps and Vercors provinces (Bernard-Guelle, 1994, 2002, 2005; de Lumley, 1957; de Lumley-Woodyear, 1971) and north and north-eastern extensions of the Massif Central (Desbrosses and Tavoso, 1971; Farizy, 1995; Lhomme et al., 2004; Martineau et al., 2015; Pasty, 2001; Slimak, 2004; Tuffreau, 2001) characterized by a persistent Levallois tradition and the importance of small numbers of retouched tools. However, despite the presence of elongated products showing the use of unipolar and bipolar Levallois methods, there is no laminar or point component as often observed in the recent phase of the Middle Palaeolithic (Delagnes et al., 2007; Deloze et al., 1994; Loch, 2002; Moncel, 1996; Soressi, 2002).

Conclusion

The upper units of the site of Baume-Vallée show a flint production mostly based on diverse modalities of Levallois knapping. However, there is some evidence of flint shaping and also of a Discoïd component on quartz. This diversity is just an example of the technical variability and adaptability of Mousterian groups who had to deal with different raw materials. Technological observations and the small rate of retouched tools make no evidence for a strictly Charentian attribution. They rather include Baume-Vallée upper assemblage among the Levallois techno-complexes often seen in a vast area of relative homogenous

technical tradition covering the eastern and northern extensions of the Massif Central during the recent Middle Paleolithic (Bernard-Guelle, 2002; Lebègue, 2012; Lhomme et al., 2004; Martineau et al., 2015; Raynal et al., 2013; Slimak, 2004, 2008). In a techno-economical perspective, the first observations seem to show a large diversity of flint uses. Associated with an important fragmentation of the "chaîne opératoire" (Turq et al., 2013), these data could allow us to discuss the subsistence territories and the mineral exploitation area of Baume-Vallée humans. Some evidence of a large circulation of raw materials is frequently observed in the regional context of the recent Middle Paleolithic (Fernandes and Raynal, 2007; Fernandes et al., 2006; Porraz, 2005; Slimak, 2004, 2008), but this hypothesis must be completed by a complementary petro-archaeological study.

1. Introduction

L'abri de Baume-Vallée, situé sur la commune de Solignac-sur-Loire, s'ouvre à 870 m au pied d'une falaise de basalte, sur le flanc ouest de la vallée de l'Ourzie (Fig. 1A), petit affluent de la rive gauche de la Loire entaillant le plateau volcanique du Devès. Le site fut découvert par A. Laborde au cours de l'hiver 1963–1964. À l'issue d'une première campagne de sondage en 1965 (Bayle Des Hermens et de Laborde, 1965), des fouilles y furent organisées par A. Laborde de 1966 à 1973, puis par J.-P. Raynal de 1974 à 1996 (Daugas et Raynal, 1977 ; Laborde, 1972 ; Raynal, 1975, 1981, 1983a, 1983b, 1988, 1989, 1992 ; Raynal et al., 2005). Ces opérations ont révélé une séquence archéo-stratigraphique puissante de 7 m (Fig. 1b). Elle comporte, de bas en haut :

- un premier ensemble composé de cailloutis cryoclastiques lités résultant d'une tétragénèse secondaire par empilement de coulées de solifluxion à front pierceux (Fig. 1C). Elle contient plusieurs niveaux archéologiques associant des assemblages lithiques moustériens à une faune composée de rennes, de bovinés, de bouquetins, de petits bovidés et de chevaux, avec une présence intermittente de cerfs. Des datations de silex chauffés par thermoluminescence ont donné un âge moyen de 78 500 ans ± 7500 ans (Raynal et Huxtable, 1989) ;
- un second ensemble de cailloutis déformés par cryergie livrant des industries moustériennes et des restes de bovinés et de chevaux ;
- un troisième ensemble constitué d'une succession de dépôts soliflués et ruisselés pouvant traduire un recul des conditions pléni-glaciaires. L'industrie lithique étudiée dans cet article provient de ces dépôts. Elle est accompagnée de restes de chevaux et de bovinés mal conservés ;
- le remplissage se termine par des cailloutis cryoclastiques plus ou moins ouverts (ensemble 4) exprimant un retour des conditions pléni-glaciaires et livrant des vestiges du Magdalénien supérieur.

Les études jusqu'alors réalisées sur le matériel lithique se sont principalement concentrées sur les séries issues des niveaux inférieurs (ensembles 1 et 2) et ont conclu à

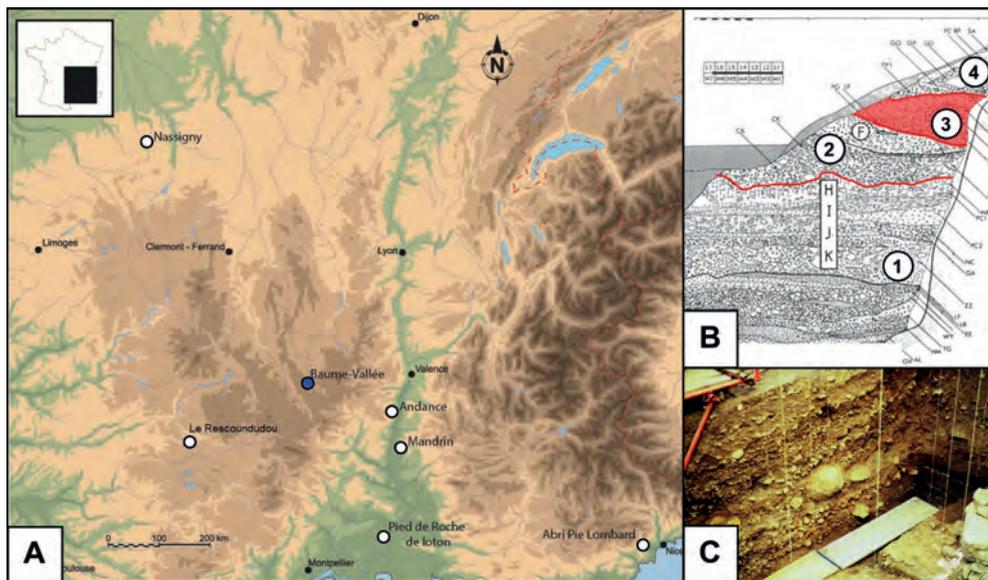


Fig. 1. A. Localisation du site de Baume-Vallée et d'autres sites moustériens utilisés en comparaison (fond de carte géoatlas, modifié). B. Stratigraphie de Baume-Vallée (d'après Raynal, 1991 ; modifié). C. Stratogénèse secondaire des unités inférieures (cliché : Jean-Paul Raynal).
Fig. 1. A. Location of Baume-Vallée site and other Mousterian sites used in comparison (map base géoatlas, modified). B. Stratigraphy of Baume-Vallée (Raynal, 1991; modified). C. Secondary stratogenesis of the lower units (picture Jean-Paul Raynal).

une relative homogénéité des systèmes de production tout au long de la séquence (Decroix, 1984, 1985 ; Decroix-Bourhim, 1990 ; Decroix-Bourhim et al., 1990 ; Raynal et Decroix, 1986). Cette production lithique révèle cependant une importante diversité des savoir-faire techniques, majoritairement Levallois ou Quina (selon des modalités de coexistence variables) et plus sporadiquement Discoïde (*sensu* Jaubert et Mourre, 1996) pour le silex. Concernant le quartz, la méthode Discoïde est nettement plus systématique. Quelques éléments sont issus de l'utilisation ponctuelle de débitage sur éclat (type « Kombewa ») et/ou sur nucléus abandonnés (débitage de type Le Pucheuil, Delagnes, 1993). Les outils retouchés sont nombreux et essentiellement réalisés sur des éclats Levallois, des éclats débordants ou des produits corticaux rattachés au débitage Quina. La retouche est majoritairement de type racloir, tandis que les aménagements de type encoche ou denticulé sont rares. Ces caractéristiques ont conduit à conforter l'attribution initiale des séries au Charentien de type Ferrassie. Des composantes techno-typologiques similaires ont été observées dans la série provenant de l'ensemble 3, concluant ainsi à l'attribution de toute la séquence moustérienne au faciès Ferrassie, mais notant toutefois son caractère Levallois et discoïde accentué dans sa partie supérieure (Bouzzougar, 1993 ; Le Corre, manuscrit inédit).

2. Matériel et méthodes

Notre étude porte sur le matériel lithique issu des niveaux supérieurs (ensemble 3) des fouilles de J.-P. Raynal

(1974–1996). L'analyse est basée sur une approche technologique qui intègre une vision systémique des concepts de débitage et des processus de production au sein de la chaîne opératoire. Au cours des 40 dernières années, la compréhension des gestes et des schémas opératoires utilisés dans le cadre de la transformation des matières premières s'est trouvée renforcée par une approche technologique des industries. De nombreux travaux récents ont démontré la nécessité de redéfinir certaines industries et de questionner la validité des faciès moustériens définis par F. Bordes (Bordes, 1950 ; Bourguignon et Meignen, 2010 ; Delagnes et al., 2007 ; Jaubert, 2012 ; Jaubert et al., 2006 ; Lebègue, 2012 ; parmi d'autres). Cette étude, portant sur 2984 pièces, intègre donc cette démarche de révision au travers de la caractérisation des systèmes de production lithique.

Fondée sur le produit des nombreux travaux de prospections et de détermination des matériaux lithiques développés depuis une trentaine d'années dans le Sud et l'Est du Massif central par certains d'entre nous (JPR, PF, VD) – nous renvoyons ici le lecteur aux notes déjà publiées (Delvigne, 2012, 2016 ; Delvigne et al., 2014, 2016, 2017 ; Fernandes, 2012 ; Fernandes et Raynal, 2006, 2007, 2010 ; Fernandes et al., 2006, 2007, 2008, 2014 ; Raynal et al., 2007) –, la détermination pétrographique préliminaire de l'industrie a révélé une importante diversité de matières premières dont l'étude détaillée doit être poursuivie (Tableau 1). Outre les quartz, granites, basaltes et trachyphonolites présents dans les environs immédiats du site, une large gamme de silex, matériaux prédominants dans la série (près de 90 % du matériel lithique), a pu être

Tableau 1
Baume-Vallée, niveaux supérieurs. Représentation des différentes matières premières.

Domaine	Type	Origine stratigraphique primaire	Origine géographique	Effectif	% Effectif	Poids	% Poids
<i>Local</i>	F0021	Aalénien	Bassin du Puy (43)	165	5,52	616,6	4,62
<i>Total silex locaux</i>				165	5,52	616,6	4,62
Semi-local	D0304	Éo-Oligocène	Bas-en-Basset (43)	1	0,03	6,9	0,05
	D1418	Éo-Oligocène	Le Monteil (43)	3	0,10	0,7	0,01
	D1501	Éo-Oligocène	Bassin du Puy (43)	1	0,03	53,0	0,40
	F0003.1	Oligocène	Vallée de la Borne (43)	571	19,12	1092,0	8,18
	F0003.2	Oligocène	Les Chazeaux, Borne (43)	1108	37,09	2344,8	17,57
	F0004	Miocène	La Collange, Lantriac (43)	16	0,54	46,0	0,34
	F0005	Oligocène	Saint-Léger-du-Malzieu (48)	53	1,77	163,3	1,22
	F0009	Éo-Oligocène	Saint-Pierre-Eynac (43)	202	6,76	452,4	3,39
	F0020	Miocène	Le Mazet-Saint-Voy (43)	3	0,10	0,4	0,00
	F0036.1	Miocène ?	Le Monteil (43)	3	0,10	53,7	0,40
	F0044	Oligocène	Arlanc (63)	23	0,77	88,6	0,66
	F0140.1	Bajocien	Naussac (48)	20	0,67	43,5	0,33
	F0140.2	Tithonien	Naussac (48)	104	3,48	271,9	2,04
	F0152	Miocène ?	Naussac (48)	17	0,57	43,2	0,32
<i>Total silex semi-locaux</i>				2125	71,14	4660,4	34,92
Loin-tain	D0018 <i>sensu lato</i>	Turonien supérieur	Vallée de la Claise (37)	29	0,97	14,4	0,11
	D0066	Sénonien	Vallée-de-l'Yonne (89)	6	0,20	3,2	0,02
	D1306	Oligocène	Laps (63)	1	0,03	15,2	0,11
	D0327	Campanien	Nord-est du Cher (18)	1	0,03	0,8	0,01
	D1311	Sénonien	Assigny (18)	1	0,03	2,6	0,02
	D1436	Oligocène	Puy de Pileyre, Chauriat (63)	1	0,03	0,6	0,00
	F0007.2	Éo-Oligocène	Madriat (63)	3	0,10	14,0	0,11
	F0014	Barrémo-bédoulien	Rochemaure-Cruas (07)	9	0,30	25,7	0,19
	F0016	Oligocène ?	Pignols (63)	4	0,13	30,4	0,23
	F0037	Inconnue	paléo-truyère (48/43)	1	0,03	1,5	0,01
	F0038 <i>sensu lato</i>	Turonien inférieur	Berry (36-41)	34	1,14	20,1	0,15
	F0038.1	Turonien inférieur	Meusnes/Valençay (41)	7	0,23	88,0	0,66
	F0038.2	Turonien inférieur	vallée du Renon (41)	5	0,17	15,8	0,12
	F0038.3	Turonien inférieur	Basse vallée du Cher (41)	1	0,03	13,0	0,10
	F0038.5	Turonien inférieur	vallée du Nahon (36)	1	0,03	1,9	0,01
	F0038.6	Turonien inférieur	Basse vallée du Cher (41)	1	0,03	0,5	0,00
	D1207 <i>sensu lato</i>	Oligocène	Aurillac (15)	3	0,10	27,0	0,20
	D0336	Éo-Oligocène ?	Limagne <i>sensu lato</i> (63)	12	0,40	18,4	0,14
<i>Total silex lointain</i>				120	4,02	293,0	2,20
Inconnu	Marins (10 sous-types)	Inconnue	Inconnue	58	1,94	54,5	0,41
	Lacustre (10 sous-types)	Inconnue	Inconnue	100	3,35	272,1	2,04
Indéterminé	Indéterminés	Indéterminée	Indéterminée	114	3,82	70,5	0,53
<i>Total silex</i>				2682	89,79	5966,9	44,71
Autres roches	Quartz	/	Local probable	259	8,67	2882,8	21,60
	Granite	/	Local probable	17	0,57	537,3	4,03
	Phonolithe	/	Local probable	6	0,20	1275,1	9,55
	Basalte	/	Local probable	23	0,77	2685,1	20,12
Total				2987	100,00	13347,2	100,00

identifiée et montre un litho-espace (*sensu Delvigne, 2016*) a priori très vaste. Si la majorité du matériel provient d'une zone locale à semi-locale (jusqu'à une cinquantaine de kilomètres de distance du site) certains matériaux sont issus d'aires géographiques lointaines, voire très lointaines (plus de 100 km de distance ; Fig. 2).

3. Résultats et discussions

3.1. Structure techno-économique de la série

La diversité des matériaux présents dans les niveaux supérieurs de Baume-Vallée (Tableau 1) a conduit à la mise en œuvre de chaînes opératoires différentes (Fig. 3 et 4).

3.1.1. Le traitement du matériel en quartz

Le matériel en quartz (259 pièces) se caractérise par une bonne représentation des éclats entiers ou fragmentaires (67,57 % des objets), alors que les débris, ici peu nombreux, forment d'ordinaire la majorité des vestiges (Bracco, 1992, 1997 ; Jaubert, 1990). L'analyse technologique des principaux éléments diagnostiques permet d'identifier un système de production basé sur l'utilisation de deux conceptions de débitage : Discoïde et bipolaire sur enclume (Fig. 4).

La conception Discoïde est représentée par des nucléus à une seule surface de débitage sécante (modalités uniaxiales ; Jaubert et Mourre, 1996), partiellement ou totalement exploitée et d'autres comportant deux surfaces opposées (modalités bifaciales ; Fig. 3, n° 1), asymétriques et sécantes (Boëda, 1993 ; Jaubert et Mourre, *op. cit.*). Les

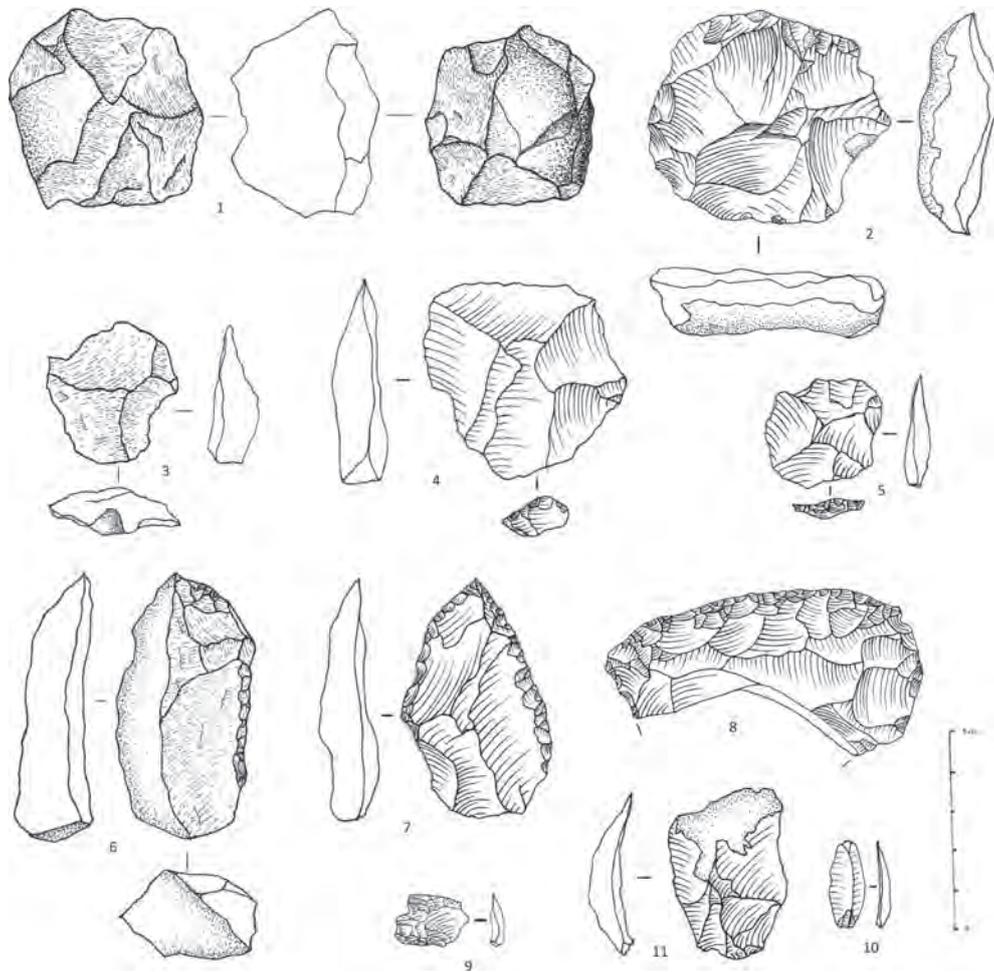


Fig. 3. Baume-Vallée, niveaux supérieurs, industrie lithique. En quartz : nucléus Discoïde bifacial (1), produits bruts (3) et retouchés (6). En silex : nucléus Levallois récurent centripète (2), éclats Levallois (4 et 5), produits retouchés (7 et 8), éclats de retouche (9 et 10), éclat de façonnage (11).
Fig. 3. Baume-Vallée, upper units, lithic industry. Quartz: Discoid bifacial core (1), unretouched (3) and retouched (6) products. Flint: Levallois core (2), Levallois flakes (4 and 5), retouched products (7 and 8), resharpening flakes (9 and 10), manufacturing flakes (11).

(tangentielle ou non) sur le bloc tenu par le tailleur (Mourre, 1996). Les éclats produits suivant cette méthode sont fréquemment fragmentés et présentent des bords subparallèles et des négatifs d'enlèvements antérieurs uni ou bipolaires. Lorsque le produit est entier, il présente un double talon opposé ainsi qu'une face inférieure très plane résultant d'une fracturation clivante en *split* (Faivre et al., 2011). Les talons peuvent être néocorticaux ou non, et majoritairement droits. Cette méthode de débitage est plus faiblement représentée au sein de la série que les modalités Discoïdes mais, au vu du fort taux de fracturation qui affecte généralement les produits (et rend donc difficile

leur attribution technique), il faut rester prudent quant à son implication réelle. Le débitage bipolaire sur enclume apparaît comme une solution alternative pour le débitage de certains volumes en quartz, mais peut également résulter d'un choix technique qui dépasse les contraintes posées par la matière.

À l'exception des nucléus, toutes les catégories de produits ont servi de support à la retouche. On note cependant que les éclats retouchés ont des dimensions sensiblement supérieures à celles du cortège des éclats bruts. Ces outils retouchés ($n=26$) sont largement dominés par le groupe des racloirs, principalement simples convexes (Fig. 3, n° 6).

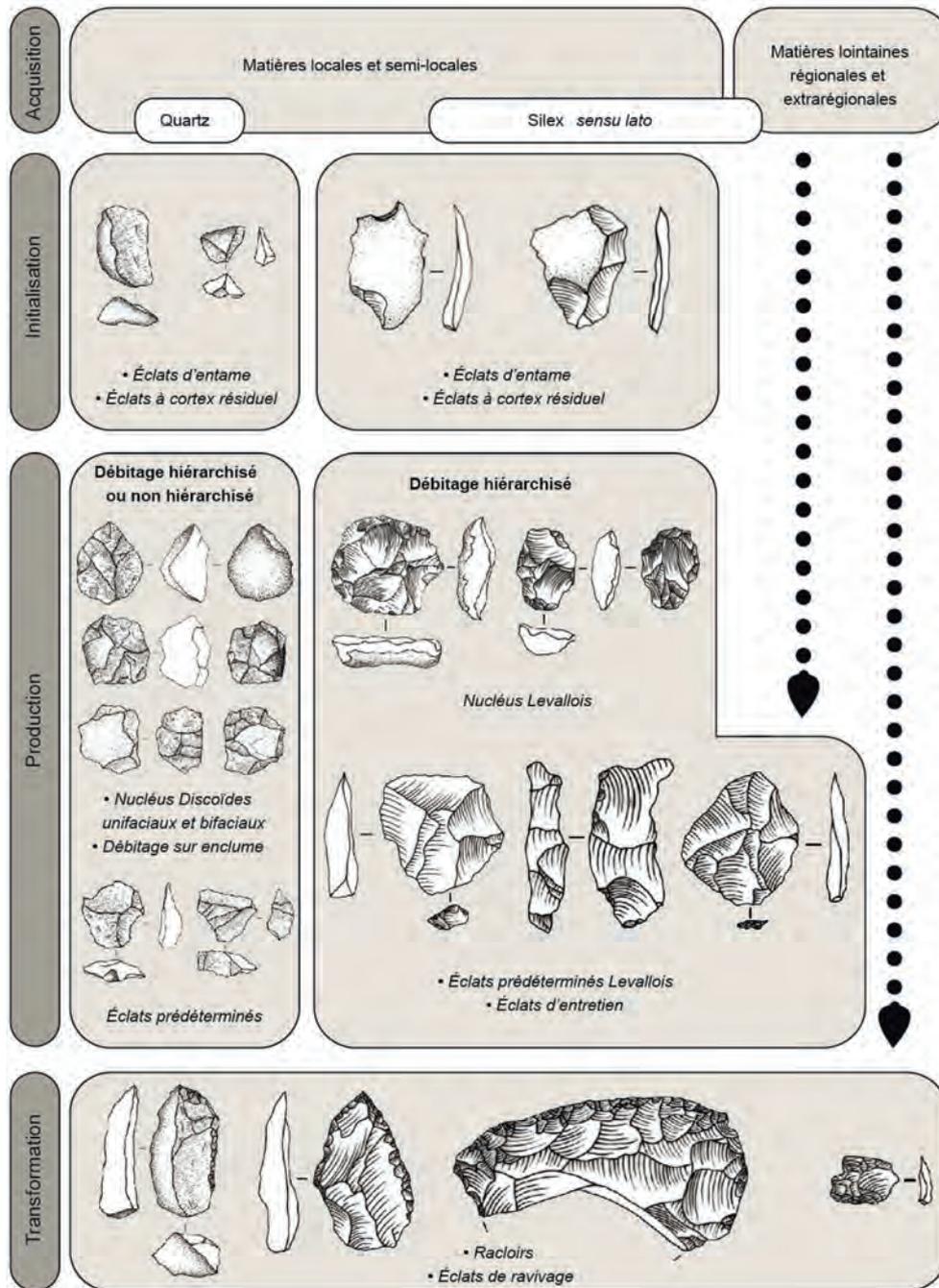


Fig. 4. Baume-Vallée, niveaux supérieurs. Schémas opératoires de l'industrie lithique.
 Fig. 4. Baume-Vallée, upper units. Lithic operative schemes.

Tableau 2Baume-Vallée, niveaux supérieurs. Décompte général de l'industrie en silex *sensu lato*.**Table 2**

Baume-Vallée, upper units. Flint series counts.

Catégorie technologique	Effectif	%
<i>Débitage</i>		
<i>Nucléus</i>	46	1,72
Nucléus Levallois centripète	17	0,63
Nucléus Levallois unipolaire	2	0,07
Nucléus Levallois bipolaire	2	0,07
Nucléus de type « Kombewa »	7	0,26
Nucléus à éclat indéterminé	13	0,48
<i>Éclats</i>	2047	76,32
Éclats 100 % corticaux	56	2,90
Éclats > 50 % cortex	169	6,30
Éclats < 50 % cortex	201	7,49
Éclats à dos cortical	75	2,80
Éclats débordants	131	4,88
Éclats prédéterminés/prédéterminants	446	16,63
Éclats d'entretien	80	2,98
Éclats Levallois s.l.	101	3,77
Pointe Levallois	1	0,04
Éclats laminaires Levallois	22	0,82
Éclats de type « Kombewa »	12	0,45
Éclats de préparation de plan de frappe	10	0,37
Éclats de préparation de plan de frappe/retouche	82	3,06
Fragments d'éclats	658	24,53
<i>Façonnage</i>	26	0,97
Éclats de façonnage	24	0,89
Pièces façonnées	2	0,07
<i>Retouche</i>		
Éclats de retouche	171	6,38
Produits retouchés (intégrés aux différentes catégories technologiques)	(131)	(4,89)
<i>Débris, cassons, fragments divers</i>	268	9,99
<i>Esquilles</i>	120	4,47
<i>Total</i>	2682	100,00

3.1.2. Le traitement des roches magmatiques plutoniques et volcaniques

Les roches magmatiques sont présentes sous la forme de granite, basalte et trachyphonolite. Si le granite est uniquement représenté par des galets ou fragments de galets portant des traces d'utilisation en tant que percuteur, le basalte et les trachyphonolites ont fait l'objet d'une action de débitage. L'essentiel des produits est peu diagnostique et seul un éclat prédéterminé témoigne de la mise en œuvre d'un débitage Levallois aux dépens de ces matériaux. Trois éclats ont fait l'objet d'un aménagement par retouche sous forme de racloirs et se distinguent des autres produits par des dimensions plus importantes.

3.1.3. Le traitement du matériel en silex *sensu lato*

La série en silex des niveaux supérieurs de Baume-Vallée (2682 pièces ; **Tableau 2**) se caractérise par une dimension assez réduite des produits s'expliquant, en partie, par le fort taux de fragmentation des éclats (**Fig. 5**). Elle témoigne d'une forte homogénéité technologique, avec la mise en œuvre quasi exclusive du débitage Levallois, majoritairement suivant la méthode récurrente centripète (**Fig. 4**).

3.1.3.1. Modalité de débitage. Ce concept de débitage est observé sur tous les types de silex, mais seules quelques

matières d'origine locale livrent les éléments issus des différentes phases de chaînes opératoires complètes ou sub-complètes réalisées *in situ*. Pour ces matériaux, les rares nucléus présents ont des dimensions relativement réduites ($37 \times 27 \times 14$ mm en moyenne, allant de $19 \times 11 \times 10$ mm pour le plus petit à $65 \times 42 \times 26$ mm pour le plus grand, avec une médiane à $34 \times 24 \times 14$ mm), témoignant d'un degré de réduction important. Ils présentent une même structure volumétrique composée de deux surfaces hiérarchisées (Boëda, 1993) ; les surfaces de débitage illustrent, dans leur grande majorité, une exploitation récurrente centripète (Boëda, 1988 ; **Fig. 3**, n° 2). Pour les matériaux provenant des domaines lointains et très lointains, les éléments Levallois signent de toute évidence une forte segmentation des chaînes opératoires (Turq et al., 2013), se matérialisant essentiellement par la présence de produits prédéterminés et/ou prédéterminants, retouchés ou bruts, liée à une absence des nucléus et un très fort déficit de sous-produits.

Les supports prédéterminés Levallois ($n = 124$) sont peu nombreux (environ 4 % du matériel en silex), mais cette modeste représentation peut s'expliquer en partie par les critères morpho-techniques inhérents aux méthodes récurrentes où la limite entre produits prédéterminants et prédéterminés est parfois difficile à établir (Lenoir et Turq, 1995). Même s'il faut tenir compte de ces spécificités, on dénombre, pour les matières locales, 98 produits Levallois pour 21 nucléus (**Tableau 3**). La productivité (5 produits par nucléus) semble donc relativement faible, particulièrement au regard de la méthode récurrente centripète, majoritairement utilisée, considérée comme très productive parmi les débitages à fort degré de prédétermination (Bourguignon et al., 2006). À l'instar des données techno-économiques relatives au traitement des matériaux exogènes, cette faible représentation pourrait également traduire une segmentation de la chaîne opératoire s'illustrant par l'import de produits de première intention hors du site. Les schémas diacritiques de ces produits Levallois traduisent, tout comme les nucléus, diverses modalités (centripète, unipolaire, bipolaire et convergente ; **Fig. 3**, n° 4 et 5). Il en résulte des produits diversifiés sur le plan morphologique, fréquemment plus longs que larges (indice moyen d'allongement L/l d'environ 1,25) et peu épais (épaisseur moyenne 6 mm). Ce caractère plutôt élané est bien illustré par la présence de pièces entrant dans le standard de la lame Levallois ($n = 22$) résultant de méthodes récurrentes unipolaires, bipolaires et convergentes.

La prédétermination des produits Levallois intègre une préparation soignée des plans de frappe par facetage qui concerne plus de la moitié des supports Levallois (53,56 %). La série livre également des éclats dont le détachement participe au maintien des convexités nécessaires à la poursuite du débitage (éclats débordants, éclats d'entretien et éclats prédéterminés/prédéterminants).

Parallèlement, quelques pièces illustrent l'utilisation d'éclats comme nucléus. Les supports choisis sont généralement de dimensions importantes et l'exploitation est menée aux dépens de la face inférieure. Le débitage est récurrent centripète et s'apparente à une modalité de « type Kombewa » inscrite dans une chaîne opératoire

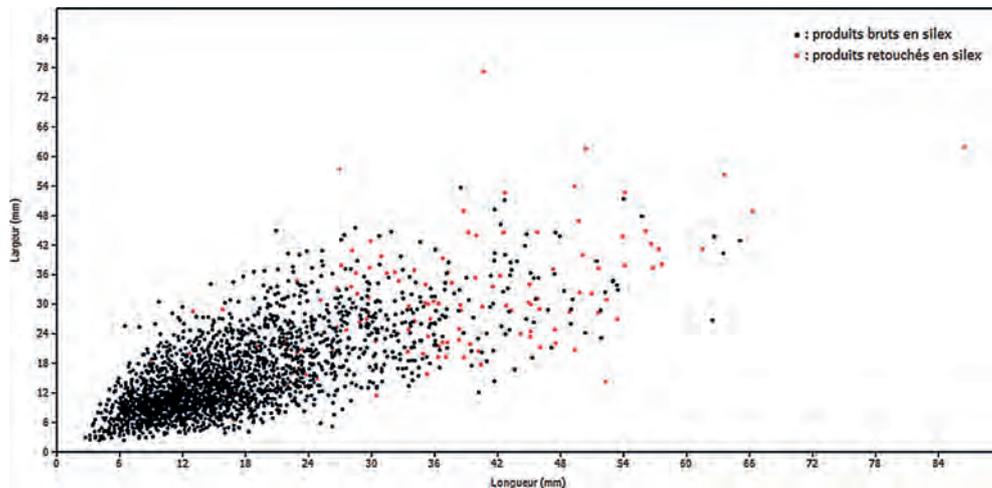


Fig. 5. Baume-Vallée, niveaux supérieurs. Dimensions de l'industrie lithique en silex.
Fig. 5. Baume-Vallée, upper units. Dimensions of flint lithic industry.

Levallois ramifiée (Bourguignon et al., 2004 ; Faivre, 2008). Les matériaux utilisés pour cette action de débitage sont peu nombreux, mais répartis sur tous les domaines de récolte (local comme lointain) et semblent inscrire la ramification dans une gestion techno-économique globale indépendante de la distance aux gîtes de récolte. L'absence d'une partie des matières proches pour ce mode de production tend à confirmer la segmentation des chaînes opératoires, déjà observée pour le débitage Levallois, y compris au sein même de la sphère d'approvisionnement locale.

3.1.3.2. *Les produits transformés.* Les outils retouchés sont peu nombreux et leurs supports ont été essentiellement sélectionnés (70 %) parmi des produits indifférenciés (éclats et fragments d'éclats, à cortex résiduel ou non). Les produits prédéterminés (éclats Levallois) et prédéterminants (éclats débordants et à dos cortical) ont été également aménagés par retouche, mais dans une moindre proportion (respectivement 14 % et 16 %). Tous ces supports retouchés présentent des dimensions moyennes plus importantes que celles de la majorité des produits de débitage bruts (Fig. 5). D'un point de vue typologique, l'outillage est dominé par les racloirs *sensu lato* (Fig. 3, n° 7 et 8). Les caractéristiques morpho-techniques des

aménagements montrent une dominance de la retouche écailleuse semi-abrupte, majoritairement convexe ou rectiligne. Malgré tout, le cycle d'aménagement des racloirs est essentiellement court avec rarement plus de deux ou trois rangs d'affûtage. Le degré de consommation des outils s'observe également au travers d'éclats de réaffûtage (Fig. 3, n° 9 et 10), majoritairement inférieurs à un centimètre et comportant, en partie proximale, deux à trois rangs de retouches antérieures. Ces produits (éclats de types II et III ; Bourguignon, 1997, 2001 ; Lenoir, 1986), issus de phases de reprise des bords écailleux, présentent un profil convexe et un talon lisse déversé, avec fréquemment des signes de percussion directe au percuteur tendre organique ou tangentielle à la pierre dure/tendre (présence d'une lèvre avec arrachement). Si le nombre d'éclats de retouches semble faible par rapport au nombre de produits retouchés, cela s'explique en partie, conjointement au cycle court d'aménagement des tranchants et à la faible emprise des fouilles, par l'apport sur le site d'outils en matériaux exogènes probablement retouchés hors du site (Tableau 3). De la même manière, certaines matières témoignent de la présence d'éclats de retouches, alors même que les outils sont absents dans la série. Une nouvelle fois, ces « outils fantômes » traduisent la complexité techno-économique qui prévaut à Baume-Vallée.

Tableau 3
Représentation de différentes catégories technologiques en fonction de l'origine des matériaux.

Catégories technologiques	Matières locales et semi-locales	Matières lointaines régionales	Matières lointaines extra-régionales	Matériaux inconnus ou indéterminés
Nucléus Levallois	21	0	0	0
Produits Levallois	98	1	9	16
Produits retouchés	108	7	7	9
Éclats de retouches	107	2	13	51

Tableau 4
Données techno-économiques des principaux sites utilisés en comparaison.
Table 4
Techno-economic data for other Mousterian sites.

Gisement	Type de site	Localisation	Chronologie ou datation	Conception de débitage		Chaîne opératoire de façonnage	Taux de retouche	Matières premières	Attribution culturelle	Références bibliographiques
				Exclusive	Dominante					
Nassigny	S	(Allier)	-	Lev. RC et RU	Lev. (RC/P/U)	Absente	3 %	S.	M. t	Pasty, 2001
Abri Pie Lombard	A	(Alpes Maritimes)	70 000 ± 7700 ans BP			Présente	19 %	S.+Q.+Calc.	M. t	Texier, 1974 ; Porraz, 2005
Abri du Maras, niveau 4	A	(Ardèche)	MIS 3			Présente	4 %	S.+Q.+Mag.	M. t/f	Moncel, 1996 ; Moncel et al., 2010, 2014
Andance	S	(Ardèche)	OIS 5e			Présente	5 %	S.+Q.	M	Durand et al., 2009 ; Bernard-Guelle et al., 2011
Rescoundou	S	(Aveyron)	OIS 5c/5a	Lev. RC et RU		Absente	20 %	S.+Q.	M. t/f	Jaubert, 1984 ; Geneste et al., 1997
Jiboui	S	(Drôme)	OIS 3			Présente	3 %	S.	F	Bernard-Guelle, 2002
Grotte Mandrin, niveaux 6	G	(Drôme)	<52 000 ans BP			Absente	10 %	S.	M	Slimak, 2004
Pied de Roche de Ioton	A	(Gard)	48 000 ± 3000 ans BP	Lev. RC et RU		Présente	16 %	S.+Q.	M. t	Bourguignon et Meignen, 2010
Baume-Vallée, niveaux supérieurs	A	(Haute-Loire)	<80 000 ans BP			Présente	5 %	S.+Q.+Mag.	M. t	Bouzzougar, 1993 ; Reynal et al., 2005
Mourets	S	(Isère)	OIS 6/5 ^a ?			Présente	9 %	S.	M. d/f	Bernard-Guelle, 1994, 2002
Préféang	G	(Isère)	46 200 ± 1500 ans BP	Lev. RC, RU et P		Absente	12 %	S	F	Bernard-Guelle, 1994, 2002, 2005
Champ Grand	S	(Loire)	-			Présente	11 %	S.	M.	Slimak, 2004
Blanzay	S	(Saône-et-Loire)	-			Présente	54 % ^a	S.	M	Desbrosses et Tavoso, 1971
Senneçé-lès-Mâcon « Les vignes du Colombier »	S	(Saône-et-Loire)	Ois 5/4			?	Rare	S.	M	Martineau et al., 2015
Peyrards	A	(Vaucluse)	OIS 5			Présente	?	S.	F	de Lumley, 1957 ; de Lumley-Woodyear, 1971
Champlost	S	(Yonne)	OIS 3	Lev. RC, RU et RB		Présente	10 %	S.	M. cha	Farizy, 1995 ; Tuffreau, 2001 ; Martineau et al., 2015
« Grotte du Renne », La Rotonde	G	(Yonne)	OIS 3			?	?	S.	M	Lhomme et al., 2004 ; Martineau et al., 2015

A : abri-sous-roche ; S : site de plein air ; G : site en grotte ; Lev. : Levallois ; Lev. RC : Levallois récurrent centripète ; Lev. U : Levallois unipolaire ; Lev. B : Levallois bipolaire ; Lev. P : Levallois préférentiel ; D : débitage Discoïde ; Lam. : débitage laminaire non-Levallois ; Poly. : débitage polyédrique ; NR ? : non renseigné ; S. : Silex sensu lato ; Q. : quartz et quartzites ; Calc. : calcaire ; Mag. : roches magmatiques ; M : Moustérien ; M. t : Moustérien typique ; M. d : Moustérien à dentéculé ; F : Moustérien de type Ferrassie ; M. cha : Moustérien charentais.

^a Les conditions de récolte du site de Blanzay impliquant un biais, avec un ramassage préférentiel des outils retouchés, on restera prudent sur le taux de retouche.

En marge de l'activité principale de débitage, une action de façonnage bifacial a été identifiée au sein de la série. Elle est principalement représentée par des éclats de façonnage présentant tous les mêmes caractéristiques morpho-techniques : un profil courbe et un talon incliné à lèvre caractéristique d'une percussion directe au percuteur tendre organique ou tangentielle à la pierre dure/tendre (Fig. 3, n° 11). Ces talons présentent, en outre, des négatifs correspondant aux enlèvements détachés sur la face opposée. La face supérieure des éclats porte des négatifs antérieurs exclusivement unipolaires, indiquant un façonnage localisé des pièces et non périphérique. Seuls deux racloirs à retouche biface illustrant cette action de façonnage ont été identifiés, témoignant une surreprésentation des sous-produits et l'absence des « outils fantômes ».

3.1.3.3. Inférences techno-économiques. Malgré l'homogénéité technologique du matériel lithique, nous observons donc un fractionnement différentiel des chaînes opératoires (Turq et al., 2013). Certaines matières sont en effet présentes sous la forme de chaînes opératoires complètes ou sub-complètes, tandis que d'autres ne le sont que sous la forme de quelques produits finis ou d'outils retouchés caractérisant des chaînes opératoires fragmentaires. Ces dernières sont celles où les outils retouchés présentent les cycles de réaménagement des tranchants les plus importants. Ces données plaident en faveur d'une origine lointaine de ces matériaux et semblent indiquer des circulations de matières (c'est-à-dire d'hommes) de grande ampleur pour ces périodes anciennes, même si des études pétrographiques plus abouties sont encore nécessaires pour mieux discuter le mode d'occupation et de gestion de l'espace par les hommes.

La mauvaise préservation de la faune dans les niveaux supérieurs permet difficilement d'aborder les questions de subsistance au regard des seules données de la technologie lithique. Le faible taux de retouche et la forte fragmentation des chaînes opératoires, associés à un litho-espace apparemment vaste (Fig. 2), plaident en faveur d'occupations de courte durée, inscrites dans un itinéraire de déplacements réguliers plus ou moins étendus. Par ailleurs, la position du site, dans un milieu de moyenne montagne, rend son occupation pendant la mauvaise saison ardue, incitant à penser, non pas à une occupation pérenne, mais à des haltes d'occupation plus ou moins longues durant la bonne saison, comme on l'observe souvent dans le Paléolithique moyen régional (Daujeard et al., 2012 ; Raynal et al., 2013) ou dans d'autres massifs de moyenne montagne comme le Vercors (Bernard-Guelle, 2005). Lorsqu'elles sont disponibles, les données fauniques montrent des occupations de type halte de chasse lors d'incursions saisonnières liées à l'acquisition de certaines espèces (cerfs, chevreuil, bouquetins...) sur leurs pâturages d'été.

3.2. Attribution et place dans le Paléolithique moyen régional

Ces résultats incitent à revoir l'attribution culturelle initiale des niveaux supérieurs de Baume-Vallée. Les composantes technologiques, et surtout le faible taux de transformation des supports, rapprocheraient plutôt cette

série des techno-complexes Levallois à racloirs dominant (Delagnes et al., 2007 ; Faivre et al., 2016) que du Moustérien charentien de type Ferrassie. Une telle réattribution s'observe fréquemment, à la suite des révisions sur de très nombreux gisements moustériens (Bourguignon et Meignen, 2010 ; Jaubert, 2012 ; Jaubert et al., 2006 ; Lebègue, 2012 ; parmi d'autres). Sur le plan technologique, les niveaux supérieurs de Baume-Vallée ne se démarquent pas foncièrement du Paléolithique moyen récent régional (Tableau 4) : malgré une grande diversité des matières siliceuses, l'utilisation quasi exclusive d'une conception de débitage Levallois, suivant diverses modalités récurrentes, l'intègre parfaitement dans l'espace de traditions techniques observé dans un grand Sud-Est et Centre-Est de la France. Sur ces bordures méditerranéennes et le long de la vallée du Rhône, des sites comme l'abri Pié Lombard (Porraz, 2005, 2007 ; Texier, 1974), le niveau 4 de l'abri du Maras (Daujeard et Moncel, 2010 ; Moncel, 1996, 2005 ; Moncel et Michel, 2000 ; Moncel et al., 2010 ; Richard et al., 2015), les sites de plein air d'Andance (Bernard-Guelle et al., 2011 ; Durand et al., 2009), Jiboui (Bernard-Guelle, 2002 ; Tillet, 1997), le niveau 6 de la Grotte Mandrin (Giraud et al., 1998 ; Slimak, 2004 ; Yvorra et Slimak, 2001) ou encore le Pied de roche de Ioton (Bourguignon et Meignen, 2010 ; Meignen, 1976) livrent également des assemblages, attribués généralement au Moustérien typique ou de type Ferrassie, avec une forte composante Levallois, principalement récurrente centripète, et un outillage dominé par les racloirs. Cette forte homogénéité régionale, et ce, quels que soient les contextes lithologiques, le type d'occupation, l'importance des assemblages ou leur attribution culturelle, contrastant avec la diversification des modes de production reconstruite dans le Sud-Ouest, a conduit F. Lebègue (2012) à la définition d'un espace culturel méditerranéen dans lequel s'intègrent les niveaux supérieurs de Baume-Vallée. Outre les proximités technologiques, les relations avec la vallée du Rhône s'observent par le prisme de l'exploitation de matériaux lithique indiquant des relations avec cet espace géographique (Fig. 2).

Des comparaisons peuvent également être faites avec des séries d'espaces situés plus à l'est vers le domaine alpin, et notamment le Vercors, marquées là aussi par une prédominance du système Levallois, essentiellement récurrent, et un rôle secondaire des outils retouchés par rapport aux produits Levallois bruts. Des gisements tels Mourets (Bernard-Guelle, 1994, 2002), Prélétang (Bernard-Guelle, 1994, 2002, 2005) ou la baume des Peyrards (de Lumley, 1957 ; de Lumley-Woodyear, 1971) caractérisent bien cette constance du faciès « levalloisien » (Bernard-Guelle, 2002). Les marges nord et nord-est du Massif central livrent également des industries comparables : Nassigny (Pasty, 2001), Blanzay (Desbrosses et Tavoso, 1971), Champ Grand (Slimak, 2004), Sennecé-lès-Mâcon « Les vignes du Colombier » (Martineau et al., 2015), la « grotte du Renne » et la Rotonde (Lhomme et al., 2004 ; Martineau et al., 2015) ou encore Champlost (Farizy, 1995 ; Martineau et al., 2015 ; Tuffreau, 2001). Le débitage y est fortement Levallois et l'outillage retouché, peu abondant, intègre des pièces bifaciales majoritairement sous la forme de racloirs à retouche bifaces. Là encore, cette similitude technologique est accompagnée de

circulation de matières premières provenant des marches septentrionales du Massif central, qui tendent à établir des liens entre ces deux provinces.

Si une certaine tendance à l'allongement des produits a pu être observée dans les niveaux supérieurs de Baume-Vallée – notamment avec la mise en œuvre d'un débitage Levallois unipolaire et bipolaire – on n'y retrouve pas la composante laminaire ou à pointe généralement présente au cours du Paléolithique moyen récent sur la façade orientale du Massif central ou dans ses marges septentrionales. Cette composante laminaire, issue d'un débitage semi-prismatique non-Levallois ou Levallois unipolaire convergent (Bernard-Guelle et al., 2011 ; Moncel, 2005 ; Slimak, 2004), est relativement répandue pour la phase récente du Paléolithique moyen aussi bien dans les moitiés nord (Deloze et al., 1994 ; Locht, 2002) que sud de la France (Delagnes et al., 2007 ; Moncel, 1996 ; Soressi, 2002).

Plus à l'ouest, les nombreux travaux effectués sur le Bassin aquitain semblent indiquer l'existence de plusieurs espaces moustériens relativement isolés les uns par rapport aux autres. Les critères liés aux traditions techniques et aux litho-espaces montrent en effet peu de lien entre les espaces charentais, périgourdins et pyrénéens (Turq et al., 2016). Cet argument est illustré notamment par la présence de traditions techniques géographiquement localisées (comme le Vasconien ; Deschamps, 2012) et par l'absence de circulation des matières premières. Seul le Périgord et les espaces du Quercy apparaissent reliés par une forte ressemblance des savoir-faire techniques et des réseaux de circulation des matières premières (Turq et al., 2016). Dans ce contexte, certains sites des marges orientales du Bassin aquitain comme le Rescoundou (Geneste et al., 1997 ; Jaubert, 1984 ; Jaubert et Mourre, 1996) présentent des caractéristiques technologiques qui se rapprochent de Baume-Vallée, avec une composante Levallois dominante et un outillage majoritairement composé de racloirs. Ce gisement, excentré à la périphérie du Massif central, est un potentiel marqueur d'élargissement de l'homogénéité technologique observée dans l'espace méditerranéen nord-occidental au cours du Paléolithique moyen récent.

4. Conclusion

L'étude technologique des niveaux supérieurs de Baume-Vallée a révélé la mise en œuvre d'un système de production lithique principalement fondé sur un concept de débitage Levallois, réalisé suivant diverses modalités (principalement récurrente centripète) et appliqué de manière quasi exclusive aux dépens de nombreux types de silex. Des éléments témoignent cependant d'une chaîne opératoire de façonnage occasionnelle sur silex, ainsi qu'une chaîne opératoire de débitage Discoïde réalisée quasi exclusivement sur quartz. Cette pluralité témoigne de la diversité des savoir-faire techniques et de leur adaptabilité aux contraintes inhérentes aux matières premières travaillées. Les critères technologiques et le faible taux de transformation des produits en outils retouchés, ne permettent plus de rattacher cette série au Moustérien charentien, mais plutôt aux techno-complexes Levallois (récurrent centripète) à racloirs, fréquemment observés

dans un vaste espace incluant les marges septentrionales et orientales du Massif central et où se développent, au cours du Paléolithique moyen récent, des traditions techniques relativement homogènes (Bernard-Guelle, 2002 ; Lebègue, 2012 ; Lhomme et al., 2004 ; Martineau et al., 2015 ; Raynal et al., 2013 ; Slimak, 2004, 2008).

Nos premières observations techno-économiques témoignent de l'utilisation d'une grande variété de silex s.l., inscrite dans un important fractionnement des chaînes opératoires (Turq et al., 2013). Des évidences de circulations sur de longues distances des matériaux sont fréquemment observées dans le contexte régional au Paléolithique moyen récent (Fernandes et Raynal, 2007 ; Fernandes et al., 2006, 2008 ; Porraz, 2005 ; Slimak, 2004, 2008). La poursuite des analyses pétroarchéologiques permettra, de préciser l'étendue, a priori vaste, du litho-espace des occupants des niveaux supérieurs de Baume-Vallée.

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans la continuité d'un mémoire de master 2 sous la codirection de Vincent Delvigne, Jean-Philippe Faivre, Paul Fernandes, Alain Turq et Jean-Paul Raynal. Il a été financé par le PCR « Espace et subsistance au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central » du ministère de la Culture et réalisé en grande partie au laboratoire PACEA (UMR 5199, université de Bordeaux). Le département de la Haute-Loire, la communauté de communes du Mézenc et la commune de Laussonne ont contribué au bon déroulement de ce travail au travers des facilités fournies par l'association Archéo-Logis.

Références

- Bayle Des Hermens, R., de Laborde, A., 1965. Le gisement moustérien de la Baume-Vallée (Haute-Loire). Étude préliminaire. Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux 62 (3), 512–527.
- Bernard-Guelle, S., (Mémoire de maîtrise) 1994. Étude comparative des industries de deux sites du Paléolithique moyen du Vercors. Université Pierre Mendès-France (Grenoble 2), 124 p.
- Bernard-Guelle, S., 2002. Le Paléolithique moyen du massif du Vercors (Préalpes du Nord). Étude des systèmes techniques en milieu de moyenne montagne. BAR international series (232 p.).
- Bernard-Guelle, S., 2005. Territoires et mobilité des groupes moustériens en Vercors : analyse et discussion. L'Anthropologie 109 (5), 799–814.
- Bernard-Guelle, S., Rué, M., Fernandes, P., Courty, M.-A., Piboule, M., Coudenneau, A., Argant, J., Picavet, R., Dawson, M.-C., 2011. Le site moustérien d'Andance (Saint Bazile, Ardèche) : un habitat de hauteur en contexte basaltique dans la moyenne vallée du Rhône. Bull. Soc. Prehist. Fr 108 (4), 671–695.
- Boëda, E., 1988. Le concept Levallois et évolution de son champ d'application. In: Otte, M. (Ed.), L'Homme de Néandertal. La technique, Vol. 4. Actes du colloque international de Liège. 4–7 décembre 1986. université de Liège, Belgique, ERAUL 35, pp. 13–26.
- Boëda, E., 1993. Le débitage Discoïde et le débitage Levallois récurrent centripète. Bull. Soc. Prehist. Fr 90 (7), 392–404.
- Bordes, F., 1950. L'évolution buissonnante des industries en Europe occidentale. Considérations théoriques sur le Paléolithique ancien et Moyen. L'Anthropologie 54, 393–420.
- Bourguignon, L., (Thèse de doctorat) 1997. Le Moustérien de type Quina : nouvelle définition d'une entité technique. université de Paris X, Nanterre, 672 p., 2 tomes.
- Bourguignon, L., 2001. Apports de l'expérimentation et de l'analyse techno-morphofonctionnelle à la reconnaissance du processus d'aménagement de la retouche Quina. In: Bourguignon, L., Ortega, I., Frère Sautot, M.-C. (Eds.), Préhistoire et approche expérimentale, Monographies de M. Mergoïl (Montagnac), pp. 35–66.
- Bourguignon, L., Faivre, J.-P., Turq, A., 2004. Ramification des chaînes opératoires : une spécificité du Moustérien ? Paleo 16, 37–48.

- Bourguignon, L., Delagnes, A., Meignen, L., 2006. Systèmes de production lithique, gestion des outillages et territoires au Paléolithique moyen : où se trouve la complexité. In: Astruc, L., Bon, F., Léa, V., Milicent, P.-Y., Philibert, S. (Eds.), Normes techniques et pratiques sociales. De la simplicité des outillages pré- et protohistoriques. XXVIèmes Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, APDCA, Sophia Antipolis, pp. 75–86.
- Bourguignon, L., Meignen, L., 2010. Ioton (Gard) 30 ans après : nouvelles considérations technologiques et techno-économiques sur l'industrie moustérienne. *Bull. Soc. Prehist. Fr* 107 (3), 433–451.
- Bouzzougar, A., (Mémoire de DEA) 1993. Implications technologiques de la gestion différentielle des matières premières lithiques. L'exemple des couches 6 à 12 de Baume-Vallée. université Bordeaux-1 (43 p.).
- Bracco, J.-P., (Thèse de doctorat) 1992. Le Paléolithique supérieur du Velay et de ses abords. Recherches sur la dynamique des peuplements et l'occupation du sol dans un milieu volcanique de moyenne montagne. université Aix-Marseille-1 (229 p.).
- Bracco, J.-P., 1997. Le débitage du quartz dans le paléolithique supérieur d'Europe occidentale : aspects technologiques et comportementaux. In: Milliken, S., Peresani, M. (Eds.), From raw material procurement to tool production, Proceedings of the XIII^e UISPP congress, Forlì, 8-14 septembre 1996. Università degli studi di Ferrara (edit.), Ferrare, Italie, pp. 81–90.
- Daugas, J.-P., Raynal, J.-P., 1977. Deux gisements quaternaires en Velay : l'Abri Laborde (Solignac-sur-Loire) et le gisement de plein air des Rivaux (Espaly-Saint-Marcel). Campagnes de fouilles 1976 et 1977. Nouvelles archives du Museum d'Histoire naturelle de Lyon, Muséum d'histoire naturelle de Lyon 15, 35–43.
- Daujeard, C., Moncel, M.-H., 2010. On Neanderthal subsistence strategies and land use: a regional focus on the Rhone Valley area in southeastern France. *J. Anthropol. Archaeol* 29, 369–391.
- Daujeard, C., Fernandes, P., Guadelli, J.-L., Moncel, M.-H., Santagata, C., Raynal, J.-P., 2012. Neanderthal subsistence strategies in South-eastern France between the plains of the Rhone Valley and the midmountains of the Massif Central (MIS 7 to MIS 3). *Quat. Int* 252, 32–47.
- Decroix, C., (Mémoire de maîtrise) 1984. Première approche technotypologique des industries moustériennes de l'abri de Baume-Vallée (Solignac-sur-Loire, Haute Loire). Fouilles A. Laborde (1966–1972), université Paris-1 (222 p.).
- Decroix, C., (Mémoire de D.E.A.) 1985. Un exemple d'économie de matières premières : le niveau H moustérien de Baume-Vallée (fouilles A. Laborde 1966–1972). université Bordeaux-1 (45 p.).
- Decroix-Bourhim, C., 1990. Une économie de matière première : le niveau H de Baume-Vallée. In: Les moustériens charentais, Colloque international, Brive, La Chapelle-aux-Saints, 26–29 août 1990. CNRS, pp. 89–93 (résumés).
- Decroix-Bourhim, C., Pautrat, Y., Raynal, J.-P., Verjux, C., Combier, J., 1990. Le Moustérien "Charentien" de la vallée du Rhône, du Massif central et de Bourgogne. Les moustériens charentais. In: Colloque international, Brive, La Chapelle-aux-Saints, 26–29 août. CNRS, pp. 64/2–64/64.
- Delagnes, A., 1993. Un mode de production inédit au Paléolithique moyen dans l'industrie du niveau 6^e du Pucheuil (Seine-Maritime). *Paleo* 5, 111–120.
- Delagnes, A., Jaubert, J., Meignen, L., 2007. Les technocomplexes du Paléolithique moyen en Europe occidentale dans leur cadre diachronique et géographique. In: Vandermeersch, B., Maurellir, B. (Eds.), Les néandertaliens. Biologie et cultures. CTHS, Paris, pp. 213–229.
- Deloze, V., Depaeppe, P., Gouedo, J.M., Krier, V., Loch, J.L., 1994. Le Paléolithique moyen dans le Nord du Sénonais (Yonne). Contexte géomorphologique, industries lithiques et chronostratigraphie. *Maison des sciences de l'Homme*, Paris, pp. 278.
- Delvigne, V., 2012. Étude pétroarchéologique de l'unité archéostratigraphique F2 de la grotte du Rond du Barry (Polignac, Haute-Loire), premiers résultats. *C. R. Palevol* 11 (4), 293–304.
- Delvigne, V., (Thèse de doctorat) 2016. Géoressources et expressions techno-culturelles dans le sud du Massif central au Paléolithique supérieur : des déterminismes et des choix. université de Bordeaux (1287 p.).
- Delvigne, V., Fernandes, P., Piboule, M., Lafarge, A., Geneste, J.-M., Moncel, M.-H., Raynal, J.-P., 2014. Ressources en silex au Paléolithique supérieur dans le Massif central : réseaux locaux et approvisionnement lointains revisités. In: Otte, M., Le Brun-Ricalens, F. (Eds.), Modes de contacts et de déplacements au Paléolithique eurasiatique. Actes du colloque international de la commission 8 de l'UISPP. Liège, Belgique, 28–31 mai 2012, pp. 403–435.
- Delvigne, V., Fernandes, P., Piboule, M., Lafarge, A., Raynal, J.-P., 2017. Circulation de géomatiers sur de longues distances au Paléolithique supérieur : le cas des silex du Turonien du sud du Bassin parisien. *C. R. Palevol* (sous presse).
- Delvigne, V., Fernandes, P., Piboule, M., Chomette, D., Defive, E., Lafarge, A., Liabeuf, R., Moncel, M.-H., Wragg-Sykes, R., Raynal, J.-P., 2016. De Vivarais en Velay par les monts du Mézenc, circulation du silex barrémo-bédoulien depuis le Paléolithique moyen. *Ardèche Archéologie*, 11–19.
- Desbrosses, R., Tavoso, A., 1971. Un gisement moustérien à Blanzay (Saône-et-Loire). *Quartär Bund* 21.
- Durand, E., Franc, O., Pasty, J.-F., Alix, P., Moncel, M.-H., 2009. Le site perché moustérien de la montagne d'Andance (Saint Bazile, Ardèche), première approche archéologique. *Ardèche Archéologie* 26, 15–21.
- Faivre, J.-P., 2004. L'industrie lithique moustérienne du niveau G7 des Fieux (Miers, Lot) : des matériaux, des schémas opératoires, un même objectif. *Paleo* 16, 71–90.
- Faivre, J.-P., (Thèse) 2008. Organisation technoeconomique des systèmes de production dans le Paléolithique moyen récent du Nord-Est Aquitain : Combe-Grenal et les Fieux. université Bordeaux-1 (555 p.).
- Faivre, J.-P., Geneste, J.-M., Turq, A., 2011. La fracturation « en split », une technique de production dans l'industrie lithique des Tares (Sourzac, Dordogne). In: Mourre, V., Jarry, M. (Eds.), Entre le marteau et l'enclume. Actes de la table ronde de Toulouse. 15–17 mars 2004, pp. 133–142 (Paleo numéro spécial).
- Faivre, J.-P., Gravina, B., Bourguignon, L., Discamps, E., Turq, A., 2016. Late Middle Palaeolithic lithic technocomplexes (MIS 5–3) in the northeastern Aquitaine Basin: Advances and challenges. *Quatern Int.*
- Farizy, C., 1995. « Industries charentaises à influences microquiniennes, l'exemple de l'Est de la France ». In: Les industries à pointes foliacées d'Europe centrale. Actes du colloque international de Miskolc, 10–15 sept. 1991. Les Eyzies-de-Tayac, Soc. Amis du Musée national de Préhistoire et de la Recherche archéologique (éditeur), pp. 173–178 (1^{er} suppl. à *Paleo*).
- Fernandes, P., 2012. Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen, 2 (Thèse, université Bordeaux-1. 623 p.).
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., 2006. Pétroarchéologie du silex : un retour aux sources. *C. R. Palevol* 5, 829–837.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., 2007. Pétroarchéologie du silex. In: Raynal, J.-P. (Ed.), La grotte de Sainte-Anne 1. Le Paléolithique moyen de l'unité J1, Laussonne. Archéo-Logis/DRAD. Les dossiers de l'Archéo-Logis 3/DRAD., pp. 59–98.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., 2010. Silex : une pétroarchéologie refondée. In: Bressy, C., Grégoire, S., Bazile, F. (Eds.), Silex et territoires préhistoriques. Avancées des recherches dans le Midi de la France. Actes de la table ronde de Lattes (Lattes, 13–14 juin 2008), pp. 68–81, publication électronique.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., Moncel, M.-H., 2006. L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif Central : premiers résultats pétroarchéologiques. *C. R. Palevol* 5, 981–993.
- Fernandes, P., Le Bourdonnec, F.-X., Raynal, J.-P., Poupeau, G., Piboule, M., Moncel, M.-H., 2007. Origins of prehistoric flints: The neocortex memory revealed by scanning electron microscopy. *C. R. Palevol* 6, 557–568.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., Moncel, M.-H., 2008. Middle Palaeolithic raw material gathering territories and human mobility in the southern Massif Central, France: first results from a petro-archaeological study on flint. *J. Archaeol. Sci.* 35, 2357–2370.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., Tallet, P., Tuffery, C., Piboule, M., Seronie-Vivien, M., Seronie-Vivien, M.-R., Turq, A., Morala, A., Affolter, J., Millet, D., Millet, F., Bazile, F., Schmidt, P., Foucher, P., Delvigne, V., Liagre, J., Gaillot, S., Morin, A., Moncel, M.-H., Garnier, J.-F., Leandry-Bressy, C., 2014. Une carte et une base de données pour les formations à silex du Sud de la France : un outil pour la pétroarchéologie. *Paleo* 24, 219–228.
- Giraud, Y., Brugal, J.-P., Jeannot, M., 1998. Un nouveau gisement moustérien en moyenne vallée du Rhône : la grotte Mandrin à Malataverne (Drôme). *Bull. Soc. Prehist. Fr* 95 (1), 7–15.
- Geneste, J.-M., Jaubert, J., Lenoir, M., Meignen, L., Turq, A., 1997. Les moustériens charentais du Sud-Ouest et du Languedoc oriental : approche technologique et variabilité géographique. *Paleo* 9, 101–142.
- Jaubert, J., 1984. Le site moustérien du Rescoundou : état actuel des recherches. *Bull. Soc. Prehist. Fr* 81 (4), 98–99.
- Jaubert, J., 1990. Les industries lithiques : étude conventionnelle. In: Jaubert, J., et al. (Eds.), Les chasseurs d'Aurochs de La Borde. Un site du Paléolithique moyen (Livernon, Lot), 27. Éd. Maison des Sciences de l'Homme, Paris, « Doc. d'Archéologie française », pp. 69–102.
- Jaubert, J., 2012. Les archéo-séquences du Paléolithique moyen du Sud-Ouest de la France : quel bilan un quart de siècle après François Bordes ? In: Delpech, F., Jaubert, J. (Eds.), François Bordes et la Préhistoire, Actes du colloque international François Bordes. Bordeaux, 22–24 avril 2009. éditions du CTHS, coll. Documents préhistoriques, n° 29, pp. 235–253.

- Jaubert, J., Mourre, V., 1996. Coudoulous, Le Rescoundou, Mauran : diversité des matières premières et variabilité des schémas de production d'éclats. In: Bietti, A., Grimaldi, S. (Eds.), *Reduction Process (« Chaînes opératoires ») for the European Mousterian*. Proceeding of the International Round Table, Rome, 26–28 May 1995, *Quaternaria Nova VI*, pp. 313–341.
- Jaubert, J., Texier, J.-P., Bertran, P., Bourguignon, L., Brenet, M., Costamagno, S., Delagnes, A., Delpech, F., Detrain, L., Guibert, P., Lenoir, M., Mourre, V., Turq, A., 2006. The collective action of research (ACR) "Middle Palaeolithic of Northern Aquitaine: emergence, development and variability". In: Burdukiewicz, J.M. (Ed.), *Middle Palaeolithic Human Activity and Paleoeology: New Discoveries and Ideas, Abstracts Wrocław*.
- Laborde, A., 1972. Le gisement de Baume-Vallée, Solignac-sur-Loire (Haute-Loire). In: *Congrès préhistorique de France, 19^e session. Auvergne, 1969. Société Préhistorique Française, Paris*, pp. 242–245.
- Lebègue, F., 2012. Le Paléolithique moyen récent entre Rhône et Pyrénées : approche de l'organisation techno-économique des productions lithiques, schémas de mobilité et organisation du territoire : les Canalettes, l'Hortus, Bize-Tournal, la Crouzade, la Roquette II (Thèse, Univ. Perpignan, 797 p.).
- Lenoir, M., 1986. Un mode de retouche « Quina » dans le Moustérien de Combe-Grenal (Domme, Dordogne). *Bull. Soc. Anthropol. Sud-ouest* 21 (3), 153–160.
- Lenoir, M., Turq, A., 1995. Recurrent centripetal debitage (Levallois and Discoidal): continuity or discontinuity. In: *The definition and interpretation of Levallois Technology*, vol. 23. Prehistory Press Madison, pp. 249–266.
- Lhomme, V., Connet, N., Chaussé, C., Bemili, C., Bahain, J.-J., Voinchet, P., 2004. Les sites et les industries lithiques du Paléolithique inférieur, moyen et supérieur de la basse vallée de l'Yonne dans leurs contextes chronostratigraphiques : bilan de dix ans d'activités archéologiques pluridisciplinaires dans le Sud-Est du Bassin parisien. *Bull. Soc. Prehist. Fr* 101 (4), 701–739.
- Locht, J.L. (Ed.), 2002. Bettencourt-Saint-Ouen (Somme) : cinq occupations paléolithiques au début de la dernière glaciation. *Maison des sciences de l'Homme, Paris*, 169 p.
- de Lumley, H., 1957. Le Moustérien de la Baume des Peyrards (Vaucluse). *Bull. Soc. Etude Sci. Nat. Vaucluse*, 1–23.
- de Lumley-Woodyear, H., 1971. Le Paléolithique inférieur et moyen du Midi méditerranéen dans son cadre géologique. Tome 2 : Bas Languedoc, Roussillon. Catalogue. Édition CNRS, Paris, Supplément à Gallia Préhistoire V, 445 p.
- Martineau, R., Pautrat, Y., Lemerrier, O., 2015. (Dir.) *La Préhistoire en Bourgogne : état des connaissances et bilan 1994–2005, France. Suppl. Rev. Archeol. Est 39 (Société Archéologique de l'Est, 320 p.)*.
- Meignen, L., 1976. Le site moustérien charentais de l'atton (Beaucaire, Gard). Étude sédimentologique et archéologique. *Bull. Assoc. Fr. Quaternaire* 46, 3–17.
- Moncel, M.H., 1996. L'industrie lithique du Paléolithique moyen de l'abri du Maras (Ardèche) (fouilles de René Gilles et de Jean Combier) : la question des Moustériens tardifs et du débitage laminaire au Paléolithique moyen. *Gallia Préhistoire* 38, 1–41.
- Moncel, M.-H., 2005. Baume Flandin et Abri du Maras : deux exemples de débitage laminaire du début du Pléistocène supérieur dans la Vallée du Rhône (Sud-Est, France). *L'Anthropologie* 109, 451–480.
- Moncel, M.H., Michel, V., 2000. Première tentative de datation par U–Th du site paléolithique moyen de l'abri du Maras. *Bull. Soc. Prehist. Fr* 93 (3), 371–375.
- Moncel, M.H., Daujeard, C., Cregut-Bonnoure, E., Boulbes, N., Puaud, S., Debar, E., Bailon, S., Desclaux, E., Escude, E., Roger, T., Dubar, M., 2010. Nouvelles données sur les occupations humaines du début du Pléistocène supérieur de la moyenne vallée du Rhône (France). Les sites de l'Abri des Pêcheurs, de la Baume Flandin, de l'Abri du Maras et de la Grotte du Figuier (Ardèche). *Quaternaire* 21 (4), 389–415.
- Mourre, V., (Mémoire de DEA) 1996. Le débitage sur enclume au Paléolithique inférieur et moyen. Techniques, méthodes et schémas conceptuels. université Paris-10, Nanterre (45 p.).
- Pasty, J.-F., 2001. Le gisement Paléolithique moyen de Nassigny (Allier). *Bull. Soc. Prehist. Fr* 98 (1), 5–20.
- Porraz, G., (Thèse) 2005. En marge du milieu alpin. Dynamique de formation des ensembles lithiques et modes d'occupation des territoires au Paléolithique moyen. université d'Aix-en-Provence (386 p.).
- Porraz, G., 2007. Dans l'ombre des plus grands : les sites moustériens de l'abri Pié Lombard (Alpes-Maritimes, France) et de la grotte du Broion (Vénétie, Italie). Présentation de leurs industries lithiques. XXVI^e Congrès préhistorique de France. Un siècle de construction du discours scientifique en préhistoire. Volume III « aux conceptions d'aujourd'hui ». Bonnieux, 20–25 septembre 2004. *Soc. Prehist. Fr.*, 237–248.
- Raynal, J.-P., 1975. Nouvelles fouilles à l'abri Laborde (gisement de Baume-Vallée, Solignac-sur-Loire, Haute-Loire). *Premiers résultats. Nouvelles archives du Muséum d'histoire naturelle de Lyon 13 (suppl.)*, 61–63.
- Raynal, J.-P., 1981. Le Paléolithique moyen en Velay. In: *Le bassin du Puy aux temps préhistoriques, recherches récentes, musée Crozatier. Le Puy-en-Velay*, pp. 39–74.
- Raynal, J.-P., 1983a. Le Paléolithique moyen en Haute-Loire. In: *La recherche archéologique en Haute-Loire, Clermont-Ferrand. Ann. CRDP*, 17–25.
- Raynal, J.-P., 1983b. Aspect du Paléolithique moyen en Auvergne. In: *Les inédits de la préhistoire auvergnate, musée Bargoin, Clermont-Ferrand*, pp. 105–128.
- Raynal, J.-P., 1988. Un site moustérien de moyenne montagne en haute vallée de la Loire : l'abri Laborde (Baume-Vallée) à Solignac-sur-Loire (Haute-Loire). *Soc. Prehist. Fr. séance décentralisée, Le Puy en Velay, 8 et 9 octobre 1988, « Les peuplements paléolithiques du Massif central »*, Livret-guide des excursions, extrait, manuscrit 1.
- Raynal, J.-P., 1989. Le Paléolithique moyen d'Auvergne et Velay. In: Mohen, J.-P. (Ed.), *Le temps de la préhistoire, acte du XXIII^e congrès préhistorique de France, vol. 1. Archeologia/Société préhistorique française, Dijon/Paris*, pp. 252–253.
- Raynal, J.-P., 1992. Le Paléolithique moyen de Haute-Loire dans son contexte régional. In: *Préhistoire de la Haute-Loire. DRAC (Archéologie en Auvergne), Clermont-Ferrand*, pp. 17–22.
- Raynal, J.-P., Decroix, C., 1986. L'abri de Baume-Vallée (Haute-Loire, France), site moustérien de moyenne montagne dans son contexte régional. *Hommage à l'Abbé Jean ROCHE, Arqueologia. Porto* 15, 17–42.
- Raynal, J.-P., Huxtable, J., 1989. Premières datations par thermoluminescence du Moustérien charentais du Velay (Massif central, France). *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 309, 157–162.
- Raynal, J.-P., Le Corre-Le Beux, M., Santagata, C., Fernandes, P., Guadelli, J.L., Fiore, I., Tagliacozzo, A., Lemorini, C., Rhodes, E.J., Bertran, P., Kieffer, G., Vivent, D., 2005. Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : les données du Velay (Haute-Loire, France). In: Molines, N., Moncel, M.H., Monnier, J.L. (Eds.), *Les premiers peuplements en Europe, Colloque international « Données récentes sur les modalités de peuplement et sur le cadre chronostratigraphique, géologique et paléogéographique des industries du Paléolithique ancien et moyen en Europe » (Rennes, 22–25 septembre 2003)*. John and Erica Hedges Ltd, Oxford (British Archaeological Reports, International Series/S1364), pp. 173–220.
- Raynal, J.-P., Moncel, M.-H., Fernandes, P., Santagata, C., Guadelli, J.-L., Fernandes, P., Fiore, I., Patou-Mathis, M., 2007. Espace minéral et espace de subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central français : les sites de Sainte-Anne I (Haute-Loire) et de Payre (Ardèche). In: Moncel, M.H., Moigne, A.M., Azzarello, M., Peretto, C. (Eds.), *Aires d'approvisionnement en matières premières et aires d'approvisionnement en ressources alimentaires : approche intégrée des comportements/Raw Material Supply and Food Supply Areas: Intergrated Approach of the Behaviours*. Oxford, Archeopress (BAR International Serie 1725), pp. 141–159.
- Raynal, J.-P., Moncel, M.-H., Daujeard, C., Argant, A., Bahain, J.-J., Banks, W., Bearez, P., Bocherens, H., Chacon Navarro, G., Courty, M.-A., Cregut-Bonnoure, E., Debar, E., Delvigne, V., Desclaux, E., Ecker, M., Falguères, C., Fernandes, P., Fiore, I., Foury, Y., Gallotti, J.L., Hardy, B., Lafargue, A., La Porta, A.O., Lateur, N., Lebon, M., Le Corre, M., Lepape, J.-M., Liabeuf, R., Manzano, A., Marcq, G., Piboule, M., Pike-Tay, A., Puaud, S., Queffelec, A., Richard, M., Rivals, F., Santagata, C., Sakai, S., Save, S., Servant, L., Roger, T., Rue, M., Wang, N., Wragg-Sykes, R., 2013. Néanderthaliens sur les marges sud-est du Massif central : espaces et subsistance au Paléolithique moyen. Nouvelles données dans le cadre d'un projet collectif de recherche. *Ardèche Archéologie* 30, 4–14.
- Richard, M., Falguères, C., Pons-Branchu, E., Bahain, J.-J., Voinchet, P., Lebon, M., Valladas, H., Dolo, J.-M., Puaud, S., Rué, M., Daujeard, C., Moncel, M.-H., Raynal, J.-P., 2015. Contribution of ESR/U-series dating method to Late Middle Palaeolithic sites chronology of Middle Rhône valley, southeastern France. *Quat. Geochronol* 30, 493–497.
- Slimak, L., (Thèse) 2004. Les dernières expressions du Moustérien entre Loire et Rhône. Univ. Provence (2 tomes, 214 pl., 657 p.).
- Slimak, L., 2008. Circulations de matériaux très exotiques au Paléolithique moyen, une notion de détail. *Bull. Soc. Prehist. Fr.* 105 (2), 267–281.
- Sorressi, M., (Thèse) 2002. Le Moustérien de tradition acheuléenne du Sud-Ouest de la France ; discussion sur la signification du faciès à partir de l'étude comparée de quatre sites : Pech de l'Azé I, Le Moustier. In: La Rochette et la Grotte XVI. Université de Bordeaux-1.

- Texier, P.J., 1974. L'industrie moustérienne de l'abri Pié Lombard (Tourettes-sur-Loup, Alpes-Maritimes). *Bull. Soc. Prehist. Fr.* 71, 429–248.
- Tillet, T., (Rapport de fouille) 1997. Jiboui, rapport sur les travaux effectués en 1997. Service régional de L'Archéologie, Rhône-Alpes, 45 p.
- Tuffreau, A., 2001. Contextes et modalités des occupations humaines au Paléolithique moyen dans la France septentrionale. In: Conard, N. (Ed.), *Settlement dynamics of the Middle Paleolithic and Middle Stone Age*. Kerns Verlag, Tübingen, Allemagne, pp. 293–314.
- Turq, A., Roebroeks, W., Bourguignon, L., Faivre, J.-P., 2013. The fragmented character of Middle Palaeolithic stone tool technology. *J. Hum. Evol.* 65 (5), 641–655.
- Turq, A., Faivre, J.-P., Maureille, B., Lahaye, C., Bayle, P., 2016. Néandertal à la loupe. *Les Eyzies*, 144 p.
- Yvorra, P., Slimak, L., 2001. Grotte Mandrin à Malataverne (Drôme). Premiers éléments pour une analyse spatiale des vestiges en contexte moustérien. *Bull. Soc. Prehist. Fr.* 98, 189–205.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Archaeological Science: Reports

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jasrep

“Undatable, unattractive, redundant”? The Rapavi silcrete source, Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire, France): Challenges studying a prehistoric quarry-workshop in the Massif Central mountains

R.M. Wragg Sykes^{a,*}, V. Delvigne^{a,b}, P. Fernandes^{a,b,c}, M. Piboule^d, A. Lafarge^e, E. Defive^f,
C. Santagata^a, J.P. Raynal^{a,b,c,d,e,f,g}

^a UMR 5199 PACEA, Université de Bordeaux, bâtiment B18, Allée Geoffroy Saint-Hilaire, 33615 Pessac CEDEX, France

^b Service de Préhistoire, Université de Liège, Place du XX Août, 4000 Liège, Belgium

^c SARL Paléotime, 6173 Rue Jean Séraphin Achard Picard, 38350 Villard-de-Lans, France

^d 21 rue du Général Ferrié, 38100 Grenoble, France

^e UMR 5140 Archéologie des sociétés méditerranéennes, Université de Montpellier 3, Route de Mende, 34199 Montpellier, France

^f UMR 6042 GEOLAB, Université Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, 4 Rue Ledru, 63052 Clermont-Ferrand cedex 1, France

^g Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Deutscher Platz 6, 04103 Leipzig, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

Silcrete
Quarry
Petroarchaeology
Lithic technology
French Massif Central
Raw material sourcing

ABSTRACT

Silcretes are not widely discussed archaeologically as a prehistoric lithic resource in Europe, despite there being many years of geological research into their formation, and in some regions, a long record of their use in prehistory. In the Massif Central, south eastern France, various silcrete sources represent some of the largest and best quality siliceous stone sources within this otherwise volcanic area. Field research within a wider programme of landscape archaeology and lithic sourcing identified a quarry-workshop for one of these silcrete sources, at Rapavi, Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire).

Archaeological and geological results are reported, discussing the technological behaviour uncovered at this locale and its wider regional connections, including the presence of imported flint artefacts. Additionally, the Rapavi silcrete provides an example of the challenges encountered when analysing raw materials with idiosyncratic fracture properties, and attempting to disentangle quarry-workshop palimpsests.

1. Introduction

Understanding the prehistoric procurement of lithic resources is a keystone in building models for human activities, from studying economizing behaviour, subsistence and settlement, to mapping mobility, territories and potential social networks (e.g. Adams and Blades, 2009; Andrefsky, 1994, 2009; Bar-Yosef and Van Peer, 2009; Brantingham, 2006; Braun et al., 2008; Féblot-Augustins, 1993, 1999, 2009; Geneste, 1988; Inizan et al., 1999; Isaac, 1984; Marks, 1988; Marks et al., 1991; Masson, 1981; Raynal et al., 2007; Turq, 2005; Turq et al., 2013, among others). While there are hundreds of lithic studies taking a centripetal perspective by examining the origins of resources at particular ‘end use’ sites like caves, ‘centrifugal’ perspectives (Porráz, 2010) tracking the stone outwards from raw material sources are less numerous, especially for the Palaeolithic (but see Caux, 2015; Fernandes, 2012; Fernandes and Raynal, 2006; Primault, 2003; Simonnet, 1999; among others). A full assessment of human exploitation of individual mineral resources

from outcrops through to workshops, task-sites and living locales is the most reliable method to reconstruct (at least in part) prehistoric territories (Delvigne, 2016); a holistic approach that encompasses what Gould and Saggars (1985) termed the “lithic landscape”, and Elston (1992) called “lithic terrane”.

The use of silcrete (of pedogenetic or phreatic origin) as a knapped sedimentary stone is widely documented in regions where it is commonly available, in particular Australia and southern Africa (for definitions of silcrete and formation see Milnes and Thiry, 1992; Nash, 2011; Nash and Ullyott, 2007; Summerfield, 1983; Thiry and Milnes, this issue; Watson and Nash, 1997; Cochrane et al., 2016). The silcrete of these regions is the most extensively studied anywhere in archaeological terms, including sources and quarries research (Doelman, 2005; Doelman et al., 2015; Douglass, 2017; Porráz et al., 2013; Schmidt et al., this issue; Webb and Domanski, 2008; Webb et al., 2013; Will et al., 2013; Will and Mackay, 2016).

In contrast, silcrete has been less frequently discussed in European

* Corresponding author.

E-mail address: r.m.wraggsykes@btinternet.com (R.M. Wragg Sykes).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.07.022>

Received 17 May 2017; Received in revised form 20 July 2017; Accepted 25 July 2017
2352-409X/ © 2017 Published by Elsevier Ltd.

Please cite this article as: Wragg Sykes, R.M., Journal of Archaeological Science: Reports (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.07.022>

archaeological contexts, despite not being particularly rare (Aubry et al., 2016; Cunha, 2000; Thiry and Millot, 1987; Milnes and Thiry, 1992). A major issue contributing to its lack of coverage in the archaeological literature is researchers' unfamiliarity with geological classifications, and subsequent use of non-specific descriptive terms (e.g. chalcedony, *silix tertiaire*, chert: Fuertes Prieto et al., 2014; Skarpelis et al., 2017), a problem occurring in other areas of the world too such as South America (Nami, this issue). However silcrete has interesting potential for study, as, depending on formation context, it can be highly variable, and can occur in regions where there are few sedimentary sources of siliceous stone available. This paper aims to contribute to studies of raw material sources and silcrete through reporting recent investigations into a newly discovered open-air silcrete quarry-workshop locale from the Massif Central, south eastern France.

2. Research context

2.1. Archaeological research and prehistoric quarry-workshops: challenges and approaches

The use of stone for tools extends back over 3 million years (Harmand et al., 2015) and raw material selectivity and transport is also seen early in the record (Isaac, 1984; Goldman-Neuman and Hovers, 2012), however it is not until the later Lower Palaeolithic that focused acquisition patterns emerge at stone sources, involving extractive behaviour and workshops with primary phases of testing and core preparation (Barkai and Gopher, 2009; Ericson, 1984; Petraglia et al., 1999, 2005). Lithic sources including quarries and workshops are primary sites, situated at the start of *chaînes opératoires*, and some even argue they are the most important locales for reconstructing lithic exploitation strategies (Ericson, 1984; Gramley, 1980). They are certainly key factors in models for understanding techno-economic adaptations and patterns of transport (Andrefsky, 1994, 2009; Bamforth, 1986, 1992, 2006; Beck et al., 2002; Binford, 1979, 1980; Doelman, 2008; Féblot-Augustins, 1993, 1999, 2009; Gramley, 1980; Torrence, 1986, 1989), as well as contexts of social consumption and meaning (Bradley, 2000; Bradley and Edmonds, 1993; Brumm, 2010; McBryde, 1984; Topping and Lynott, 2005; Tripcevich and Contreras, 2013). However the unique difficulties quarry-workshops present in both methodological and theoretical terms are also well understood; the palimpsest effects which attest to their enduring importance also complicate our ability to untangle phases of human activity, in a way that deeply stratified and enclosed sites do not suffer from (Doelman, 2005; Elston, 2012; Ericson, 1984; Ericson and Purdy, 1984; Gramley, 1980; Malinsky-Buller et al., 2011; Bisson et al., 2014). Open air quarry-workshops have vast numbers of lithics, generally resulting from the super-position of knapping activities; repeated primary reduction activities can produce “unattractive” (Ericson, 1984: 2) lithic material, that, dependent on context, might be largely culturally indeterminate leading to the other major problem of “sketchy” chronologies (Elston, 2012: 8). Studying quarries therefore requires particular approaches, flexible methodologies, careful consideration of taphonomy, and an awareness that persistent importance over long time spans may mask changes in site function (Doelman, 2005) and role in regional lithic techno-economic and social systems.

2.2. Research history

The Rapavi silcrete source at Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire) is located in east-central Massif Central (Fig. 1). This highland region, which includes the upper Loire and Allier valleys, has a significant Tertiary and Quaternary tectonic and volcanic history (Mergoil and Boivin, 1993).

The Haute-Loire region has traditionally been considered as a landscape lacking in any siliceous material suitable for knapping (Delporte, 1966; Virmont, 1981; Bracco, 1995, 1996; Bosselin, 1997;

Surmely, 2000; Surmely and Pasty, 2003; Surmely et al., 1998; among others). However, a significant body of research since the mid 1980s based on a dynamic perspective integrating the geological *chaîne évolutive* of the raw material from primary outcrop through successive secondary contexts has now resulted in an inventory of > 600 flint, silcrete and hydrothermal silica formations in this region (primary and secondary deposits) (Fernandes and Raynal, 2006, 2007; Fernandes et al., 2006, 2008; Fernandes, 2012; Delvigne et al., 2016; Delvigne, 2016). The fieldwork reported here, directed by the authors, forms part of a major axis of the collective research program (PCR) “*Espaces et subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif Central au Paléolithique moyen*” (Raynal et al., 2013), which is focused on quantifying the real frequencies of different lithic resources during prehistory and their connections across the landscape.

The Rapavi (or Saint-Pierre-Eynac) silcrete has been recognized over the last century in various Middle Palaeolithic, Upper Palaeolithic, Mesolithic and later prehistoric regional industries (Bertrand-Roux, 1823; Tournaire, 1871; Boule, 1892; de Brun, 1936; Dufau et al., 1961; de Sonnevill-Bordes, 1961, 1962; de Bayle des Hermens and Laborde, 1965; de Bayle Des Hermens and Cremillieux, 1966; Delporte, 1966; de Bayle des Hermens, 1970; Crémillieux et al., 1977; Torti, 1980; Masson, 1981; Philibert, 1982; Torti-Zannoli, 1983, 1985). Since the 1970s informal collection of archaeological artefacts from around the Rapavi locality, especially a field at a break in the slope of the hill, included material with typological affinities to Middle Palaeolithic stratified sites in the region, including centripetal cores and large, multi-directional flakes. A prehistoric quarry-workshop was suspected somewhere on this outcrop—essentially the entire hill— but never precisely located (de Bayle des Hermens, 1972).

3. Research strategy

Field investigations took place between 2013 and 2016 following reconnaissance in previous years by some of the authors (PF, MP and JPR), with a strategy that evolved in response to the findings. Initial mostly unproductive transect surveys of the lower hill slopes (in 2013) and excavation of the field in 2014 (details in Raynal et al., 2013; Piboule et al., 2014) were followed by excavation the same year at the hill summit (980 m), directly adjacent to extant silcrete outcrops (Raynal et al., 2015; Wragg Sykes et al., 2015). Mechanical stripping revealed significant lithic material including artefacts immediately under the upper humic horizon, extending over a sizeable area (c. 350 m² (Fig. 2), confirming this locale as the source of colluvial material downslope, originating from the hilltop outcrops. Work at the summit included a large machine-excavated trench (S33), two hand-excavated test pits; the larger (2 m × 2 m) was split into four quadrants (A, B, C, D), but when the scale of lithic density became apparent, work was halted after two spits, each c. 5 cm depth (material referred to here is A, A 1 and B, B 1). A smaller adjacent test pit (E) of 50 cm × 50 cm was excavated, taken in 2015 to nearly 80 cm deep in order to maximise the vertical sample, with seven spits (E 0–7) that ranged in thickness from 5 cm to c. 20 cm towards the base (Fig. 2E). The variation in spit thickness was based on responses to the amount of lithic material discovered, and the larger size of pieces at greater depth crossing multiple spit boundaries making excavation difficult in the small area. After this point, although the intact silcrete outcrop had not been reached, excavation became impractical. Also in 2015, cleaning of trench S33 to examine the gross structure of the deposits revealed in the section a possible pit feature. This section was re-cut by hand in two spits, SUP (*supérieur* = upper) and INF (*inférieur* = lower), each roughly 40 cm thick. Lastly, a targeted surface collection across the whole exposed quarry-workshop area was undertaken, focusing on cores and retouched objects as potentially the most informative in technological and chronological terms.

Artefacts from the two spits (0 and 1) from test pit quadrants A–B, all spits (0–7) from test pit E, spits SUP and INF from S33, plus material from the nine field trenches and 18 mechanically-dug geological test

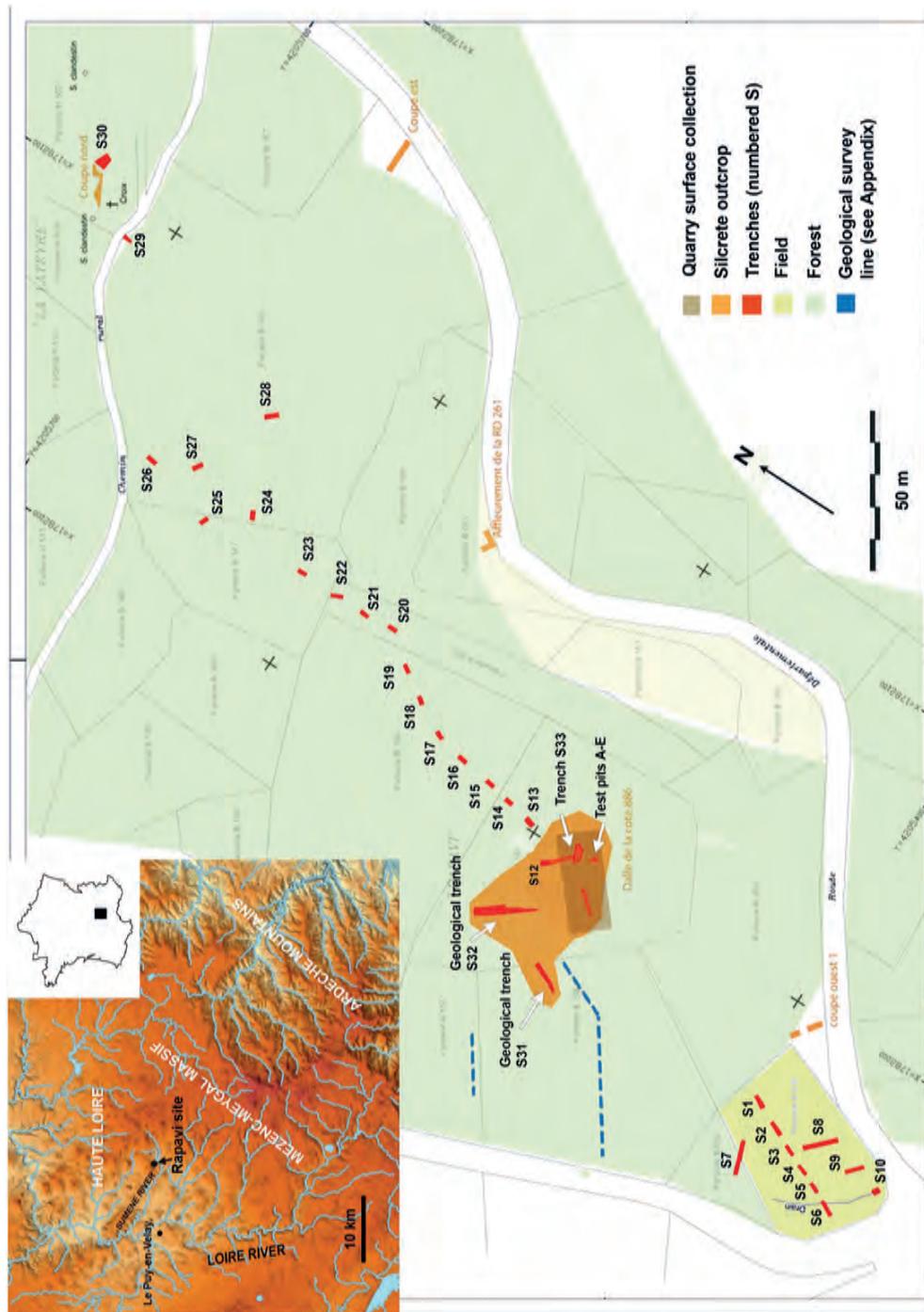


Fig. 1. Research area location: south east of Saint-Pierre-Eynac, Haute-Loire, France. Green area: field with trenches. Orange area: main hill summit area of silcrete; it extends further to the north-west. Excavated areas show in red, with trench numbers, and include the machined transect northeastwards across the hill; S11 was re-cut in 2015 and named S33. The area of the surface collection is the pale brown rectangle; the test pits are labelled "Décapage". S32 and S31 were geological trenches; some archaeology was present in the upper part of S32 but not S31. "S. clandestin" refers to pits dug by contemporary mineral collectors. Original map by D. Chomette. Topographic and hydrographic map © IGN geoportail.gouv.fr (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

pits were examined individually, with diagnostic technological features noted; in all over 10,000 pieces were assessed. In order to maximise useful information from the larger assemblages and provide a broad assessment of the site within the available time, full recording was only applied to a sample of the artefacts: all cores and retouched objects from spits A 1, E 0-7, and S33 INF, together with a sample of debitage from spits E 1 and E 2. The surface survey material, already a sample

focused on cores, tested pieces and retouched tools, was also recorded fully. Together this gave a sample of the upper part of the quarry-workshop, plus material from deeper contexts. Data on flake fragmentation, cortex presence/absence and scar complexity (dorsal scars from more than two directions) were recorded for the majority of artefacts > 20 mm from the other contexts (although E7 only for whole flakes).

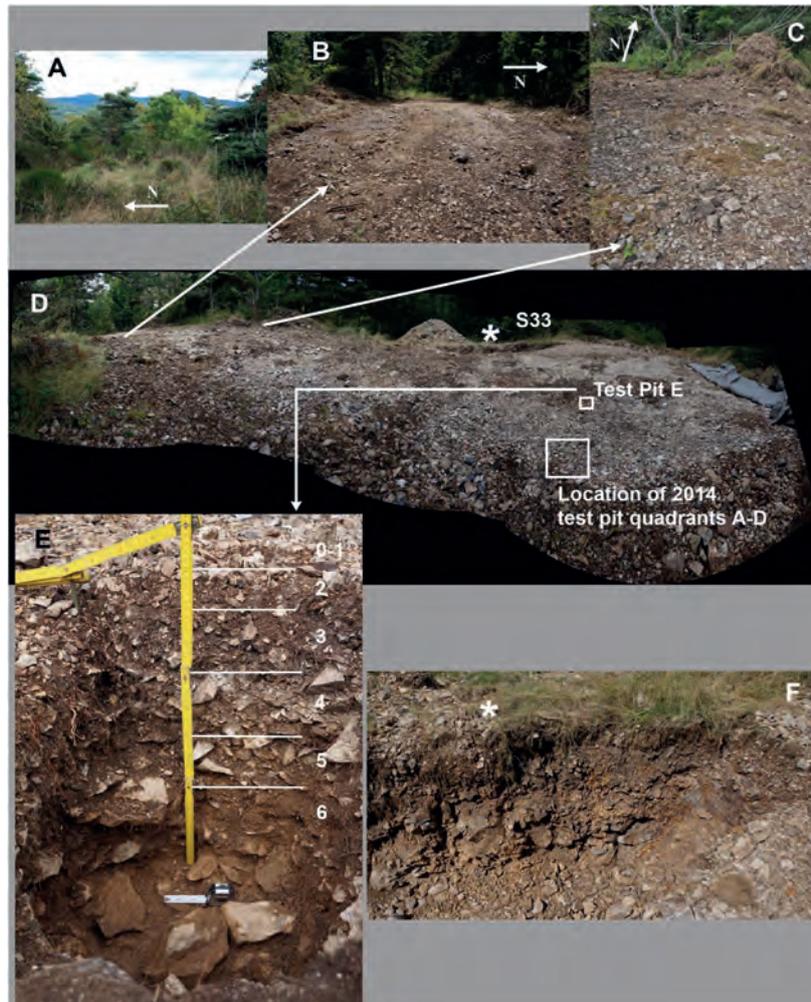


Fig. 2. Images showing the nature of the summit quarry workshop. A: state of site in 2013 before discovery. B: South-west area of quarry workshop. C: General view of workshop surface after uncovering, 2014. D: panorama of the stripped site before work in 2015, showing location of test pits. E: north section of test pit E at junction of spits 6 and 7 (c. 50 cm depth), showing changes in soil colour, lithic density and size with depth; numbers represent spits (see Table 1). The large blocks at the base were mostly cores. Scale ruler is 1 m. F: The north face of S33, showing silcrete outcrop at or within 15 cm of the surface; compare to Fig. 4.

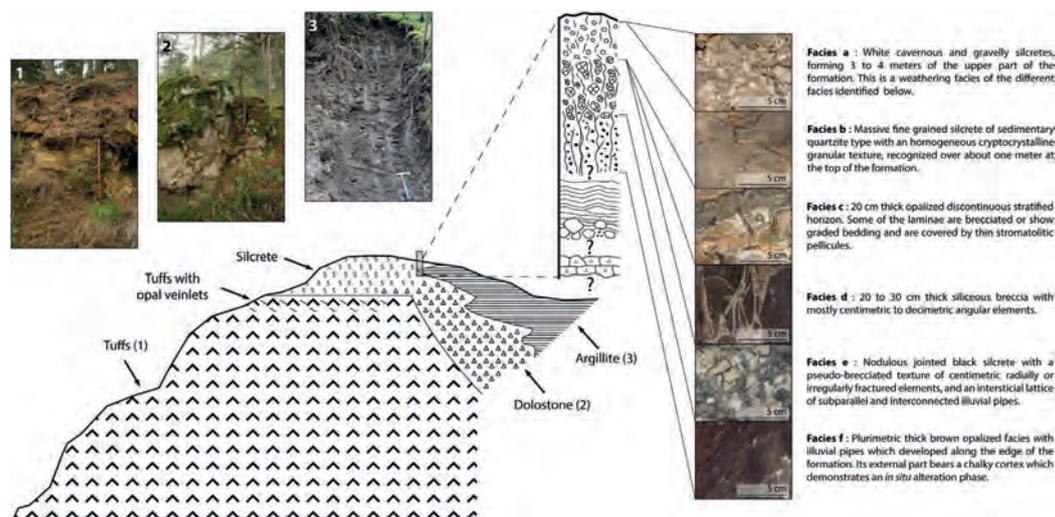


Fig. 3. Current understanding of the silcrete formation at Rapavi, showing identified facies based on trench S32; horizontal extent of this sequence across the site is unclear at present. Detailed description and enlarged photographs provided in Appendix 1.

Analysis of the artefacts generally follows technological criteria outlined by Inizan et al. (1999), with core technology following Boëda (1993, 1994, 1995), Boëda et al. (1990), and papers in Peresani (2003).

4. Geology, contexts and stratigraphy

4.1. Silcrete mapping, definition and formation

The geological results here represent a highly summarised, in-progress account; further information including formation details and enlarged facies photographs is found in Appendix A, in the Supporting Online Materials and a full description is in preparation for publication elsewhere.

Three geological trenches excavated during 2014–2015 revealed the lithological complexity at the site (see Fig. 1). S33 cut through the silcrete outcrop at the archaeological summit site; S32 was at the front of the silcrete complex; and S31 on the western hill slope below the silcrete outcrop. The Rapavi silcrete unit appears to be laterally capped by argillites that are partly filling an Upper Miocene *maar* (crater lake resulting from explosive volcanism), which created a situation of sub-surface waterlogging. The silcretes are not derived from hydrothermal conditions as previously claimed (Frerichmann, 1977; Mergoil et al., 1978; Masson, 1981a; Werth, 1991, 1992a, 1992b; Feybesse et al., 1998; Surnely et al., 1998). In trench S32, the deposit is overlain by complex clay and dolomitic layers, while the silcrete complex, which is here > 7 m thick, was likely originally interstratified with lacustrine clays, then partially eroded. Different phases of tectonic faulting have also affected the deposit, causing fracturing and re-silicifications.

Six main silcrete facies have been identified (Fig. 3; full description and photographs in Appendix A; Fig. A1). The silcrete classification terminology developed within Australia (e.g. Webb et al., 2013; Doelman et al., 2015) is not appropriate here as the formation is typically very different and multi-phased. There is extensive variation within and between the facies and sub-units, from matrix-supported through to clast-supported, as well as all three recognized formation types: pedogenic, groundwater and lacustrine (Nash and Ulyott, 2007). In archaeological terms, the most extensively used facies are brecciated and nodular-jointed forms, which make up the upper 3–4 m of silcrete

seen in S32 and were likely the most accessible. Also from the upper zone, although only observed in section within S33, is a very fine-grained material giving a ‘ceramic’-like texture (e.g. Fig. 9D and G) for which archaeological objects were noted from spits A, B, E and the surface collection. This ‘ceramic’-like silcrete was observed to typically occur as portions of larger blocks e.g. Figs. 9-D, 10-A. Overall there does not appear to be any particular association with type of artefact or technology for particular forms of silcrete, with the exception of the laminar material from S33-INF, some of which was made on a nodulous, pseudo-brecciated silcrete similar to facies ‘e’ (and which somewhat resembled nougat). Archaeological examples are seen in Figs. 10-B, F, H and 13-A, however there were also significant amounts of apparently naturally-fractured laminar blocks and pieces in this same material found during excavation of S33.

While it is not possible to be certain of the past state of the site, it is likely that a mix of weathered, naturally shattered blocks as well as freshly broken material was available where the silcrete outcrops at the surface, similar to what may be observed today. The range of facies available was also likely to be comparable that seen in S33 at the summit site, representing the upper few metres seen in the deep section of geological trench S32. In general the cortex is highly variable but never very thick (< 2 cm). Frequent internal geodes, voids and structural heterogeneities seen in the different facies utilised means that, despite much of the silcrete being reasonably fine grained (at least in part) within blocks, especially the ‘ceramic’ type, the available raw material overall does present significant challenges to knapping (see Appendix C for details on informal experimental knapping).

4.2. Archaeological contexts and stratigraphy

The spatial extent of human activity at the Rapavi source was tested both through the large geological trenches to the northwest of the quarry-workshop (S31 and S32, Fig. 1), which found no archaeological material, and 18 other small machined test pits (Fig. 1) which showed that archaeological material is constrained to the summit area, with the exception of trench S16. The main area of the quarry-workshop site, judging by the machine-stripped zone and test trenches, was focused around the highest topographic point and down the slight slope to the

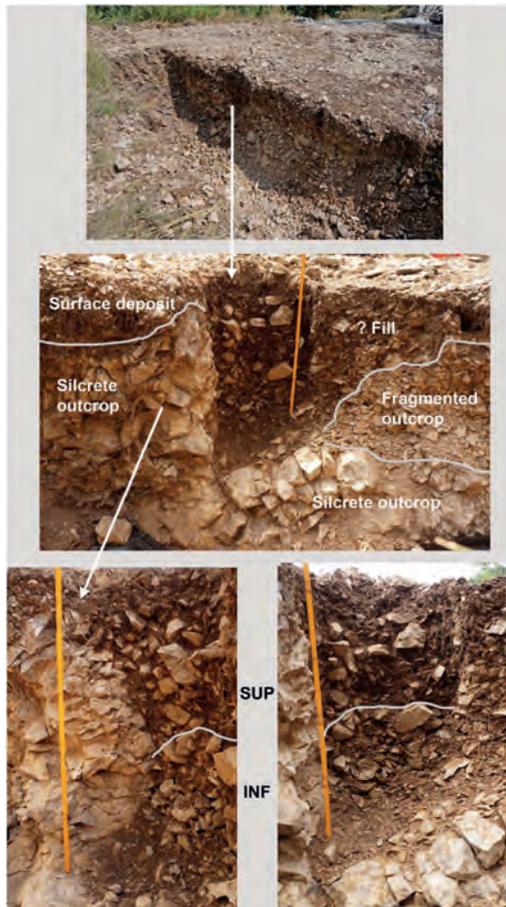


Fig. 4. Trench S33, showing evidence of the pit. Intact silcrete outcrop seen within 30 cm from surface in eastern corner, with vertical face, loose fill. The approximate boundary between SUP and INF fill is shown by the grey line. Scale ruler is 1 m.

east; the boundary in this direction was not found due to obstructing trees. Material was also present on the westwards slope (towards the field), but here it was noticeable that the amount and also the size of lithic material reduced significantly downslope, as expected from natural particle sorting processes (Lenoble, 2005; Bertran et al., 2012).

Thus far the spatial extent of the quarry-workshop covers an area of $> 350 \text{ m}^2$, and extends in depth at least 0.5–1 m. Overall artefact density (including microdebitage $< 20 \text{ mm}$ maximum length) ranged from 1000 to > 2000 pieces per m^2 for the upper c. 20 cm of the test pits; extrapolating across the exposed area, there are at minimum some half a million artefacts at the site.

Observations made during excavation, together with cleaning during the surface survey, found that the upper 30 cm of the quarry-workshop deposits was typically composed of a dark organic soil matrix $< 40\%$, the rest being natural and archaeological lithic material (Fig. 2). Both contexts where excavation extended more deeply (test pit E and trench S33) produced different results in terms of deposits. Within test pit E (Fig. 2) and visible to a lesser extent in S33 SUP (upper

spit, Fig. 4), below c. 30 cm the matrix began to be more dominant over lithic clasts, and also lightened to an orange-yellow colour with a slightly sandier texture. Deeper material was in generally less altered condition (see Section 5.1). Around the boundary of E 5/6 (c. 50 cm depth) large cores were present, and the density of artefacts overall also decreased with depth. This is demonstrated by lithic counts for test pit E shown in Table 1, where despite the thickness of spits increasing with depth, the number of artefacts drops substantially at spit 5; counts for the c. 10 cm excavated from test pit quadrants A and B further supports a picture of very dense upper deposits.

The 2015 re-cutting of S33 at a slightly different angle than in 2014 showed an upper layer of archaeological material mixed with natural shatter similar to the upper two to three spits of the test pits (Fig. 4). Solid outcrops of silcrete occurred between 15 and 30 cm below the surface depending on the section. In the east corner of the south section, a possible cut into the bedrock was observed where the silcrete outcrop rose to 15 cm below the surface, and showed an abrupt nearly vertical edge, leading down to a relatively flat base around 50–60 cm depth; the opposite ‘face’ in the same section was more sloping and less clearly defined. The area between was filled by a mix of soil and lithic matrix including archaeological artefacts, much of it made on very similar nodulous, pseudo-brecciated facies. The deepest extent of this apparent cut into the outcrop was c. 1 m; between the base and 70 cm the fill was paler (similar to spits E 5–7), loose and unconsolidated, with visible voids, and a weak horizontal orientation of material. Above 70 cm the fill darkened, became more compacted, contained fewer large clasts and voids, and showed a more chaotic orientation. The vertical silcrete face showed no evidence of tool marks, but where uncovered was quite regular in comparison to the fractured area to the west and may represent a worked face. It is possible this feature overall is a pit cut for direct extraction of silcrete from the outcrop; it was also noted that the rock in this area, including at the base, was prone to fragment into rectilinear blocks. The fill was split into upper (SUP) and lower (INF; from c. 50 cm depth) spits where the matrix change became obvious. Towards the base of the feature a large basalt fragment was found (see below).

Overall, the observed stratigraphic changes in matrix and condition of artefacts below c. 40–50 cm in test pit E and INF suggested that there were potentially different archaeological contexts at depth in the quarry-workshop. Given that excavation was stopped because of impracticality, the true depth of the archaeological deposits across the site except in S33 are still unknown. The possible pit from S33 also indicates that there is spatial variation in stratigraphy, and indicates possible anthropic disturbance of the deposits at a gross scale may have occurred in some areas.

5. Lithic material from the Rapavi summit quarry-workshop

5.1. Artefact condition

Based on informal observations of the entire sample as well as the fully recorded lithics, artefact condition showed a large degree of variation; classification was based on macroscopic evidence of damage-abrasion to aretes and edges, scratching, polish, pseudo-retouch-together with the presence of staining/patina/neocortex (see Appendix B). Many from the historic collections, the 2013 transect, 2014 field trenches (and some archaeological collections from regional sites) are patinated to a white colour. In contrast, while some artefacts in similar condition are present within the hill summit assemblages, overall it is far less patinated. Over 50% of the recorded material from the upper 30 cm of the quarry-workshop has varying amounts of black surface deposits (possibly manganese or lichen, sometimes thick enough to obscure technological details); see Fig. 11 H for a sample of debitage. Iron staining is less common ($< 15\%$), while some pieces show incipient and/or differential patination between faces. In spatial terms, during field observation all lithic material at the topographic highest

Table 1

Lithic artefacts examined during the study. Full metrical analysis was limited to cores/tested pieces and retouched tools from certain contexts including those in bold type, while other artefacts had more limited information recorded: data on cortex presence/absence and scar complexity (dorsal scars from more than two directions noted) are included for the majority of artefacts > 20 mm (in E7 only for whole flakes).

Location (see Fig. 1)	Debitage counts, inc. fragments and pieces below 20 mm long	Debitage technical information	Cores (all sampled)	Retouched/other
Test pit quadrant A 50 × 50 cm, Spit A and A1 = < 10 cm depth	2557, 48% (n = 1207) fragments. 24% (n = 590) < 20 mm max length.	10% (n = 189) cortical 3% (n = 68) complex scars 1 flake on ventral. Largest flake 79 mm long	7 + 5 tested	
Test pit quadrant B 50 × 50 cm, Spit B and B1 = < 10 cm depth	1012 (fragments from B1 not counted), 29% (n = 285) fragments. 25% (n = 259) < 20 mm max length.	25% (187) cortical 2% (n = 19) complex scars 9 blades, 10 bladelets (metrical and linear scars)	4	1 hammerstone
Test pit E 50 × 50 cm, spits 0/1 < 5 cm	284 (94 sampled), 55% (n = 154) fragments. 52% (n = 149) < 20 mm max length.	–	3	1 denticulate, 1 roughout
Test pit E, spit 2 < 5 cm	358 (125 sampled), 49% (n = 171) fragments.	–	2	1 notch
Test pit E, spit 3 < 10 cm	671, 51% (n = 341) fragments	–	3	
Test pit E, spit 4 < 10 cm	641, 76% (n = 271) fragments	–	1	
Test pit E, spit 5 < 10 cm	123, 53% (n = 65) fragments	–	2	
Test pit E, spit 6 < 20 cm	204, 64% (n = 129) fragments. 24% (n = 49) < 20 mm max length.	37% (n = 57) cortical 5% (n = 8) complex scars	3 + 1 tested	1 denticulate
Test pit E, spit 7 < 20 cm	342, 51% (n = 172) fragments. 53% (n = 181) < 20 mm max length.	22% (n = 37; whole flakes only) cortical 19% (n = 32; whole flakes only) complex scars 2 blades	1 + 1 tested	
S33 INF < 50 cm	81, 70% (n = 56) fragments. Pieces < 20 mm max length not counted	24% (n = 19) cortical 7% (n = 6) complex scars	8	
Surface collection (labelled S)	3 (not sampled)	–	73 + 15 tested	2 roughouts, 26 tools (1 scraper, 12 denticulates, 8 notches, 5 mixed/miscellaneous)
S12 (machined test pit)	16		2 (not sampled)	
S14 (machined test pit)	1			
S16 (machined test pit)	19		2 (not sampled)	
S15 (machined test pit)	5			
TOTAL	6462 (total 219 sampled)		131 (total 129 sampled)	34 (29 tools and 2 roughouts sampled)

point of the site appeared more heavily weathered and porous. Artefacts from the upper spits had greater amounts of damage: > 80% were classed as minor to medium, and < 16% extensively damaged. In addition over 80% (all but one) of the recorded thermal cupules were from these samples.

The general condition of objects found > 40 cm deep (E6, E7 and S33 INF; Figs. 9 and 10) was different. Some INF pieces were in quite sharp condition, but 50% still had medium levels of damage; while black staining was present to varying degrees, iron staining was much more common than in the upper spit samples, and all of the recorded INF sample had this alteration (e.g. Fig. 10G). In contrast, none of the recorded sample from E6 and 7 had iron staining; black staining and patination was sometimes present although to a much lesser degree (Fig. 9). Observed encrustations on some artefacts were confirmed by microscopic examination (detailed descriptions in Appendix B, Supporting Online Materials) to be silica deposits likely resulting from percolating water, causing surrounding matrix to adhere (the analysed example flake from E7 also showed no evidence for gross mechanical damage).

Overall, while a very limited 'keyhole' sample, the state of lithics from the lower spits suggests that, within the site overall, there may be contexts at depth which have been exposed to less weathering and mechanical alteration, supporting technological data on differences in the artefacts themselves.

5.2. Artefact types

Table 1 shows the numbers of objects examined or fully recorded by context. In addition the field trenches produced < 100 non-diagnostic

lithics (the majority of which were very small fragments); lithic richness within the upper 5–10 cm of test pit quadrants C and D appeared equivalent to A and B. The surface collection (S) was targeted at cores and tools, therefore shows a significantly higher count for these types.

Following the sampling strategy outlined in Section 3, the total number of artefacts which had full technological and metrical data recorded is 384 (one third of which are cores and tested pieces); the remaining lithic material (together with that excavated from all other contexts and the historic collections) were examined individually. Where informative pieces were identified, they are included in the discussion or figured. The following sections detail the character of each object type recorded, discussing by context where useful.

5.3. Cores and tested pieces

The total analysed sample of cores and tested pieces is 129, 88 of which came from the surface collection, therefore comparisons by context require caution. Tested pieces are distinguished from cores on an individual basis based on the proportion of the block reduced, and the persistence of reduction; they may have more than one platform, but < 3 removals from each.

While there is some diversity in core technology overall, coherent patterns of formal reduction are absent, with few showing imposed shaping of the core volume. Instead, over 40% of cores are informal, with either single episodes of limited reduction from one platform, or multiple platforms (maximum 4) that shifted flexibly around the block volume, producing irregular shaped cores (Fig. 5). Only five (4.8%) cores were classed as laminar (only blade scars were visible; taking into account that flakes may be produced at many phases of blade reduction,

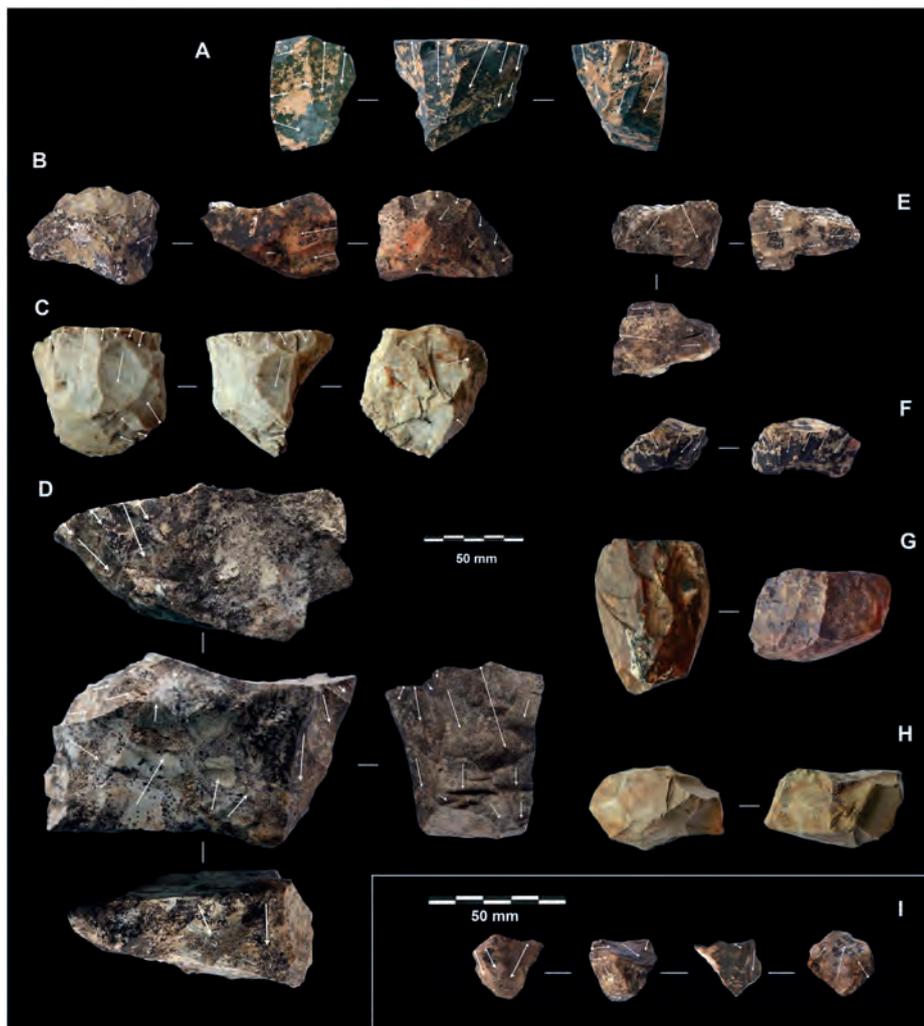


Fig. 5. Informal cores with 'migrating' striking platforms. A, C, G, H from surface collection; B, D, F from test pit quadrant A; E from spit E 3; I from spit E 2.

and mask previous laminar removals, as well as the reverse). Over 75% of all cores showed some parallel reduction including those flaked expediently (Fig. 6); just over a third were classed as either unipolar (persistent parallel flaking from one platform dominating the core; $n = 27$) or bipolar (from opposed ends of a core, but not specifically anvil; $n = 9$); in some cases this seemed to be a response to the natural fracture properties of the blocks.

The surface collection contained the most technological diversity (likely due to its significantly larger size), including the only cores which might be classified as Levallois ($n = 1$; Fig. 7H) and Discoid ($n = 2$; Fig. 7D and E). It also had the highest proportion (90%, $n = 10$) of cores with alternate reduction (Fig. 7; flipping the core and working along an edge using previous scars as platforms) and most of the bipolar examples (opposed ends of the core; 70%, $n = 5$). In contrast, while

unipolar reduction was common to most contexts, 80% ($n = 4$) of the laminar cores come from INF. 76.6% of cores and 81.8% of tested pieces are on blocks; rarely thermal 'pot-lids' ($n = 3$), natural flakes ($n = 2$) or struck flakes ($n = 1$) were utilised.

Tested pieces had a greater mean length than cores (> 93 mm vs. 80.5 mm), but the range is greater for the latter (143 vs. 119 mm). For cores only, while those from test pit quadrant A and the first 5 spits of E are roughly comparable to each other in length (Fig. 8A), those from E6 and 7 and INF are statistically significantly larger (when compared together; $p = 0.17$ Mann Whitney *U* Test). INF cores alone are not significantly longer however, even though they are not statistically different from the E6 and 7 cores (but it should be noted the samples sizes are extremely small between these two contexts). Overall the cores from the surface collection (shown as "S" in Fig. 8) have a large size

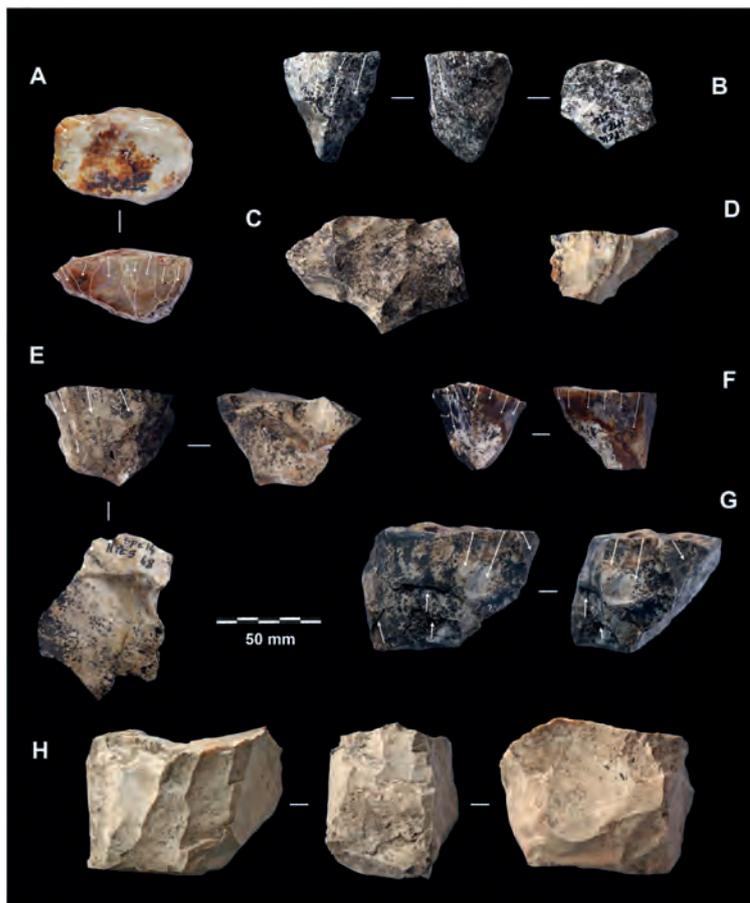


Fig. 6. Cores exploited using polar reduction (uni or bipolar). A: Spit E1; B and E: spit E3; C and D: test pit quadrant A; F and G: test pit quadrant B; H: test pit S16.

range; while the mean is broadly similar to test pit spits 0–5– which they are stratigraphically equivalent to–, this was also not supported statistically, probably due to the large difference in sample size.

Detailed analysis revealed trends related to reduction intensity and types of products. The maximum core platform number is four, while total scar number ranges between 30 and 5 (tested pieces have lower numbers). Most cores (65%) had in total < 25% remnant cortex/natural surface (15% had none), compared to 45% for tested pieces, while a quarter of tested pieces had 75% remnant cortical/natural surface compared to only 6% of cores, reflecting their more extended reduction. No clear cortical trends were observable by depth.

Over 80% of core platforms were natural surface, cortical surface, or a previous flake scar was used without further preparation. Abrasion was seen on only one core from E1, but > 20 cores showed limited faceting; over 40% of these came from the surface collection, but INF had over 18% ($n = 3$).

Metrical analysis shows that the extent of core reduction (number of scars, number of platforms, and number of scars on main platform) is not simply a function of core size. While across the whole sample there is a weak positive relationship between maximum length and scar number, there is no relationship between size and either the number of

platforms or the amount of removals on the primary platform. There is a positive correlation ($p = 0.00$) between the number of platforms and the number of scars on the core as a whole as would be expected, but cores with more platforms do not show greater numbers of removals per platform. This suggests that cores were likely selected by raw material quality rather than size, and that in most cases reduction was fairly limited in extent.

When examined by context, the eight cores from INF show an inverse relationship between maximum length and scar number, suggesting smaller size may reflect more intensive working; however there is no clear relationship between size and number of platforms, although the number of scars by platform does increase with larger cores.

Scar dimension also distinguished different contexts (measured by largest complete scar; Fig. 8). Together E6, E7 and INF have longer scars than the other contexts (statistically significant, $p = 0.0$ Mann Whitney U Test). However INF is statistically separated from all other contexts including E6 and E7 by core scar elongation values (breadth divided by length), with narrower scars ($p = 0.07$ Mann Whitney U Test), especially given the size of the cores. This is metrical support for their observed more laminar character, and also demonstrates that the types of product vary across the site based not only on depth, but also

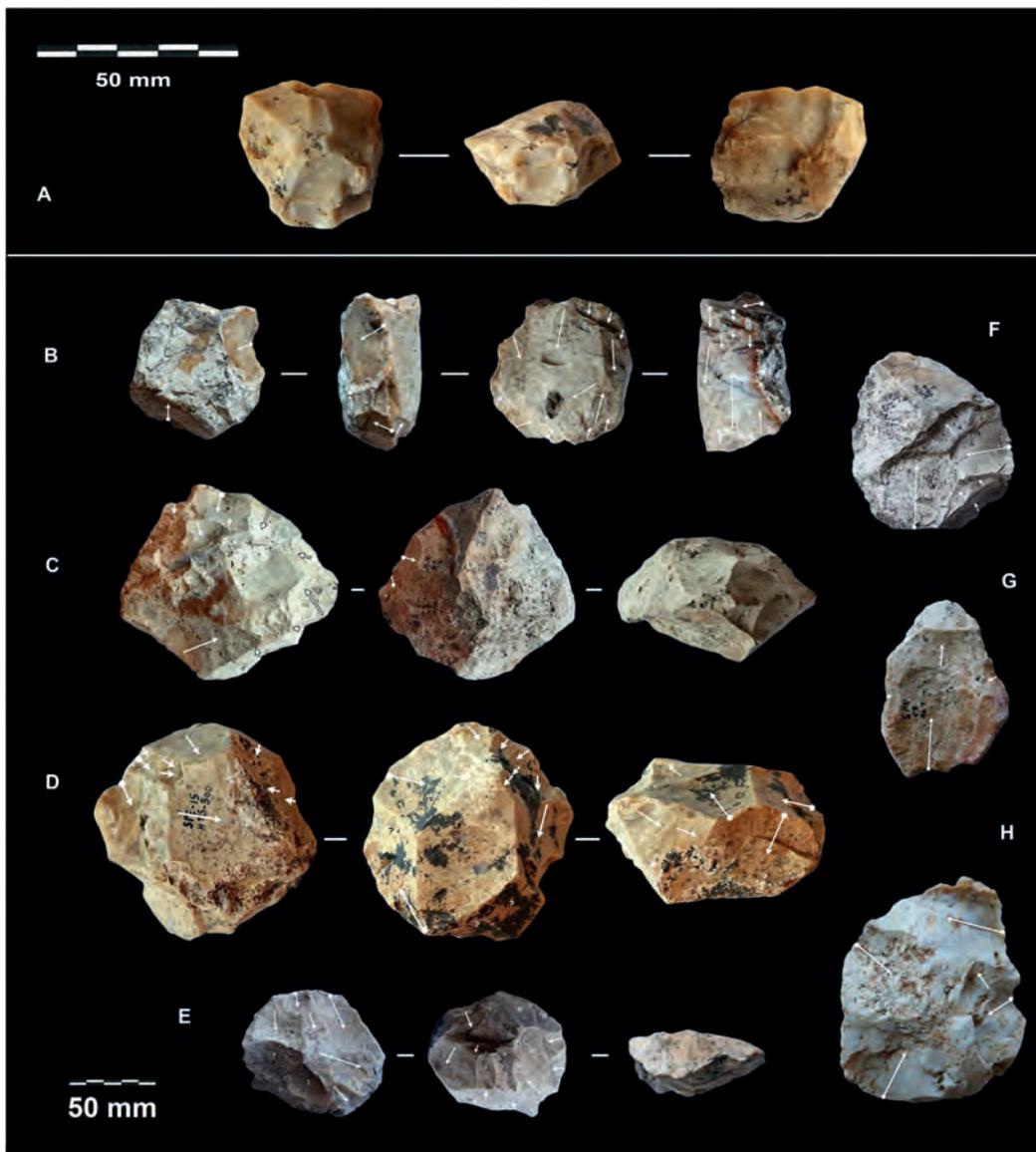


Fig. 7. Centripetal/surface exploited cores. A: Microcore worked radially, from surface survey. B-E: Centripetally-organised pieces from surface survey. F: Surface exploited piece, on cupule spall, trench S16. G: Surface-exploited core, old collection from hillslope and field. H: Surface-exploited core, trench 8, field excavation.

spatial location (spits E6 and E7 are a similar depth to INF, but separated by several metres and are significantly different in scar elongation though not overall core length).

5.4. Debitage

Based on observations, the vast majority of the debitage examined

from most contexts was not possible to confidently assign to a recognized formal reduction strategy, fitting with the data from the cores. This fact informed the sampling strategy, therefore the majority of the examined debitage was only counted, with some basic cortical data and scar pattern information recorded (Table 1). Of the sample recorded in detail (219 from spits 1 and 2 of test pit E), nearly 90% were classed as technologically indeterminate (including 73 microdebitage). Some

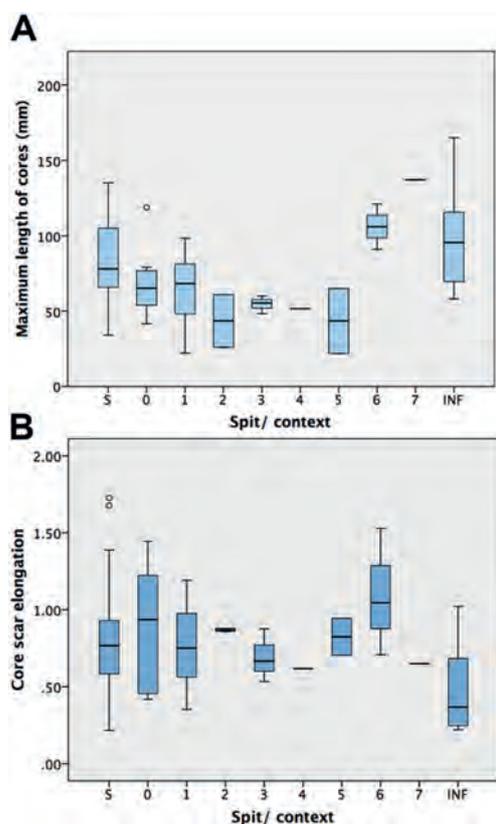


Fig. 8. Comparison on core metrics by contexts (S = surface collection; 0 = test pit quadrant A and B; 1–7 test pit E spits; INF = lower c. 50 cm of trench S33). Plots show median, interquartile range, outliers, and extreme cases. Elongation is core scar breadth divided by length.

technological features which can be associated with particular flake production methods were rarely present (see Fig. 11), for example 6 (2.7%) chordal flakes (*éclats débordants*) and 1 quadrangular flake were recorded, together with pseudo-Levallois points and convergent flakes observed in the material not sampled (e.g. Fig. 11E, F, I–K). < 3% of the sampled debitage were blades, while < 5 burin spalls and bladelets were noted among the other material examined (Fig. 11M, N). In general however, there were no repeated, coherent formal reduction systems identifiable, with the exception that the debitage from S33 INF broadly matched the laminar character of the cores, including blades, elongated flakes and bladelets, with uni- or bipolar scar patterns (Fig. 10B and C), and material from test pits 12 and 16 located away from the main hill top quarry-workshop - which has not yet been fully analysed - appears to have a more strongly centripetal character (Fig. 11A and B).

Table 1 shows that between 29% and 76% of all the debitage examined were fragments (debris was difficult to recognize and excluded from the counts). Table 1 also shows that for the five contexts where a coarse size separation count was performed, between 24 and 53% of all debitage was < 20 mm in length. The recorded sample includes a much higher proportion of whole flakes (> 80%), but the metrics demonstrate that the size is still broadly comparable: mean maximum length is

22.8 mm, median is 18.5 mm and mode is 12.5 mm. The largest flake was 69.9 mm long; flakes larger than 70 mm were observed to be very infrequent across all contexts. Nearly 8% of the recorded flakes were sirt fractures.

Table 1 shows that where recorded, dorsal scar patterns from more than three directions (“complex”) represented < 10% of the sample (E7 is 19%, but this is inflated by excluding flake fragments). Among the material analysed in detail, the same low proportion is found, at just over 5% (n = 12). Bipolar and distal scars together are < 5%, and while nearly a third of flakes had scars from at least one lateral, this likely reflects the movement of striking platforms rather than radial flaking given the other debitage and core data. The maximum number of scars was 12, but the most common (mode value) was 2, and the median only 3.

In the recorded sample, 48.6% of platforms were plain, and another 21.1% were active (i.e. including the striking points of previous removals), reflecting parallel reduction from the same platform. Faceted and dihedral platforms were very rare (together < 5%), and just over 13% were either mixed or fully natural surfaces.

The percentage of debitage with any dorsal cortex ranges from 10% to 37% (spit E 6) among the contexts where it was noted (see Table 1). For the recorded sample, this figure was just over 19% (n = 42), but < 7% had cortex covering three quarters or more of the dorsal surface. Fig. 12 shows that for the fully recorded samples, debitage with greater amounts of cortex tended to have a smaller size range, and although one extreme example was present, many flakes with no cortex were larger than those with 75% or more remaining.

5.5. Retouched pieces

The tool frequency overall is very low, with only 34 certain examples observed among the nearly 6500 objects examined (0.005%) (see Table 1); of these, 29 were flake tools, and 3 classed as roughouts, although they could also be interpreted as partly prepared blocks (Fig. 13). Virtually all recorded tools came from the surface collection where they were targeted, accounting for nearly 24% (26 flake tools and 2 roughouts) of this sub-sample; given their occurrence primarily from here and the upper spits of test pit E, they are discussed together.

Nearly 60% (n = 17) of tool supports were flakes, but a third were indeterminate. Two natural flakes and one thermal ‘pot-lid’ were used, and one core was retouched. Nearly 80% of tools were denticulates or notches, all of which were retouched rather than single-notch forms (Clactonian type); two examples with secondary retouch were also notches. Only four of the 16 denticulates were serrated (rather than contiguous notches). Only one tool was classed as a scraper, while one denticulate also had scraper-like retouch. Overall the impression is of limited, opportunistic tool production in-situ, although some were manufactured with more care, for example 11 had continuous retouch along one edge, and three were double-edged.

Alongside the tools, the three ‘roughouts’ included very shallow flaking aimed at shaping or thinning. All were from the surface of the site, and much larger than other tools (< 200 mm maximum length), although one was made on a flake support. They somewhat resembled early phases of picks, but it is also possible that they were blocks intended for transport where preparation had not been finished.

5.6. Imported lithic material

A small amount of exotic stone was identified among the thousands of objects examined (Fig. 14). Granite hammerstones and fragments were found from test pit quadrant A and field trench 8; the latter also produced a probable phonolite flake. A fragment of basalt, possibly another hammerstone, was found in the lower part of S33 INF (see discussion below). A small white quartz core reduced in a unipolar manner was found in the field trench 9 (similar to a larger core fragment from the old informal collected material from the slopes above the

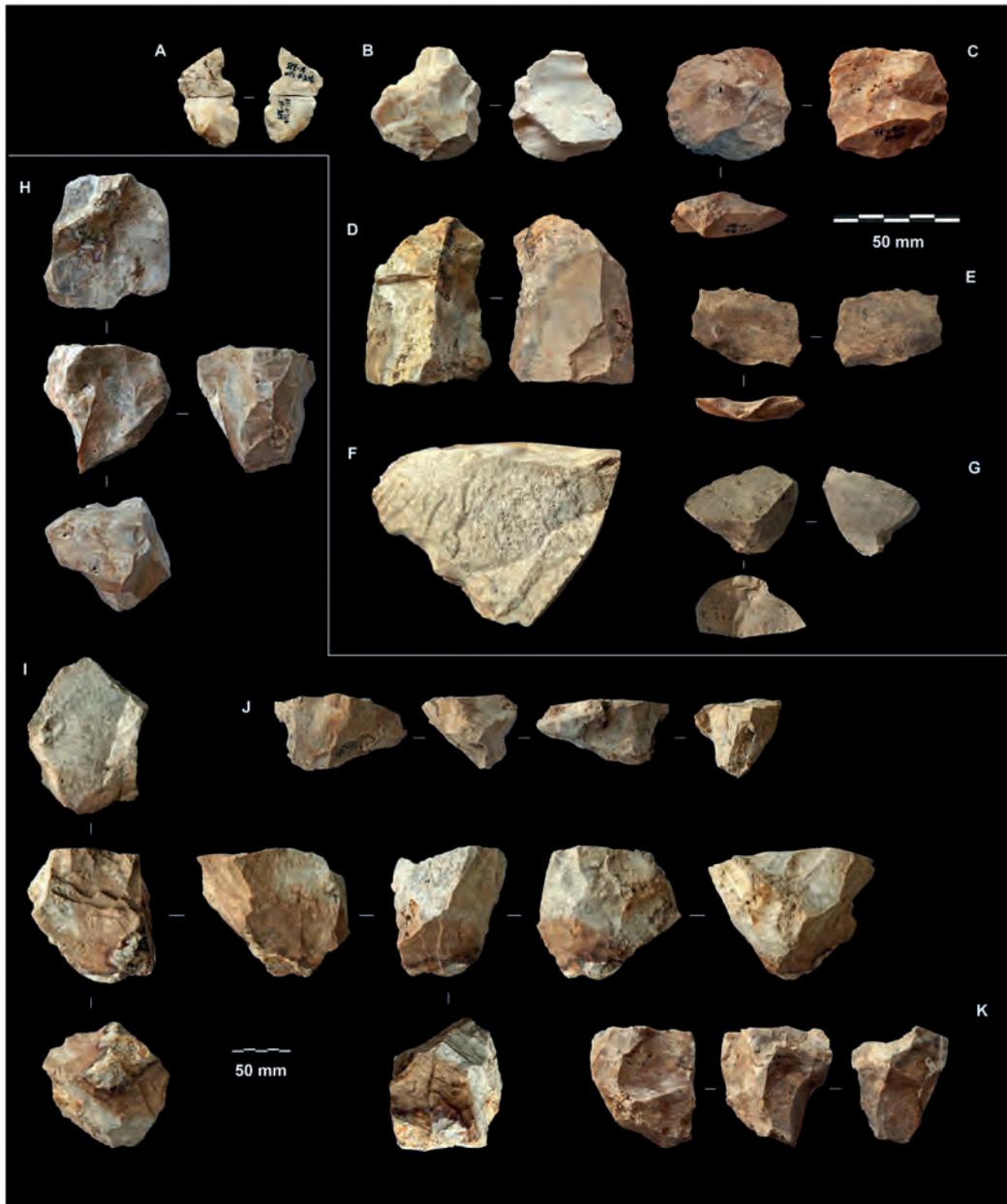


Fig. 9. Selected E6 and E7 lithics. A: E7: Refit of an ancient break on elongated flake, dital also missing. Patinated white. B: E6: Possible core surface management flake. C: E7: Core surface management; from alternately worked perimeter. D: E6: Thick flake. E: E6: Flake from alternate reduction sequence. F: E6: Denticulate. G: E7: Pseudo-Levallois point. H: E6: Informal core; 2 platforms. I: E6: Informal core; 4 platforms, total + 20 scars. J: E6: Informal. K: E7: Unipolar core.

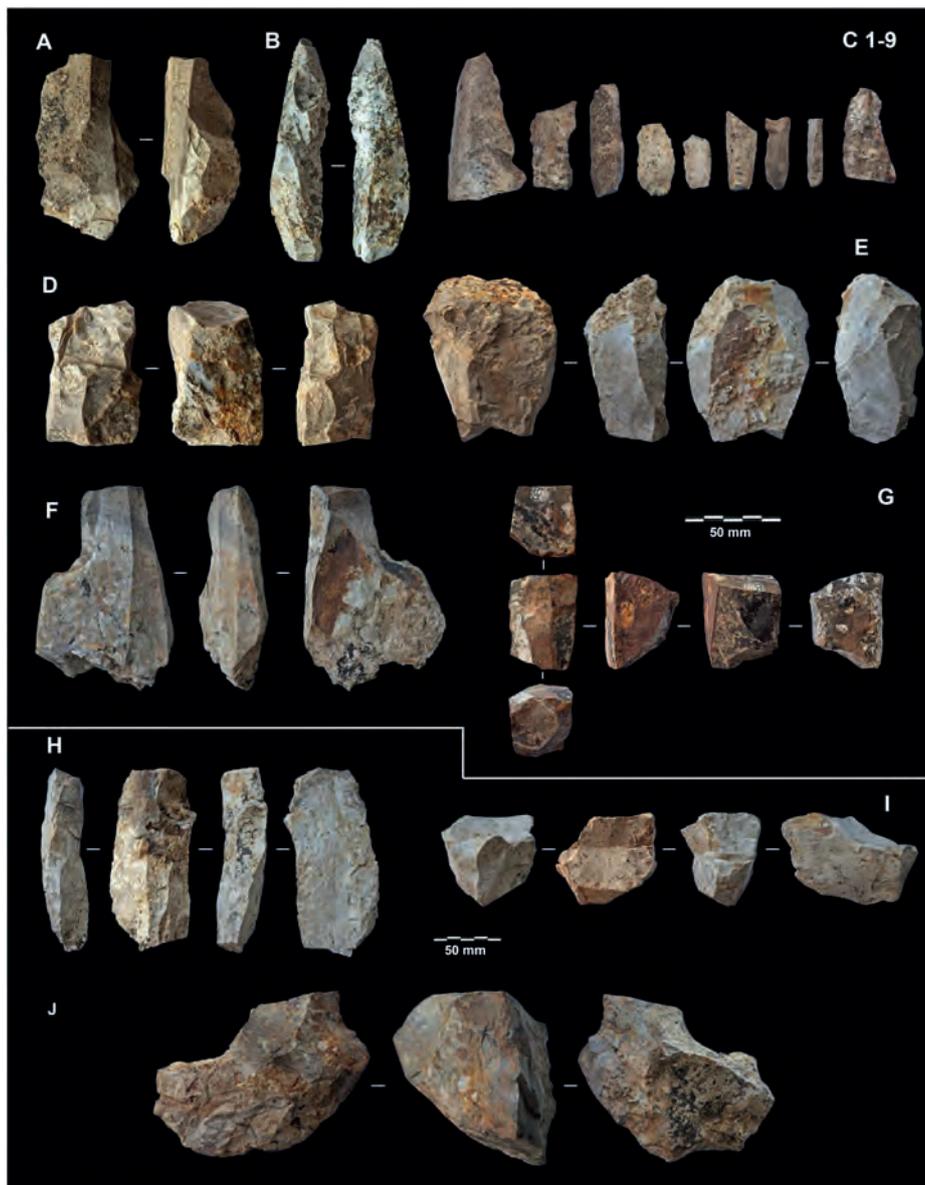


Fig. 10. Selected S33 INF lithics. A: Partial blade core. B: Blade from surface collection adjacent to S33 trench; made on same facies as much of INF and SUP material, possibly disturbed during excavation of the trench. C 1-9: Examples of blade and elongated flake debitage. D: Bipolar core. E: Part core. F: Part blade core. G: Informal core. H: Part blade core. Informal flake core. J: Large tested piece.

field). All these materials, while not occurring directly on the site, are found within 1 km.

Four other objects were made from imported flint, the sources for which were identified due to extensive regional research programmes over more than a decade based around geological and archaeological

lithothèques (fully representative collections of flint including different facies and secondary contexts: Fernandes et al., 2015, 2016a, 2016b) and petroarchaeological studies (Fernandes, 2012; Fernandes and Raynal, 2006, 2007; Fernandes et al., 2006, 2007, 2008; Delvigne, 2016; Delvigne et al., 2016). Detailed descriptions and



Fig. 11. Selected debitage. A 1-7 Flakes from S12, showing tendency to surface exploitation and centripetal reduction. B 1-9 Flakes from TR 16, surface exploitation and centripetal reduction. C 1-3 Large thick flakes with complex scars from old collections. D 1-4 Four examples from test pit quadrant 8 showing very similar facies but no refitting. E: Centripetal flake, E7. F: Complex scars and prepared but thin platform, test pit quadrant A. G: Example of siret fracture, test pit quadrant A. H: sample of elongated flakes from test pit quadrant A. I-L: flakes showing features possibly from discoid reduction: éclat débordant, pseudo-Levallois points and convergent scars. M and N: selection of microblades and debitage from test pit quadrant A.

microphotographs are available in Appendix D, Fig. D1.

These two cores and two debitage fragments in exotic flint were all from the upper 10 cm of the deposits (test pit quadrants A and B, and the surface survey). HT-A-260 is a proximal blade fragment made from a Bajocian flint, from the secondary source at Naussac (Lozère) in the upper Allier valley. HT-B1-929 is also a proximal fragment, with >

50% of remnant dorsal cortex. It is made from Barremian-Bedoulian flint, from secondary sources at Cruas/Chateau de Rochemaure (Ardèche) on the right bank of the Rhône. HTS-45 is a bipolar bladelet core < 30 mm, made on Jurassic -probably Bajocian- flint, available from alluvial deposits of the Loire or Allier rivers. It has two small areas of remnant cortex, and 17 scars. HTS-44 is bipolar core just over 30 mm

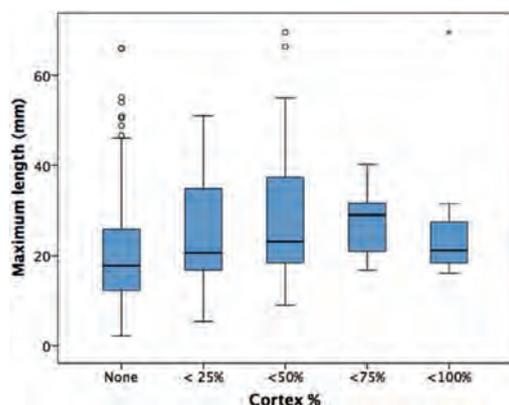


Fig. 12. Maximum length for recorded debitage by percentage of dorsal cortex.

long, made on Sinemurian flint from Aubenas (Ardèche). It has 7 clear flake scars, together with remnants of cortex. The source distances and significant of the imported flint is discussed further in Section 6.3.

5.7. Other

Burned lithic material was found in small numbers (< 50 total) in the upper spits of the summit test pits and the surface survey; but most were not knapped. No organic objects were found, or any non-lithic material due to the edaphic conditions.

6. Discussion

As discussed in the introduction, quarry-workshop sites offer both opportunities in understanding regional patterning of lithic exploitation, but also challenges to analysis from their palimpsest nature.

The work undertaken thus far at Rapavi provides a case study for these types of sites, and the results contribute to knowledge of regional prehistoric techno-economic strategies, landscape connections, and an example of silcrete as a raw material.

6.1. Site characterisation and chronology

Determining the age of material from surface quarry-workshops is widely believed to be very challenging (Bamforth, 2006; Ericson, 1984), confirmed in our experience at Rapavi: the combination of extreme artefact richness, idiosyncratic fracture properties, predominantly informal technology and, thus far, limited vertical excavation, requires caution in estimates about the age of human activity. It was not possible to follow a strategy separating 'relevant' technological components within the entire excavated assemblage to 'dissect' different phases of activity (e.g. Carr, 1987; Bisson et al., 2014), because chronologically diagnostic material - i.e. with genuinely distinctive formal typological or technological attributes - was extremely sparse.

Various taphonomic inferences can be drawn, although remaining preliminary. First, the very high density of lithic material overall, particularly towards the surface, indicates that soil erosion and deflation have probably taken place via weathering processes (most likely a combination of water action and soil creep). The high elevation of the site means that it was likely subject to periglacial conditions during cold stages and stadials (Etlicher and Goër De Hervé, 1988) which probably caused thermal damage to the artefacts (fracturing, spalling, pot-lids), as well as potentially leading to disturbance of the deposits as a whole

(though there is no evidence of glaciers in this particular area). These factors increase the palimpsest effect typically present at open quarry-workshops, and prevents fine dissection of different phases in the upper portion of the deposits. As noted in Section 4.2, below c. 30–40 cm in test pit E and 50 cm in S33 INF the matrix density was less; combined with the accompanying difference observed in artefact condition and possibly technology, less eroded/deflated layers are likely to be present at depth.

In the absence of direct dates on sediments and better understanding of the site's formation processes, techno-typological characteristics are the only method which can be employed for considering the age of deposits at Rapavi. However, the vast majority of the material examined is chronologically indeterminate. Much of the debitage and many of the cores reflect informal reduction. Although the small samples are not ideal, the presence of more laminar material from S33 (both that excavated and collected from the surface adjacent) and some technological/metric differences in E6 and E7 indicates that there may be some spatial patterning as well as stratigraphic differences which could relate to activities during different phases of the quarry's history, but these cannot be assigned a specific age.

In terms of specific chronological markers, a small proportion of lithic material from Rapavi (historic collection from the field, surface collection at the summit and additionally some material from trenches S12 and S16) can broadly be described as either centripetally-organised or core-surface reduction (approaching discoid or Levallois methods). While typically associated with the Middle Palaeolithic generally and in this region, caution is required as these features are not strictly reliable chronological indicators. The same is broadly true for some very small laminar material and possible burin spalls found in the upper parts of the site: they would not be out of place in an Upper Palaeolithic assemblage, but they occur on the surface of what is clearly a deep deposit of humanly-struck lithic material (> 1 m). There are no backed bladelets, burins (despite some spalls being recognized), or endscrapers which might be stronger Upper Palaeolithic markers (Lafarge, 2014). The S33 INF assemblage, while showing distinctive laminar character, could be Upper Palaeolithic or Neolithic.

Several microcores < 4 cm long (flake and bladelet; e.g. Fig. 14) from the upper levels at first glance might be Mesolithic, but a Neolithic age is also possible (see for example similar objects made on a 'glassy' siliceous material - also co-incidentally termed *opale résinite* - from the lower Loire valley: Cordier, 1998). Two of the microcores from Rapavi are made on exotic raw materials (see section below), and a possible chronological clue for these particular pieces may come from the fact that transport of these flint types was quite extensive both during the Upper Palaeolithic and the Mesolithic (Delvigne et al. 2014; Delvigne et al., 2016); on the other hand, Neolithic transport is relatively understudied in comparison.

A handful of other objects stand out as potentially having particular typological or chronological affinities, including the two roughouts, comparable to Mesolithic or later prehistoric picks or axe forms, or possibly some Neolithic prepared blocks (Cordier, 1998). The large basalt flake from INF was found at c. 70 cm depth (close to the upper surface of the silcrete outcrop); this lithic material is most often associated with Middle Palaeolithic archaeology in the region, and its position towards the bottom of the deposit could be taken to support an older age, however it is technologically undiagnostic and again the extent of disturbance possibly due to direct stone extraction in this area requires caution. Finally, two large denticulates may be later prehistoric, based on similarity to regionally-known material (Daugas and Raynal, 1979); their occurrence at the surface with the 'pick' roughouts could indicate these are a similar age.

Therefore, although we know from the regional record that the Rapavi silcrete was used by Neanderthals and Upper Palaeolithic peoples (see Table 2), a clear pre-Holocene chronological signature is not recognizable in the currently studied material. This could be due to several causes: mixing through human disturbance; a spatial element

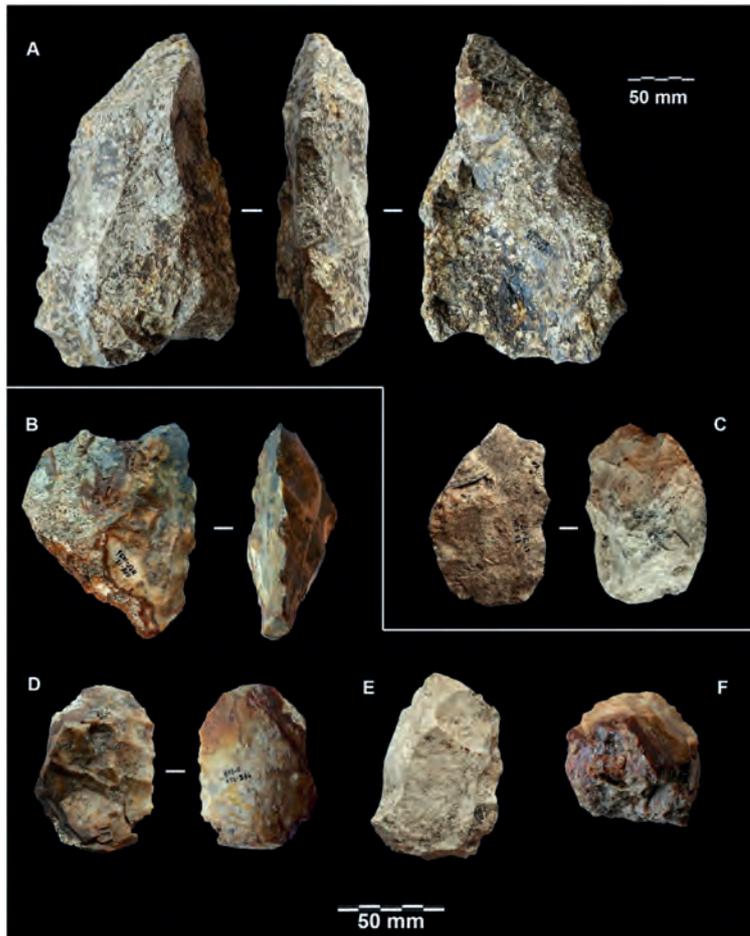


Fig. 13. Roughouts and retouched artefacts. A and C: roughouts from the surface collection. B, D-F: Examples of denticulates.

within the unexcavated portion of the site; Palaeolithic activity occurring at a different unsampled location, or even the impact of the raw material (see below). It is possible that all the material thus far examined from Rapavi could represent Holocene exploitation, however the lack of any ceramic (or indeed any non-lithic material at all), is noticeable, particularly in comparison to the field where historic ceramics and glass were found. On the other hand, the nature of Rapavi as a raw material source rather than domestic locale could limit the material repertoire. In summary, the only chronological statement that can be made with confidence at present is that the exotic flint microcores probably represent Mesolithic or Neolithic re-supply activity.

6.2. The Rapavi source in its regional context

While thus far the Rapavi quarry-workshop site itself has only provided limited chronological evidence, this silcrete was utilised during multiple periods, and even transported up to 40 km. Table 2 provides details and references of known sites with silcrete, based on more than a decade of detailed geological research within the southern

Massif Central and the Rhône-Alpes areas (Delvigne, 2016; Fernandes, 2012; Fernandes et al., 2006, 2008), and Fig. 15 shows examples of silcrete objects. However due to pre-existing research priorities, there is currently far more known about Palaeolithic and Mesolithic than Neolithic use of this material.

Rapavi silcrete is found in some but not all important Middle Palaeolithic sites (Raynal et al., 2007), generally only in small proportion. Two key sites are the cave of Sainte-Anne I, Polignac (16 km north east from Rapavi), and Baume-Vallée, Solignac-sur-Loire (14 km southwest). At Sainte-Anne I, most of the limited number of flakes are small or fragmented, originate from bipolar reduction with low dorsal scar counts (averaging 2–4), and have plain or cortical platforms; some reduction was probably occurring in-situ. Some flakes have more scars with complex patterns; a few probably originated from formal reduction including Levallois and discoid reduction.

Baume-Vallée has been extensively excavated, and contains both Middle and Upper Palaeolithic levels, all of which include Rapavi silcrete in low amounts (Bouzouggar, 1993; Raynal et al., 2007; Vayssié et al., in press); here, for the Middle Palaeolithic, some cores were

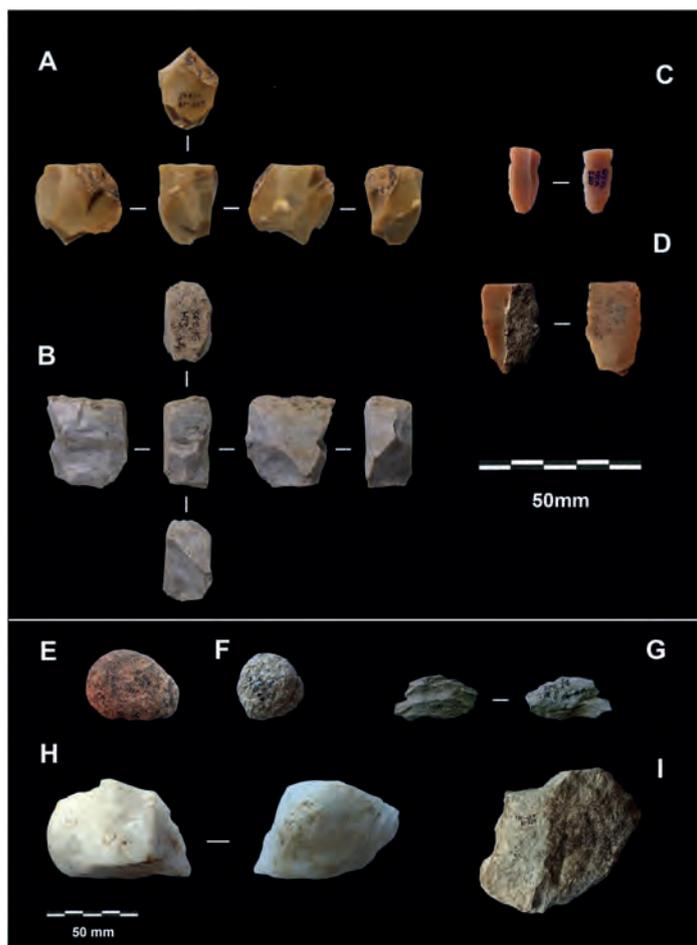


Fig. 14. A: HTS-45 bipolar bladelet core, unspecified Jurassic, probably Bajocian, flint. B: HTS-44 bipolar core, Sinemurian flint from Aubenas, Ardèche. C: HT-A-260 proximal blade fragment, Bajocian flint (Type F140.1). D: HT-B1-929 Barremo-Bedoulian flint (type F14. E and F: Granite hammerstones, from field trench and summit test pit. G: Phonolite flake, field trench 8. H: quartz core, trench 8. I: Basalt flake, quarry-workshop surface collection.

extensively reduced using quite formal centripetal reduction.

There is currently no evidence of Rapavi silcrete within the rich but low numbers of earlier Upper Palaeolithic (recent and final Gravettian) sites in the region (Allier Valley: Le Blot, Le Rond-de-Saint-Arcons, and possibly Tatevin I). It is notable too, that no lithic material during this period seems to have been transported between the upper Loire and Allier valleys (Delvigne, 2016).

In the later Upper Palaeolithic (Badegoulian and Magdalenian) Rapavi silcrete is again utilised. During the Badegoulian, the silcrete appears not to have been transported further than c. 18 km, but was certainly sometimes imported in raw nodule form, and reduced in-situ in some sites, such as the Rond-du-Barry cave, Polignac.

Magdalenian (Middle and Upper) exploitation of the silcrete is attested in multiple sites, including some where it was a significant raw material within the lithic assemblages, however on current evidence it does not appear to have been transported beyond the upper Loire catchment, except for one recent find of a flake from Tatevin II, (Chanteuges), c. 40 km eastwards of Rapavi in the Allier valley. Two Magdalenian sites are especially important for understanding the use of

the Rapavi silcrete and investigating chronology at the quarry-workshop site, as they are located within 6 km of the site. Both Abri Peylenc (Saint-Pierre-Eynac) and Abri Dufau (Blavozy) (see references in Table 2) are old excavations, and the former requires modern re-analysis to confirm the proportion of silcrete previously claimed, as well as determining technological features. This has been performed for Abri Dufau on extant material, confirming significant in-situ reduction and the dominance of the Rapavi silcrete, although unfortunately some 400 tools, blades, bladelets and flakes are now missing (Lafarge, 2014; Delvigne, 2016). Cores are apparently preferentially on slab-type blocks, most have minimal or no remnant cortex, and there may be some technological adaptation to the silcrete's challenging quality (frequent flaws, poor silicifications, etc.). Production was oriented to both laminar and flake supports; most tools were burins.

Finally, early Holocene use of the Rapavi silcrete is known, although with a low number of artefacts from a handful of small sites (Table 2), indicating some in-situ reduction. Interestingly these are oriented more towards the south than the Palaeolithic evidence. One of these locales, Longtraye, Freycenet-la-Cuche, has also been claimed as including

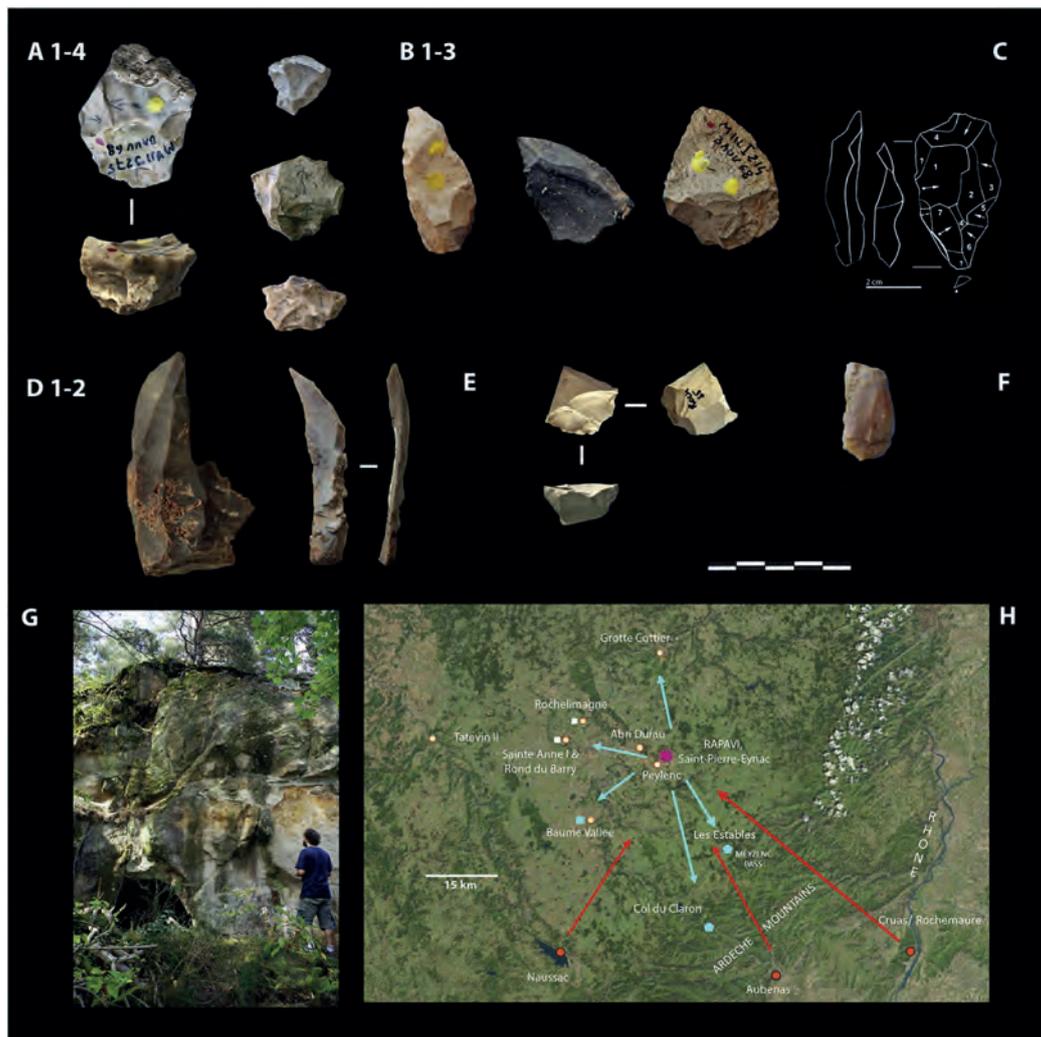


Fig. 15. Regional connections: Rapavi silcrete in other sites, and imported materials. A 1–4: Small Levallois core and Levallois flakes, Baume-Vallée. B 1–3: Mousterian points, Baume-Vallée. C: Flake showing complex scar pattern, Sainte-Anne I, drawing by Carmen Santagata. D 1–2 Blade core and blade from Abri Dufau. E: Small surface exploitation core, Rochelimaigne. F: Blade fragment, Col de Claron. G: Abri Dufau, Blavozy. H: Map showing locations of major sites with exported Rapavi silcrete, and sources of imported exotic flints. White squares = Middle Palaeolithic; Yellow circles = Upper Palaeolithic; Blue pentagons = Mesolithic; Red circles = flint sources. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Rapavi silcrete within the Neolithic layers but this remains to be confirmed.

6.3. Imported lithic materials at the Rapavi workshop

Aside from the selection of exotic stone that was available within a few kilometers of the site (phonolite, granite, quartz), the non-local flint objects identified all came from significant distances (Fig. 15). Identifications follow Fernandes (2012) and Delvigne (2016); see also Fernandes et al. (2015, 2016a, 2016b). Details on the flint identification

based on petrography and micropalaeontology are available in Appendix D, Fig. D1. The Bajocian flint bladelet fragment came approximately 40 km as the crow flies from the south-west, the Sinemurian core from c. 55 km south, and the Barremian-Bedoulian flint originated from c. 70 km south-east. The non-specific Jurassic Bajocian flint core could have been acquired from secondary sources within 20 km. These objects all likely represent the presence of people replenishing curated toolkits (Gramley, 1980) at the Rapavi silcrete source.

The import of these exotic flint types, more than the export of the silcrete, shows strong directionality, with no imported flint yet

Table 2
Information on regional prehistoric archaeological sites where Rapavi silexite has been reliably identified. It is not possible to provide precise percentages of the silexite compared to other raw materials because of missing information for many of the older collections.

Age	Site, layer	Lithic details	Distance from Rapavi	Refs
Middle Palaeolithic	Sainte-Anne I, Polignac, J1–3, end MIS 6	42 pieces of silexite among diverse range of other raw materials. Mostly debitage, very few tools; no cores. J1 – siliceous materials overall are 20% of the lithic assemblage; Rapavi silexite accounts for 0.3% of this. Cores, debitage, retouched pieces including points. Levallois reduction.	16 km NW	Fernandes and Raynal, 2007; Raynal, 2007; Suintagata, 2012
?	Baume-Vallée, Solignac-sur-Loire units 6–12, MIS 4 Rocheimagne, Polignac	Open air scatter; silexite material identified thus far includes typologically Middle Palaeolithic artefacts.	14 km SW 15 km NW	Bouzouggar, 1993; Raynal et al., 2007; Vayssié et al., in press Raynal et al., 2007
Badegoulian	Grotte Cortier, Retournac Rond du Barry, Polignac Layer F2	9 silexite of 115 extant artefacts, including bladelet, notches and knapping debris. Sectors 1 and 3 (purely Badegoulian) 7 silexite of 2682 (0.26%) and 1 of 445 (0.22%); including core fragment, blade, bladelet, crested blade, denticulate on a flake and a burin spall. Sector 2 (mixed Badegoulian, Middle Magdalenian and Upper Magdalenian) 6 silexite of 685 lithics, including a blade and burin spall. 19 silexite of 24 cores and core fragments.	c. 18 km N 15.5 km NW	Bout, 1953; Virmont, 1972; Virmont and Virmont, 1973; Delvigne, 2016 de Bayle des Hermens, 1987; Remy, 2013; Lafarge, 2014; Raynal et al., 2014; Delvigne, 2016
Magdalenian	Tarevin II, Chanteuges Abri Dufau, Blavozy (extant collection) Peyzieux, Saint-Pierre-Eynac Sainte-Anne II, Polignac	Possibly > 50% of the whole assemblage; many flakes, some bladelets; blades 84 silexite of 6000 lithics (1.4%). Blade and bladelet cores, large blades, bladelets, some tools including burins. Crested blades, core maintenance products, burin spalls and knapping debris. One laminar silexite flake of 122 lithics	40 km E 5 km NW 2.5 km SE c. 15 km SW	Virmont et al., 1972; Aulanier et al., 2015 Dufau et al., 1961; de Sommeville-Bordes, 1962; Lafarge, 2014; Delvigne, 2016 Crémilleux, 1972; Werth, 1992a, 1992b Séguy and Séguy, 1972; Delvigne, 2016 Delvigne, 2016
Epipalaeolithic	Baume Vallée, Solignac-Sur-Loire, Assemblage 2 Baume-Loire, Solignac-Sur-Loire Rond du Barry, Polignac, 2016 fieldwork Longeraye, Freycenet-la-Cuche, level 4	5–7% of industry chipped as silexite 4 pieces 7% silexite	c. > 16 km c. 15 km NW c. 18 km SW	Cremilleux, 1972, p. 172 Lafarge et al., 2016 Masson, 1981; Philibert, 1982, 1986; Delvigne, 2016.
Mesolithic	Col de Claron, Cros-de-Géorand	Five silexite of 168 artefacts; flake, flake-blade, bladelet and knapping debris	c. 26 km SE	Delvigne, 2016.
Neolithic	Les Estables Longeraye, Freycenet la Cuche, level 1 to 3	Of 27 new surface finds three are silexite: a core, bladelet and piece of debris. Important amounts claimed in publication.	18 km SE c. 18 km SW	Delvigne, 2016. Crémilleux et al., 1977

identified from northern, eastern or western sources, although it should be remembered that such material could be present among the rest of the site. The identified sources also implies significant traverses of major topographic features, across the Loire watershed to the south. This scale of transport is known as far back as the Middle Palaeolithic, as Barremian-Bedoulian flint from the Rochemaure-Cruas source has been found in regional Neanderthal sites including those with Rapavi silcrete: Baume-Vallée (Raynal et al., 2007; Delvigne et al., 2016), Sainte-Anne I (Raynal, 2007), brief Middle Palaeolithic occupation of the Rond-du-Barry (Raynal et al., 2014), and an isolated Levallois point from Devesset, in the Mézenc mountains (Delvigne et al., 2016).

The imported blade and bladelet could be Upper Palaeolithic or Holocene; while the microcores, assuming they do not represent exhausted Upper Palaeolithic examples, are probably Mesolithic (although Neolithic is not out of the question). In either case, exotic flint transports from these sources would fit into known regional patterns for both periods, when diverse types were exploited (Delvigne et al., 2016). Barremian-Bedoulian Ardèche flint is found in many Badegoulian and Magdalenian sites of the Velay region; at Abri Dufau, while blades are mostly made on the Rapavi silcrete, the majority of bladelets are on exotic flints types, including Barremian-Bedoulian of Cruas/Chateau de Rochemaure and Naussac-sourced material. This may show that while the silcrete was adequate for some applications, other materials with more predictable fracture were preferred for more difficult techniques and preferentially transported.

6.4. The importance of the Rapavi silcrete source

This quarry-workshop was only one siliceous source of stone in a region where typically large diversities of raw materials were exploited throughout prehistory. Within the Middle Palaeolithic units from Sainte-Anne I and Baume Vallée, over 15 siliceous stone types were used (most from within the Massif Central), while over 100 types have been identified from the Upper Palaeolithic assemblages at Sainte-Anne II (Delvigne, 2016). How does Rapavi as a source fit into this pattern of stone exploitation, both in terms of raw material economies and in landscape context?

Considering the quarry-workshop itself, during much of the Palaeolithic (except the climax of the interglacial Marine Isotope Stage 5, c. 120 Ka) the environs were unlikely to have been forested, but deciduous woodland has been present since the Holocene (Reille and Beaulieu, 1988; Reille et al., 2000). It is uncertain to what extent the silcrete was visible to prehistoric people; the generally small outcrops currently seen across the hill (Fig. 1) may represent remnants of more extensive stone that has subsequently been weathered. However trench S32 showed that, at least in some areas, a significant cap of argillite covers the main siliceous unit. During glacial and colder interglacial phases (such as Marine Isotope Stage 3, c. 60 Ka–30 Ka), any exposed silcrete as well as colluvial material might have been visible from a distance, given their height over 900 m, proximity to the imposing Mont Plaux, and white colour when exposed to subaerial weathering. The quarry location at a topographic high point may have acted as an initial attractor, with excellent visibility east, south and westwards providing a context for human presence on the hill, leading to exploitation of the stone. By the Holocene, although vegetation cover would have been heavier, it may be that earlier human stone exploitation (whether at the summit locale or elsewhere on the wider Rapavi silcrete formation) had created enough lithic debris to form a micro-environment with drier conditions, fewer trees and more brush, allowing some lithic material and outcrops to remain exposed (Foley and Lahr, 2015). This is in fact similar to the scrub conditions on the hilltop in the present day prior to discovery of the site (Fig. 2A). In this way, earlier human history at Rapavi may have stimulated later activity, both via reduced vegetational cover, and the presence of visible knapped lithic debris (Bailey and Galanidou, 2009).

With the chronological limitations in mind, and the fact that only a

sample of the area has been excavated, a range of behavioural patterns at the site can be suggested. First, the technologically informal character of much of the lithic material deserves consideration. As a raw material source, some informal reduction is to be expected, however its status as a primary extraction site does not a-priori mean an absence of chronologically-diagnostic lithic material. Some examples of other raw material acquisition sites broadly similar to Rapavi underline this point. At Wadi Zarka Ma'in -2 (Madaba, Jordan) a Palaeolithic flint source, Levallois flake cores were the most common category overall, and over 50% of all cores were formally reduced (Bisson et al., 2014: 81-2). Chêne Vert (Dirac, Charentes, France), a rich Neanderthal flint acquisition site (Charente, France) included refitting sequences, together with multiple types of chaîne opératoire including Quina, three forms of Levallois, plus other variations (Dawson et al., 2012). Comparisons with another open air quarry site within our own PCR project at Le Clos-du-Charnier, (Lagorce, Ardeche, France; Moncel and Perreuve, 1999; Raynal et al., 2015), shows significantly greater proportions of formal core reduction- including surface-exploitation and Levallois-despite using relatively small cobbles of Barremian-Bedoulian flint.

At Rapavi, in all contexts, while some cores were more intensively knapped, the general impression is of large amounts of raw material testing: many cores with remnant cortex, generally limited reduction, discard occurring still at an 'active' stage, very low numbers of tools. On the other hand, the percentage of debitage with any cortex or natural surface was rather low; this could be an issue with different sampling for cores and debitage. The probable Mesolithic imported flint microcores suggest people arriving at the site with quite exhausted tool sets, and replenishing their supplies. The lack of in-situ secondary reduction may represent an economic choice for an unpredictable stone that required significant effort to find decent quality nodules, which could be exported off-site as 'dressed' blocks (Elston, 2012). Another possibility is that the summit quarry was a focus for extraction, but processing was taking place nearby (Doelman, 2005; Elston, 2012); the presence of some debitage with a broadly centripetal/discoid nature together with a blade core in trench S16 could be sampling this sort of activity. This may also explain the extremely low numbers of retouched tools. Hammerstones are also much less common than might be expected, which may perhaps be due to spatial sampling; alternatively, the experimental work showed that silcrete itself can be used, therefore some of the shattered material may be broken hammerstones (although no battered blocks were noted, one core had battering).

The majority of activity seems geared towards cores for blank production; various fine facies of the Rapavi silcrete are able to produce laminar products, but some may also have had a tendency to fragment this way naturally. The co-occurrence in the INF context of a great deal of very laminar reduction within the fill of a possible pit may represent people actively seeking particularly suitable silcrete exposures by digging, an activity not limited to agriculturalist populations (Bamforth, 2006; Elston, 2012; Kozłowski, 1991; Reher, 1991). While the only other deep excavation- in test pit E did- not show evidence for disturbance, the fact that there is an apparent mix of later prehistoric and Mesolithic artefacts at the surface of the site generally might also be evidence of disturbance of the site by digging. If there were large amounts of ancient excavation, this may also have acted to mask the signature of earlier prehistoric activity.

While samples were small, observed technological changes in stratigraphic terms between E6/7 and upper spits – cores become smaller, with smaller flake scars, and debitage is quite uniform in size range- could represent varied technological strategies, or alternatively a change in the available raw material. As a bedrock quarry, with silcrete capped by argillite, the 'visible' outcrop resource might have been relatively discontinuous and limited. It is feasible that, over time, weathering and human exploitation could have depleted the surface resource (both outcrops and naturally fractured blocks/slabs) through fragmentation and selection of larger and higher quality material; this is possibly reflected in the smaller, less intensively worked cores above

E6. No evidence for recycling of older cores or knapped objects was noted, but a reduction in easily available stone might also act as a trigger for later populations to begin direct extraction of the bedrock by digging pits. In this context, the rare burnt material within the upper spits and the surface survey is interesting to consider, as possibly associated with heat-fracturing. Examination of the Rapavi material overall showed no clear macroscopic evidence of heat-treatment for improving its quality, as seen in other traditions of silcrete exploitation (Brown et al., 2009; Schmidt et al., *this issue*), and the vast majority of the burnt pieces are not knapped. However this is an under-researched area for European silcretes, and may therefore warrant further investigation.

At a wider scale, the Rapavi silcrete does not show an extensive sphere of influence in terms of very long distance transport away from the site (Fig. 15), or high percentages compared to other raw materials in regional assemblages (beyond those very close to the site: Abri Dufau and Peylenc). However, despite its challenges in terms of knappable quality (flaws, geodes, heterogeneity), it is persistently present at other sites through a huge span of time, and together with the scale of the workshop itself, it is clear that it was deemed worth exploiting over many generations, some of whom may have discovered the site and found evidence of previous exploitation. This fits within a pattern of raw material economy seen across the prehistoric Massif Central where very diverse regional sources of siliceous stone were known and utilised, although generally in limited amounts (Delvigne, 2016; Fernandes et al., 2015, 2016a). One possible explanation may relate to the high altitude landscapes themselves, where siliceous sources were scattered and small, and embedded procurement was impacted by some rocks being inaccessible during prolonged winter periods (even today, snow is present from November until April).

Locales where stone extraction/acquisition took place over long periods do not necessarily have a static function over time (Doelman, 2005), but the role of the Rapavi silcrete within regional raw material lithic economies is remarkably consistent, even if the tools produced and possibly activity at the site shifted over time. Additionally, the fact that three (or possibly four) exotic flint varieties were identified involving sources located in different directions up to 70 km away underscores the place of the Rapavi source as one node within a much larger network of stone resources – and the people who used them –, connecting diverse topographic and ecological zones.

A final important aspect to consider is the social context of this stone: where ethnographic data is available, lithic sources frequently acquire great significance, either in terms of controlling access to the resource, or cosmological meanings (Taçon, 1991; Paton, 1994; Brumm, 2010). Potential aspects which could have been regarded as unique for this stone include its location adjacent to Mont Plaux, varied facies, weathered white colour, and even its erratic knapping quality. In this respect the Abri Peylenc Upper Palaeolithic site, located so close to Rapavi, may have been an especially important locale if access to the raw material source was limited to particular social groups (Brumm, 2010; Ericson, 1984; McBryde, 1984), underlining the necessity for a modern re-analysis of this assemblage.

7. Conclusions

The discovery and analysis of the Rapavi silcrete quarry-workshop contributes to three main areas of archaeological enquiry.

Our synthesis of the regional use of the Rapavi silcrete contributes to expanding research on this raw material type globally, providing a case study in a European context where silcretes are infrequently directly discussed. While this material was not utilised continuously or generally in large amounts, it was valuable enough to be transported in raw form at least 16 km during the Upper Palaeolithic, with end-products moving up c. 40 km, and around half that during the Middle Palaeolithic. The idiosyncracies of this particular stone in regard to its formation and fracture mechanics are also useful reminders of the

diversity of silcrete generally, where it can be both a valuable raw material, while also presenting challenges to its prehistoric knappers (as well as contemporary lithicians).

The study of the Rapavi site therefore also contributes to quarry study methodologies and approaches: despite matching parts of Ericson's description of quarries as "shattered, overlapping... non-diagnostic, undatable, unattractive... and at times voluminous" (1984: 2), the Rapavi site is not "redundant" in archaeological terms. A research strategy aimed at efficient extraction of information to understand human behaviour while remaining flexible as the project evolved has produced useful results, despite the challenging context of an open-air locale with deflation, palimpsest formation and mostly technologically-informal material.

In regional archaeological terms, our excavations has identified a major extraction and workshop site for a stone type that had been known for decades within various stratified industries from the Middle Palaeolithic to the Mesolithic. The scale of activity at Rapavi was clearly extensive (possibly including direct bedrock extraction), although currently explicit chronological associations are only provided by the microcores (flake and bladelet; probably Mesolithic), and possibly by later prehistoric formal tools. The identification of exotic flints ties the Rapavi source into wider networks of lithic resource exploitation that reach over hundreds of kilometers, crossing major topographic barriers, and indicates that the users of this material either were highly mobile or were part of quite extensive exchange systems. It is tempting to wonder if the majority of material at Rapavi might be Holocene, however the existence of possibly less disturbed lower contexts, a spatially-distinct laminar assemblage, unexcavated outcrops and hints of different processing areas across the wider hill summit, suggests that there is potential to discover more from this huge site, with an appropriate study strategy.

Acknowledgements

This work was undertaken during RWS' Marie Curie Intra-European Fellowship 2013–2015 at PACEA UMR-5199, Université de Bordeaux, funded by the European Commission 7th Framework (TRACETERRE Grant 301693) and VD's Fyssen post-doctoral Fellowship at Service de Préhistoire, Université de Liège. The research was supported by the Ministère de la culture et de la communication DRAC Auvergne as part of the PCR *Espaces et substance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif Central* (directed by J.P. Raynal et M.H. Moncel). Excavation was licensed under operation archéologique n° 7413, actes n° 2014-142 and 2015-127 and operation archéologique 7733. We are grateful to the Mairie of Saint-Pierre-Eynac, local landowners, members of Archéo-logis (especially R. Liabeuf), teams of student excavators (in particular Elena Giovenco) for herculean efforts processing and marking thousands of indeterminate lithics, and Erwan Vayssié in addition for knapping.

RWS appreciated the PACEA laboratory's community, in particular administrative assistance from C. Morel-Chevillet, and support from Anne Delagnes; and is grateful to all members of the PCR project for their collaboration and flexibility in accommodating her family needs during fieldwork. She thanks Peter Bindon for discussion of ethnographic contexts, Carmen Santagata for knowledge of the Sainte-Anne I assemblage and assistance with lithic sorting, Paul Fernandes for petroarchaeological training, Brad Gravina for an ever-critical eye and knapping expertise, and special issue co-Editor Manuel Will for enthusiasm and patience. She especially thanks Jean-Paul Raynal for his significant support before, during and since her fellowship.

We thank three anonymous reviewers for constructive criticism which helped improve the manuscript- remaining errors are our own.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.07.022>.

References

- Adams, B., Blades, B. (Eds.), 2009. *Lithic Materials and Palaeolithic Societies*. Wiley and Blackwell, Oxford.
- Andrefsky, W., 1994. Raw-material availability and the organization of technology. *Am. Antiq.* 59 (1), 21–34.
- Andrefsky, W., 2009. The analysis of stone tool procurement, production, and maintenance. *J. Archaeol. Res.* 17, 65–103.
- Aubry, T., Gameiro, C., Mangado Llach, J., Luís, L., Matias, H., do Pereira, T., 2016. Upper Palaeolithic lithic raw material sourcing in central and northern Portugal as an aid to reconstructing hunter-gatherer societies. *J. Lithic Stud.* 3 (2), 1–22.
- Aulanier, M., Man-Estier, E., Lafarge, A., Delvigne, V., Virmont, J., Lepape, J.-M., Egels, Y., Couvreur, M., Liabeuf, R., Raynal, J.-P., 2015. Indices artistiques du paléolithique supérieur en haute vallée de l'Allier. Rapport d'opération programmée. DRAC Auvergne, Rhône Alpes.
- Bailey, G., Galanidou, N., 2009. Caves, palimpsests and dwelling spaces: examples from the Upper Palaeolithic of south-east Europe. *World Archaeol.* 41 (2), 215–241.
- Bamforth, D.B., 1986. Technological efficiency and tool curation. *Am. Antiq.* 51, 38–50.
- Bamforth, D., 1992. Quarries in context: a regional perspective on lithic procurement. In: Arnold, J.E. (Ed.), *Tool Procurement, Production and Distribution in California Prehistory*. Institute of Archaeology, Los Angeles, CA.
- Bamforth, D.B., 2006. The Windy Ridge quartzite quarry: hunter-gatherer mining and hunter-gatherer land use on the North American Continental Divide. *World Archaeol.* 38 (3), 51–527.
- Barkai, R., Gopher, A., 2009. Changing the face of the earth: human behavior at Sede Ilan, an extensive Lower-Middle Paleolithic quarry site in Israel. In: Adams, B., Blades, B.S. (Eds.), *Lithic Materials and Palaeolithic Societies*. Wiley and Blackwell, Oxford.
- Bar-Yosef, O., Van Peer, P., 2009. The chaîne opératoire approach in Middle Paleolithic archaeology. *Curr. Anthropol.* 50 (1), 103–131.
- de Bayle des Hermens, R., 1970. La place du département de la Haute-Loire dans la Préhistoire du Massif central et de ses bordures. *Revue Archéologique du Centre de la France* 35–36, 287–307.
- de Bayle des Hermens, R., 1972. Atlas préhistorique du département de la Haute-Loire. In: Delporte, H. (Ed.), *Compte rendu de la xie session du congrès préhistorique de France, Auvergne, 6–14 juillet 1969*, pp. 71–98. Soc. Prehist. Fr., Paris.
- de Bayle des Hermens, R., 1987. Le moustérien de la grotte du Rond-du-Barry, Polignac, Haute-Loire. *L'Anthropologie* 91, 321–328.
- de Bayle Des Hermens, R., Cremillieux, A., 1966. L'abri préhistorique de Peylenc, commune de St-Pierre-Eynac (Haute-Loire). Note préliminaire. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 63 (1), 208–219.
- de Bayle des Hermens, R., Laborde, A., 1965. Le gisement moustérien de la Baume vallée (Haute-Loire). Étude préliminaire. *Bulletin de la Société préhistorique française* 62 (3), 512–527.
- Beck, C., Taylor, A.K., Jones, G.T., Fadem, C.M., Cook, C.R., Millward, S.A., 2002. Rocks are heavy: transport costs and Palaeolithic quarry behavior in the Great Basin. *J. Anthropol. Archaeol.* 21, 481–507.
- Bertran, P., Lenoble, A., Todisco, D., Desrosiers, P.M., Sørensen, M., 2012. Particle size distribution of lithic assemblages and taphonomy of Palaeolithic sites. *J. Archaeol. Sci.* 39, 3148–3166.
- Bertrand-Roux, J.-M., 1823. Description géognostique des environs du Puy-en-Velay et particulièrement au milieu duquel cette ville est située, Paris. (Levrault L.G.).
- Binford, L.R., 1979. Organization and formation processes: looking at curated technologies. *J. Anthropol. Res.* 35, 255–273.
- Binford, L.R., 1980. Willow smoke and dogs' tails: hunter-gatherer settlement systems and archaeological site formation. *Am. Antiq.* 45, 4–20.
- Bisson, M.S., Nowell, A., Cordova, C., Poupart, M., Ames, C., 2014. Dissecting palimpsests in a Late Lower and Middle Paleolithic flint acquisition site on the Madaba Plateau, Jordan. *Quat. Int.* 331, 74–94.
- Boëda, E., 1993. Le débitage discoïde et le débitage Levallois récurrent centripète. *Bull. Soc. Préhist. Fr.* 90 (6), 392–404.
- Boëda, E., 1994. Le concept Levallois; variabilité des méthodes. CNRS, Paris (CRA Monograph 9).
- Boëda, E., 1995. Levallois; A volumetric reconstruction, methods, a technique. In: Dibble, H.L., Bar Yosef, O. (Eds.), *The Definition and Interpretation of Levallois Technology*. Prehistory Press, Madison, pp. 41–68.
- Boëda, E., Geneste, J.M., Meignen, L., 1990. Identification de chaînes opératoires lithiques du Paléolithique ancien et moyen. *Paléo: Revue d'Archéologie Préhistorique* 2, 43–80.
- Bosselin, B., 1997. Le Protomagdalénien du Blot. Les industries lithiques dans le contexte culturel du Gravettien français. Liège, ERAUL.
- Boule, M., 1892. Description géologique du Velay. Thèse de doctorat. Université de Paris.
- Bout, P., 1953. La grotte de Cottier, près Retournac (Haute-Loire). *Bulletin de la Société préhistorique française* 50 (7–8), 437–443.
- Bouzouggar, A., 1993. Implications technologiques de la gestion différentielle des matières premières lithiques. L'exemple des couches 6 à 12 de Baume-Vallée. Mémoire de DEA. Université de Bordeaux 1.
- Bracco, J.-P., 1995. Déplacements des groupes humains et nature de l'occupation du sol en Velay (Massif central, France) au Paléolithique supérieur: intérêts de la détermination de l'origine des matières premières lithiques. In: Chernokian, R. (Ed.), *L'homme méditerranéen*, pp. 285–292.
- Bracco, J.-P., 1996. Du site au territoire: l'occupation du sol dans les hautes vallées de la Loire et de l'Allier au Paléolithique supérieur (Massif Central). *Gallia Préhistoire* 38, 43–67.
- Bradley, R., 2000. *An Archaeology of Natural Places*. Routledge, London/New York.
- Bradley, R., Edmonds, M.R., 1993. Interpreting the axe trade: production and exchange in Neolithic Britain. In: *New Studies in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Brantingham, P.J., 2006. Measuring forager mobility. *Curr. Anthropol.* 47 (3), 435–459.
- Braun, D.R., Rogers, M.J., Harris, J.W., Walker, S.J., 2008. Landscape-scale variation in hominin tool use: evidence from the developed Oldowan. *J. Hum. Evol.* 55, 1053–1063.
- Brown, K.S., Marean, C.W., Herries, A.I.R., Jacobs, Z., Tribolo, C., Braun, D., Roberts, D.L., Meyer, M.C., Bernatchez, J., 2009. Fire as an engineering tool of early modern humans. *Science* 325, 859–862.
- Brumm, A., 2010. 'The falling sky': symbolic and cosmological associations of the Mt William greenstone axe quarry, central Victoria, Australia. *Camb. Archaeol. J.* 20 (2), 179–196.
- de Brun, P., 1936. Note sur quelques grottes magdalénienne de la haute vallée de l'Allier. *Bulletin de la Société préhistorique française* 33 (9), 521–525.
- Carr, C., 1987. Dissecting intrasite artifact palimpsests using Fourier methods. In: Kent, S. (Ed.), *Method and Theory for Activity Area Research*. Columbia University Press, New York, pp. 236–291.
- Caux, S., 2015. Du territoire d'approvisionnement au territoire culturel: Pétroarchéologie et techno-économie du silex "grain de mil" durant l'Aurignacien dans le Sud-Ouest de la France. Thèse de doctorat. l'université de Bordeaux.
- Cochrane, G.W.G., Webb, J.A., Doelman, T., Habgood, P.J., 2016. Elemental differences: geochemical identification of aboriginal silcrete sources in the Arcadia Valley, eastern Australia. *J. Archaeol. Sci. Rep.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.032>.
- Cordier, G., 1998. L'origine de l'opale résinite utilisée par les Néolithiques des Pays de la Loire: un problème qui s'éclaircit... ou qui se complique? *Revue Archéologique du Centre de la France* 37, 5–12.
- Cremillieux, A., 1972. L'abri Baume-Loire n°1, commune de Solignac-sur-Loire (Haute-Loire). In: Delporte, H. (Ed.), *Compte rendu de la XIXème session du congrès préhistorique de France (Auvergne, 06–14 juillet 1969)*. Société préhistorique de France, Paris, pp. 172–176.
- Cremillieux, A., Aulanier, M., Vidal, A., 1977. Le Néolithique de la Collection Vernet et de la Station de Borne (Haute-Loire). In: *Revue archéologique du Centre de la France*, pp. 281–293. Tome 16, fascicule 3–4.
- Cunha, P.P., 2000. Paleoalterações e cimentações nos depósitos continentais terciários de Portugal central: Importância na interpretação de processos antigos. *Ciências da Terra* 14, 145–154.
- Daugas, J.-P., Raynal, J.-P., 1979. Extension en Auvergne des groupes à céramique à décor «en barbelé» du début du Bronze ancien. *Bulletin de la Société préhistorique française* 76 (6), 184–185.
- Dawson, M.-C., Bernard-Guelle, S., Rué, M., Fernandes, P., 2012. Nouvelles données sur l'exploitation des gîtes de silex au Paléolithique moyen: l'atelier de taille moustérien du Chêne Vert à Dirac (Charente, France). *PALEO* 23, 55–84.
- Delporte, H., 1966. Informations archéologiques. Circonscription d'Auvergne et Limousin. *Gallia Préhistoire* 9 (2), 505–531.
- Delvigne, V., 2016. Géoresources et expressions technoculturelles dans le sud du Massif central: des déterminismes et des choix. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux.
- Delvigne, V., Fernandes, P., Piboule, M., Chomette, D., Defive, E., Lafarge, A., Liabeuf, R., Moncel, M.-H., Wragg Sykes, R., Raynal, J.P., 2016. Circulation du silex barrémo-bédoulien depuis le Paléolithique moyen de Vivarais en Velay par les monts du Mézenc. *Ardeche Archeologie* 33, 11–18.
- Doelman, T., 2005. Quarrying masses of information: an approach to the recording and interpretation of a quarry assemblage. *Archaeol. Ocean.* 40 (2), 50–61.
- Doelman, T., 2008. Time to quarry: the archaeology of stone procurement in north-western New South Wales, Australia. In: *British Archaeological Reports International Series 1801*. Archaeopress, Oxford.
- Doelman, T., Webb, J., Williams, A., May, J., Barry, F., 2015. Paleochannels and patches: a geoarchaeological assessment of silcrete sources in the Cumberland Plain, Eastern Australia. *Geoarchaeology Int. J.* 30, 495–510.
- Dougllass, M.J., Holdaway, S.J., Fanning, P.C., 2017. Selected samples: the nature of silcrete adzes in the formation of Australian stone artefact assemblages. *J. Archaeol. Sci. Rep.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.04.013>.
- Dufau, F., Laborde, A., Bout, P., 1961. La station magdalénienne de Blavozy (Haute-Loire). *Bulletin historique, scientifique, littéraire, artistique et agricole. Société scientifique et agricole de la Haute-Loire* 34, 27–34.
- Elston, R.G., 1992. Archaeological research in the context of cultural resource management: pushing back into the 1990s. *J. Calif. Geol. Basin Anthropol.* 14 (1), 37–48.
- Elston, R.G., 2012. Archaeological Research at Tosawihli Quarries, Nevada. *The Quarry (e-Newsletter of the SAA's Prehistoric Quarries & Interest Group)*. 7. pp. 3–12.
- Ericson, J., 1984. Toward the analysis of lithic production systems. 1984 In: Ericson, J., Purdy, B. (Eds.), *Prehistoric Quarries and Lithic Production*. Cambridge University Press, New York, pp. 1–9.
- Ericson, J., Purdy, B. (Eds.), 1984. *Prehistoric Quarries and Lithic Production*. Cambridge University Press, New York.
- Etlicher, B., De Goër de Hervé, A., 1988. La déglaciation würmienne dans le Massif Central français, le point des travaux récents. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire* 25 (2–3), 103–110.
- Féblot-Augustins, J.J., 1993. Mobility strategies in the Late Middle Palaeolithic of central Europe and western Europe: elements of stability and variability. *J. Anthropol. Archaeol.* 12, 211–265.
- Féblot-Augustins, J.J., 1999. Raw material transport patterns and settlement systems in the European Lower and Middle Palaeolithic: continuity, change and variability. In: Roebroeks, W., Gamble, C. (Eds.), *The Middle Palaeolithic Occupation of Europe*. University of Leiden, Leiden, pp. 193–214.
- Féblot-Augustins, J.J., 2009. Revisiting European Upper Paleolithic raw material

- transfers: the demise of the cultural ecological paradigm? In: Adams, B., Blades, B.S. (Eds.), *Lithic Materials and Paleolithic Societies*. Chichester, Wiley-Blackwell Ltd, pp. 25–46.
- Fernandes, P., 2012. Itinéraires et transformations du silex: une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen. Thèse de doctorat. 1 Université de Bordeaux.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., 2006. Pétroarchéologie du silex: un retour aux sources. *Comptes Rendus Palevol* 5, 829–837.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., 2007. Les matières premières siliceuses (hors roche tenace) du niveau J1 de la grotte Sainte Anne 1 (Polignac, Haute-Loire). In: Raynal, J.-P. (Ed.), *La grotte de Sainte Anne 1. Le paléolithique moyen de l'unité J1*. (Dossier de l'Archéologie 3). Archéo-Logis, Lausanne, pp. 59–98.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., Moncel, M.H., 2006. L'espace minéral au paléolithique moyen dans le Sud du Massif central: premiers résultats pétroarchéologiques. *Compte Rendu Palevol* 5, 981–993.
- Fernandes, P., Le Bourdonnec, F.-X., Raynal, J.-P., Poupeau, G., Piboule, M., Moncel, M.-H., 2007. Origins of prehistoric flints: the neocortex memory revealed by scanning electron microscopy. *Compte Rendu Palevol* 6, 557–568.
- Fernandes, P., Raynal, J.-P., Moncel, M.H., 2008. Middle Palaeolithic raw material gathering territories and human mobility in the southern Massif central, France: first results from a petroarchaeological study on flint. *J. Archaeol. Sci.* 35, 2357–2370.
- Fernandes, P., Delvigne, V., Chomette, D., Defive, E., Lafarge, A., Liabeuf, R., Piboule, M., Tallet, P., Tuffery, C., Wragg Sykes, R., Raynal, J.-P., 2015. Projet collectif de recherche. Rapport d'activité 2015. Réseau de lithothèques en Auvergne. Volume 1 Paléotime, Villard-de-Lans Rapport d'opération.
- Fernandes, P., Binder, D., Bressy-Léandri, C., Caverne, J.-B., Chesnaux, L., Cousseran-Néré, S., Defive, E., Delvigne, V., Gaillot, S., Gibaud, A., Konik, S., Lafarge, A., Langlais, M., Liabeuf, R., Le Bourdonnec, F.-X., Liagre, J., Moncel, M.-H., Morala, A., Moreau, S., Piboule, M., Pinçon, G., Platel, J.-P., Raynal, J.-P., Rostan, P., Rué, M., Tallet, P., Thirault, E., Thiry, M., Tuffery, C., Turq, A., Wragg-Sykes, R., 2016a. Réseau de lithothèques en Auvergne-Rhône-Alpes. Rapport d'opération. Paléotime, Villard-de-Lans.
- Fernandes, P., Tuffery, C., Binder, D., Leandri-Bressy, C., Bracco, J.P., Tallet, P., Morala, A., Turq, A., Davtian, G., Caverne, J.-B., Dalphinnet, D., Delvigne, V., Liagre, J., Gaillot, S., Millet, D., Millet, F., Piboule, M., Picavet, R., Schmidt, P., Tomasso, A., Affolter, J., Bazile, F., Garnier, J.-F., Bintz, P., Pinçon, G., Raynal, J.-P., 2016b. Les formations à silex dans le Sud de la France: élaboration en multipartenariat d'une base de données géoréférencées, premiers résultats. In: Tomasso, A., Binder, D., Martino, G., Porraz, G., Simon, P., Naudinot, N. (Eds.), *Réssources Lithiques, Productions et Transfers entre Alpes et Méditerranée*. Actes de la journée de la Société préhistorique française, Nice 28–29 mars 2013. Société préhistorique française, Paris, pp. 137–150 Edition.
- Feybesse, J.L., Turland, M., Nehlig, P., Alsac, C., Mercier-Batard, F., Perichaud, J.J., Vialaron, C., De Bayle Des Hermens, R., 1998. Notice explicative de la carte géologique de France: feuille Yssingeanx à 1/50000, n° 792. BRGM, Orléans.
- Foley, R.A., Lahar, M.M., 2015. Lithic landscapes: early human impact from stone tool production on the Central Saharan environment. *PLoS ONE* 10 (3), e0116482.
- Frerichmann, U., 1977. Le volcanisme dans les environs de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire). Mémoire de DESS, Université de Clermont-Ferrand, Etude géologique et pétrographique.
- Fuertes Prieto, M.N., Neira-Campos, A., Fernández-Martínez, E., Gómez-Fernández, F., Alonso-Herrero, E., 2014. "Mucientes chert" in the Northern Iberian Plateau (Spain). *J. Lithic Stud.* 1, 117–135.
- Geneste, J.-M., 1988. Systèmes d'approvisionnement en matières premières au Paléolithique moyen et au Paléolithique supérieur en Aquitaine. *L'Homme de Néandertal* 61–70.
- Goldman-Neuman, T., Hovers, E., 2012. Raw material selectivity in late Pliocene Oldowan sites in the Makaamitalu Basin, Hadar, Ethiopia. *J. Hum. Evol.* 62, 353–366.
- Gould, R.A., Sappers, S., 1985. Lithic procurement in central Australia: a closer look at Binford's idea of embeddedness in archaeology. *Am. Antiq.* 50, 117–135.
- Gramley, R.M., 1980. Raw materials and "curated" tool assemblages. *Am. Antiq.* 45, 823–833.
- Harmant, S., Lewis, J.E., Feibel, C.S., Lepre, C.J., Prat, S., Lenoble, A., Boes, X., Quinn, R.L., Brenet, M., Arroyo, A., Taylor, N., Clement, S., Daver, G., Brugal, J.-P., Leakey, L., Mortlock, R.A., Wright, J.D., Lokorodi, S., Kirwa, C., Kent, D.V., Roche, H., 2015. 3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya. *Nature* 521, 310–315.
- Inizan, M.L., Reduron-Ballinger, M., Roche, H., Tixier, J., 1999. Technology and terminology of Knapped Stone. In: *Préhistoire de la pierre taillée 5*, Nanterre, CREP.
- Isaac, G.L., 1984. Archaeology of human origins: studies of the Lower Pleistocene in East Africa 1971–1981. *Adv. World Archaeol.* 3, 1–87.
- Kozłowski, J., 1991. Paleolithic quarry sites. In: White, A., Holen, S. (Eds.), *Raw Material Economies among Prehistoric Hunter-Gatherers*, pp. 7–32 University of Kansas Publications in Anthropology no. 19.
- Lafarge, A., 2014. Entre plaine et montagne: techniques et cultures du Badegoulien du Massif central, de l'Allier au Velay. Thèse de doctorat. Université Montpellier, III - Paul Valéry.
- Lafarge, A., Delvigne, V., Aulanier, M., Chomette, D., Defive, E., Desclaux, E., Fernandes, P., Guadelli, J.-L., Le Pape, J.-M., Liabeuf, R., Piboule, M., Raynal, J.-P., Rémy, D., 2016. La grotte du Rond-du-Barry (Polignac, Haute-Loire). Rapport d'opération programmée. DRAC Auvergne, Rhône Alpes.
- Lenoble, A., 2005. Ruissellement et formation des sites préhistoriques: référentiel actualiste et exemples d'application au fossile. *B.A.R. International Series* n1363 (Oxford).
- Malinsky-Buller, A., Hovers, E., Marder, O., 2011. Making time: 'living floors', 'palimpsests' and site formation processes—a perspective from the open-air Lower Paleolithic site of Revadim Quarry, Israel. *J. Anthropol. Archaeol.* 30 (2), 89–101.
- Marks, A.E., 1988. The curation of stone tools during the Upper Pleistocene: a view from the Central Negev. In: Dibble, H.L., Montet-White, A. (Eds.), *Upper Pleistocene Prehistory of Western Eurasia*. The University Museum, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, pp. 275–286.
- Marks, A., Shokler, J., Zilhao, J., 1991. Raw material usage in the Paleolithic: the effects of local availability on selection and economy. In: Montet-White, A., Holen, S. (Eds.), *Raw Material Economies among Prehistoric Hunter-Gatherers*, pp. 127–140 University of Kansas Publications in Anthropology no. 19.
- Masson, A., 1981. Pétroarchéologie des roches siliceuses, intérêt en Préhistoire. Thèse de doctorat. Université de Lyon.
- McBryde, I., 1984. Kulin greenstone quarries: the social contexts of production and distribution for the Mt William site. *World Archaeol.* 16 (2), 267–285 Mines and Quarries.
- Mergoil, J., Boivin, P., 1993. Le Velay. Son volcanisme et les formations associées. Notice de la carte 1/100000. Géol. France (n°3).
- Mergoil, J., Frerichmann, U., Mergoil, D., 1978. Nouvelle interprétation des tufs phonolithiques de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire, Massif central français), in 4ème Colloque de géomorphologie volcanique, Clermont-Ferrand, 14–15 octobre 1978. Aubière, Clermont-Reproduction, pp. 17–23.
- Milnes, A.R., Thiry, M., 1992. Silcretes. In: Martini, I.P., Chesworth, W. (Eds.), *Weathering, Soils and Palaeosols. Developments in Earth Surface Processes Vol. 2*. Elsevier, Amsterdam, pp. 349–377.
- Moncel, M.-H., Perreuve, V., 1999. Un atelier de taille Moustérien: Le Clos du Charnier à Lagorce (Ardèche, France): quelques remarques sur les modes de débitage. *L'Anthropologie* 103 (3), 471–484.
- Nami, H., this issue. Silcrete as a valuable resource for stone tool manufacture and its use by Paleo-American hunter-gatherers in southeastern South America. *J. Archaeol. Sci. Rep.*
- Nash, D.J., 2011. Desert crusts and rock coatings. In: Thomas, D.S.G. (Ed.), *Arid Zone Geomorphology*, 3rd edition. Blackwell, Oxford, pp. 131–180.
- Nash, D.J., Ulyott, J.S., 2007. Silcrete. In: Nash, D.J., McLaren, S.J. (Eds.), *Geochemical Sediments and Landscapes*. Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 95–143.
- Paton, R., 1994. Speaking through stones: a study from northern Australia. *World Archaeol.* 26 (2), 172–184.
- Pesani, M. (Ed.), 2003. Discoid Lithic Technology. Advances and Implications. *BAR International Series Vol. 1120* Archaeopress, Oxford.
- Petruglia, M.D., LaPorta, P., Paddayya, K., 1999. The first Acheulean quarry in India: stone tool manufacture, biface morphology, and behaviours. *J. Anthropol. Res.* 55, 39–70.
- Petruglia, M.D., Shipton, C., Paddayya, K., 2005. Life and mind in the Acheulean: a case study from India. In: Gamble, C., Porr, M. (Eds.), *The Hominid Individual in Context: Archaeological Investigations of Lower and Middle Palaeolithic Landscapes. Locales and Artefacts* Routledge, London, pp. 197–219.
- Philibert, D., 1982. Le gisement préhistorique de Longtraye (Haute-Loire). Etude de l'outillage. Planches. *Revue archéologique du Centre de la France* 21 (2), 82–98.
- Philibert, D., 1986. Du Paléolithique au Néolithique en Auvergne, Velay et Limousin. Essai d'histoire critique de la notion de Mésolithique. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux 1.
- Piboule, M., Delvigne, V., Raynal, J.-P., Fernandes, P., Lafarge, A., Wragg, Sykes R., 2014. Approche géologique du gisement et origine des opales de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire). In: Raynal, J.-P., Moncel, M.H. (Eds.), *Espaces et subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central. volume 2. pp. 18–30 responsables, 2014 Report. (Sondages sur le gîte-atelier de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire) et son environnement géologique)*.
- Porraz, G., 2010. Regards croisés: la diffusion des jaspes de ligurie orientale (Italie) et l'approvisionnement en matières premières lithiques dans l'abri Pié lombard (Paléolithique moyen, France). In: Conard, N., Delagnes, A. (Eds.), *Settlement Dynamics of the Middle Paleolithic and Middle Stone Age. Volume III*. Kerns Verlag, Tübingen, pp. 283–306.
- Porraz, G., Texier, P.-J., Archer, W., Piboule, M., Rigaud, J.-P., Tribolo, C., 2013. Technological successions in the Middle Stone Age sequence of Diepkloof Rock Shelter, Western Cape, South Africa. *J. Archaeol. Sci.* 40, 3376–3400.
- Primault, J., 2003. Exploitation et diffusion des silex de la région du Grand-Pressigny au Paléolithique. (Thèse de l'Université de Paris 10 Nanterre).
- Raynal, J.-P., 2007. La grotte Sainte-Anne 1. In: *Le Paléolithique moyen de l'unité J1*. Lausanne, Archéologis/CDERAD.
- Raynal, J.-P., Fernandes, P., Le Corre-Le Beux, M., Santagata, C., 2007. Le Paléolithique moyen de Haute-Loire (France): origines, diversité, affinités. In: Desbrosse, R., Thévenin, A. (Eds.), *Arts et cultures de la Préhistoire: hommages à Henri Delporte*. CTHS, Paris, pp. 117–138.
- Raynal, J.-P., Moncel, M.-H., Argant, A., Bailon, S., Banks, W., Béarez, P., Bindon, P., Bocherens, H., Courty, M.-A., Crégut-Bonnoure, E., Daujeard, C., Delvigne, V., Desclaux, E., Ecker, M., Falguères, C., Fernandes, P., Fiore, I., Foury, Y., Gallotti, R., Hardy, B., Lafarge, A., Oriana La Porta, A., Lateur, N., Lepape, J.-M., Liabeuf, R., Loch, J.-L., Alaric Manzano, A., Marq, G., Piboule, M., Richard, M., Roger, T., Rué, M., Santagata, C., Sabrina Save, S., Wang, N., Wragg Sykes, R.M., 2013. Projet Collectif de Recherche: Espaces et subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central. Travaux 2012 et 2013. Rapport d'opération programmée. DRAC Auvergne, Rhône Alpes.
- Raynal, J.-P., Lafarge, A., Remy, D., Delvigne, V., Guadelli, J.-L., Costamagno, S., Le Gall, O., Daujeard, C., Vivent, D., Fernandes, P., Le Corre-Le-Baux, M., Vermet, G., Bazile, F., Lefevre, D., 2014. Datations SMA et nouveaux regards sur l'archéo-séquence du Rond-du-Barry (Polignac, Haute-Loire). *Comptes Rendus Palevol* 13, 623–636.
- Raynal, J.-P., Moncel, M.-H., Argant, A., Aulanier, M., Bahain, J.-J., Bailon, S., Banks, W., Béarez, P., Bernard-Guelle, S., Bindon, P., Blasco, R., Bocherens, H., Brochard, S.,

- Chacon Navarro, G., Chomette, D., Chomette, J., Courty, M.-A., Crégut-Bonnoure, E., Daujeard, C., Defive, E., Defleur, A., Delvigne, V., Desclaux, E., Diaz-Zorita Bonilla, M., Ecker, M., Falguères, C., Fernandes, P., Foury, P., Fiore, L., Gallotti, R., Guadelli, J.-L., Hardy, B., Lafarge, A., Lateu, N., Lebon, M., Le Corre, M., Le Pape, J.-M., Liabeuf, R., Manzano, A., Marçq, G., Moigne, A.-M., Piboule, M., Pons-Branchu, E., Puaud, S., Queffelec, A., Richard, M., Rivals, F., Roger, T., Rue, M., Rufa, A., Santagata, C., Tagliacozzo, A., Tallet, P., Valensi, P., Valladas, H., Vayssié, E., Wragg Sykes, R., 2015. Programme collectif de recherche "Espaces et subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central". Volume I DRAC Auvergne, Rhône Alpes Rapport d'opération programmée.
- Reher, C., 1991. Large-scale lithic quarries and regional transport systems. In: White, A., Holen, S. (Eds.), *Raw Material Economies among Prehistoric Hunter-Gatherers*. Vol. 19, pp. 251–284 University of Kansas, Publications in Anthropology.
- Reille, M., de Beaulieu, J.-L., 1988. History of the Würm and Holocene vegetation in western Velay (Massif central, France): a comparison of pollen analysis from three corings at lac du Bouchet. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 54, 233–248.
- Reille, M., De Beaulieu, J.-L., Svobodova, H., Andrieu-Ponel, V., Goeury, C., 2000. Pollen analytical biostratigraphy of the last five climatic cycles from a long continental sequence from the Velay region (Massif Central, France). *J. Quat. Sci.* 15 (7), 665–685.
- Remy, D., 2013. Caractérisation techno-économique d'industries en bois de cervidés du Badegoulien et du Magdalénien. In: *Le cas du Rond-du-Barry (Haute-Loire) et de Rochereil (Dordogne)*. Université Montpellier III - Paul Valéry, Montpellier.
- Santagata, C., 2012. L'utilisation de roches autres que le silex au Paléolithique ancien et moyen: choix économiques, techniques et fonctionnels sur la base de l'étude des gisements de Sainte-Anne 1 (Haute-Loire, France) (MIS 5 et 6) et Notarchirico (Basilicata, Italie) (MIS 14 à 17). Thèse de doctorat. Université de Bordeaux I.
- Schmidt, P., February, E., Bretzke, K., Bellot-Gurlet, L., this issue. *Tempering-residue on heat-treated silcrete: an experimental perspective and a potential analytical protocol*. *J. Archaeol. Sci. Rep.*
- Séguy, R., Séguy, J.M., 1972. Le gisement de Sainte-Anne II. In: Delporte, H. (Ed.), *Compte rendu de la xix session du congrès préhistorique de France, Auvergne, 6–14 juillet 1969*. Société Préhistorique Française, Paris, pp. 338–340.
- Simonnet, R., 1999. De la géologie à la Préhistoire: le silex des Prépyrénaïens. Résultats et réflexions sur les perspectives et les limites de l'étude des matières premières lithiques. *Paléo* 11, 71–88.
- Skarpelis, N., Carter, T., Contreras, D.A., Mihailović, D.D., 2017. Characterization of the siliceous rocks at Stélida, an early prehistoric lithic quarry (Northwest Naxos, Greece), by petrography and geochemistry: a first step towards chert sourcing. *J. Arch. Sci. Rep.* 12, 819–833. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.015>.
- de Sonneville-Bordes, D., 1961. L'industrie magdalénienne de l'abri sous roche de Blavozy. *Bulletin historique, scientifique, littéraire, artistique et agricole. Société scientifique et agricole de la Haute-Loire* 39, 10–16.
- de Sonneville-Bordes, D., 1962. L'industrie magdalénienne de l'abri sous roche de Blavozy. *l'Anthropologie* 67, 368–369.
- Summerfield, M.A., 1983. Petrography and diagenesis of silcrete from the Kalahari Basin and Cape Coastal Zone, southern Africa. *J. Sediment. Petrol.* 53, 895–909.
- Surmely, F., 2000. Le peuplement magdalénien de l'Auvergne. *Mémoires de la Société préhistorique française* no 28. In: *Actes du Congrès de la Table Ronde de Chambéry* No 5. SPF, Paris, pp. 165–175.
- Surmely, F., Pasty, J.F., 2003. L'importation de silex en Auvergne durant la Préhistoire. In: *Actes de la Table ronde internationale d'Aurillac «les matières premières lithiques en préhistoire»*, Aurillac, 20–22 juin 2002, *Préhistoire du Sud-Ouest*, pp. 327–342 supplément no 5.
- Surmely, F., Barrier, P., Bracco, J.P., Charly, N., Liabeuf, R., 1998. Caractérisation des matières premières siliceuses par l'étude des microfaciès et application à la connaissance du peuplement préhistorique de l'Auvergne. *Compte Rendue Académie Sciences Paris Ila* 326, 595–601.
- Taçon, P.S.C., 1991. The power of stone: symbolic aspects of stone use and tool development in western Arnhem Land, Australia. *Antiquity* 65 (247), 192–207.
- Thiry, M., Millot, G., 1987. Mineralogical forms of silica and their sequence of formation in silcretes. *J. Sediment. Petrol.* 57, 343–352.
- Thiry, M., Milnes, A., 2017. Silcretes: insights into the occurrences and formation of materials sourced for stone tool making. *J. Archaeol. Sci. Rep.* (this issue).
- Topping, P., Lynott, M. (Eds.), 2005. *The Cultural Landscape of Prehistoric Mines*. Oxbow, Oxford.
- Torrence, R., 1986. *Production and Exchange of Stone Tools*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Torrence, R. (Ed.), 1989. *Time, Energy, and Stone Tools*. University of Cambridge Press, Cambridge.
- Torti, C., 1980. Recherches sur l'implantation humaine en Limagne au Paléolithique moyen et supérieur. Thèse de doctorat. 1 Université Bordeaux.
- Torti-Zannoli, C., 1983. Quelques données sur les sources et l'utilisation des matières premières dans le Massif central. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*. 80 (8), 226–227.
- Torti-Zannoli, C., 1985. Les matières premières lithiques du Magdalénien ancien et terminal de la grotte du Rond-du-Barry (Haute-Loire). *Revue archéologique du Centre de la France* 24 (2), 135–143.
- Tournaire, L.M., 1871. Note sur la constitution géologique de la Haute-Loire. Réunion extraordinaire de la Société Géologique de France 26, 1106.
- Tripcevich, N., Contreras, D.A., 2013. Archaeological approaches to obsidian quarries: investigations at the quisipisa source. In: Tripcevich, N., Contreras, D.A. (Eds.), *Mining and Quarrying in the Ancient Andes*. Springer, New York, pp. 23–44.
- Turq, A., 2005. Réflexions méthodologiques sur les études de matières premières lithiques. 1 – Des lithothèques au matériel archéologique. *Paléo* 17, 111–132.
- Turq, A., Roebroeks, W., Bourguignon, L., Faivre, J.-Ph., 2013. The fragmented character of Middle Palaeolithic stone tool technology. *J. Hum. Evol.* 65 (5), 641–655.
- Vayssié, E., Delvigne, V., Faivre, J.-Ph., Fernandes, P., Turq, A., Raynal, J.-P. (in press). *Techno-économie et signification culturelle de l'occupation moustérienne supérieure de Baume-Vallée (Haute-Loire)*. *Comptes Rendus Palevol*.
- Virmont, J., 1972. La grotte de Cottier à Retournac (Haute-Loire). Note préliminaire. In: Delporte, H. (Ed.), *Compte rendu de la XIXème session du congrès préhistorique de France (Auvergne, 06–14 juillet 1969)*. Société préhistorique de France, Paris, pp. 355–357.
- Virmont, J., 1981. Le Bassin de l'Allier au Paléolithique supérieur. Industrie et phases de peuplement. Thèse de troisième cycle. Université Aix-Marseille.
- Virmont, F., Virmont, J., 1973. La grotte de Cottier à Retournac (Haute-Loire). Etude préliminaire. *Revue archéologique du Centre de la France* 12 (1–2), 51–62.
- Virmont, J., Guerin, Y., Daugas, J.-P., Laborde, A., Quinqueton, A., 1972. Tatin et les gisements des environs de Chanteuges. *Revue archéologique du Centre de la France* 11 (3–4), 222–247.
- Watson, A., Nash, D.J., 1997. Desert crusts and varnishes. In: Thomas, D.S.G. (Ed.), *Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 69–107.
- Webb, J.A., Domanski, M., 2008. The relationship between lithology, flaking properties and artefact manufacture for Australian silcretes. *Archaeometry* 50, 555–575.
- Webb, J.A., Finlayson, B.L., Cochrane, G., Doelman, T., Domanski, M., 2013. Silcrete quarries and artefact manufacture in the Central Queensland highlands, eastern Australia. *Archaeol. Ocean.* 48, 130–140.
- Werth, F., 1991. L'opale résinite de Saint-Pierre-Eynac, son contexte géologique et sa paléo-économie Mémoire de DEA. Université d'Aix-Marseille.
- Werth, F., 1992a. Définition des caractères physico-chimique d'une roche siliceuse, l'opale résinite de St pierre Eynac (Haute Loire, France). *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 89 (2), 34–36.
- Werth, F., 1992b. L'opale résinite de Saint-Pierre-Eynac (Massif central, France): contexte géologique et intérêts pour l'étude des matières premières lithiques. *Préhistoire et Anthropologie Méditerranéennes* 55–59.
- Will, M., Mackay, A., 2016. What factors govern the procurement and use of silcrete during the Stone Age of South Africa. *J. Archaeol. Sci. Rep.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.046>.
- Will, M., Parkington, J.E., Kandel, A.W., Conard, N.J., 2013. Coastal adaptations and the Middle Stone Age lithic assemblages from Hoedjiespunt 1 in the Western Cape, South Africa. *J. Hum. Evol.* 64, 518–537.
- Wragg Sykes, R.M., Chomette, D., Defive, E., Delvigne, V., Lafarge, A., Fernandes, P., Piboule, M., Liabeuf, R., Raynal, J.P., 2015. Programme collectif de recherche "Espaces et subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central", 2014. In: *Volume 2: sondages sur le gîte-atelier de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire) et son environnement géologique*. DRAC Auvergne, Rhône Alpes Rapport d'opération programmée.

Bibliographie

CHAPITRE 1. PRÉSENTATION DE L'OPÉRATION

BORDES, F., de SONNEVILLES-BORDES, D. (1954) - Présence probable de jaspe de Fontmaure dans l'Aurignacien V de Laugerie-haute. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 51 (1), 67-68.

BOULE, M. (1892) - *Description géologique du Velay*. Thèse de la faculté des Sciences de Paris, 261 p.

BRESSY, C. (2002) – *Caractérisation et gestion du silex des sites mésolithiques et néolithiques du Nord- Ouest de l'arc alpin. Une approche pétrographique et géochimique*. Thèse de doctorat, Université Aix- Marseille I, 677 p.

BURKE, A.-L. (2008) - L'économie des matières premières en Estrie : la perspective géoarchéologique, Entre lacs et montagne au Méganticois, 12000 ans d'histoire Amérindienne, *Paléo Québec*, 249-269.

de CHASTAGNIER, A. (1868) - *l'Age de Pierre dans les Landes de la Gironde, découverte des ateliers de fabrication des pointes de flèches et de l'origine du silex employé*. DIDIER (Éd.), 7 p.

DALPHINET, D. (2014) - *Pour une présentation dynamique des formations à silex*. Mémoire de diplôme d'ingénieur du CNAM.

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*, LXI, séances du 21 et 28 août 1865, 1-13.

DELVIGNE, V. (2016) - *Géoressources et expressions technoculturelles dans le sud du Massif central au*

Paléolithique supérieur : des déterminismes et des choix. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 1297 p.

FERNANDES, P. (2006) – *Pétoarchéologie des matériaux siliceux utilisés au paléolithique moyen dans le sud du Massif central : méthodologie et résultats préliminaires*. Mémoire de diplôme de l'Écoles des hautes études en sciences sociales, Écoles des hautes études en sciences sociales de Toulouse.

FERNANDES, P. (2012) – *Itinéraires et transformations du silex : une pétoarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 2 volumes, 623 p.

FERNANDES, P., RAYNAL, J.-P. (2006) – Pétoarchéologie du silex : un retour aux sources. *Comptes rendus Palevol*, 5, 829-837.

FERNANDES, P., DELVIGNE, V., DUBERNET, S., LE BOURDONNEC, F.- X., MORALA, A., MOREAU, L., PIBOULE, M., TURQ, A., RAYNAL, J.-P. (soumis). Flint studies revisited: the "chaîne évolutive" concept. In: H. Collet, A. Hauzeur et F. Bostyn (Dir.) Reports of the 7th international conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric times. Mons and Spieenne (Belgique), september 2016. Namur : SPW (Ed.) (Études & Documents Archéologie)

LARTET, E., CHRISTY, H. (1864) - Cavernes du Périgord. Grotte de Combe-Grenal, *Revue Archéologique* 1, p. 233-267.

MASSON, A. (1981) – *Pétoarchéologie des roches siliceuses, intérêt en Préhistoire*. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 101 p.

SANCHEZ DE LA TORRE, M., LE BOURNONEC, F.-X., GRATUZE, B., DOMINGO, R., GARCIA-SIMON, L.-M., MONTES, L., MAZO, C., UTRILLA, P. (2017) - Applying ED6XRF and LA-ICP-MS to geochemically characterize chert. The case of the Central-Eastern Pre-Pyrenean lacustrine cherts and their presence in the Magdalenian of NE Iberia. *JAS reports*, 13, 88-98.

SÉRONIE-VIVIEN, M., SÉRONIE-VIVIEN, M.-R. (1987) - *Les silex du Mésozoïque nord-aquitain : approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique*. Bordeaux : Société linnéenne de Bordeaux (Ed.), 135 p.

SIEVEKING, G. de G., BUSH, P., FERGUSSON, J., CRADDOCK, P.T., HUGHES, M.J., COWELL, M.R. (1972) - Prehistoric flint mines and their identification as sources of raw material. *Archaeometry*, 14 (2), 151-176.

STELCL, J., MALINA, J. (1970) - Anwendung der Petrographie in der Archäologie. *Folia facultatis scientiarum naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis Geologia*, 11(20), 5-111.

THIRY, M., FERNANDES, P., MILNES, A., RAYNAL, J.-P. (2014) - Driving forces for the weathering and alteration of silica in the regolith: implications for studies of prehistoric flint tools. *Earth Science Reviews*, 136, 141-154.

TOMASSO, A. (2014) - *Territoire, système de mobilité et système de production. La fin du Paléolithique supérieur dans l'arc liguro-provençal*. Thèse de doctorat, Université de Nice Sophia-Antipolis et Università di Pisa, 1069 p.

VINAY H. (1867) - Découverte de coquilles marine fossiles dans un gisement de sables et galets à l'Herm, près Le Monastier (Haute-Loire). *Société Académique du Puy-en-velay*, tome XXVIII, 193-194 et 341-348.

CHAPITRE 2. BILAN D'ACTIVITÉ

Chapitre 2.1.1. Prospections dans la vallée du Furon (...)

ROBBE, J. (2014) - Circulations et occupations préhistoriques et protohistoriques dans la vallée du Furon. Bilan du programme de prospection 2011-2013. In : P.-Y. Nicod et R. Picavet (dir.), *Fouille archéologique de la Grande Rivoire à Sassenage (Isère)*. Rapport d'opération. DRAC Rhône-Alpes. pp. 35-47. Diffusion restreinte.

Chapitre 2.1.2. Matériaux siliceux de quatre sites ateliers du Bourbonnais (...)

BERTRAND-SARFATI J., FREYTET P., PLAZIAT J.C. (1966) - Les calcaires concrétionnés de la limite Oligocène-Miocène des environs de Saint-Pourçain-sur-Sioule (Limagne d'Allier) : rôle des algues dans leur édification ; analogie avec les stromatolites et rapport à la sédimentation. *Bulletin de la Société géologique de France*. 7^{ème} série, 8 (5), 652-662.

CONRAD G. (1969) - *L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien (Saoura, Erg Chech-Tanezrouft, Anhet-Mouydir)*. Paris : CNRS (Ed.), 528 p.

DELVIGNE, V., PIBOULE, M., FERNANDES, P., LAFARGE, A., PRIMAULT, J., AUBRY, T., MANGADO, X., RAYNAL, J.-P. (sous presse). Principales matières premières lithiques disponibles au Paléolithique entre le Bassin parisien et l'Auvergne : partie 2 - Loir-et-Cher, Indre-et-Loire. Le cas du Turonien inférieur et supérieur. In : O. Troubat (Dir.) *Préhistoire de la France centrale*. Actualité de la recherche, actes du colloque interrégional de Montluçon (19 Novembre 2016, Montluçon). Cercle d'archéologie de Montluçon et de la région (Ed.) : Montluçon, pp. 25-46. (Etudes archéologiques 18).

DESCHAMPS M. (1963) - Les faciès du Bouchat (*Feuille de Montluçon*). *Revue Scientifique du Bourbonnais*, 64-71.

DESCHAMPS, M. (1973) - *Étude géologique du Sidérolithique du Nord-Est du centre du Massif central français et des terrains qui lui sont associés*. Thèse de doctorat, Université de Paris VI, 1270 p.

FREYTET, P., TOUTIN-MORIN, N., BROUTIN, J., DEBRIETTE, P., DURAND, M., EL WARTITI, M., GAND, G., KERP, H., ORSZAG, F., PAQUETTE, Y., RONCHI, A., SARFATI, J. (1999) - Paleoecology of non marine algae and stromatolites: Permian of France and adjacent countries. *Annales de Paléontologie*, 85 (2), 99-153.

FREYTET P., BROUTIN J., DURAND M. (2000) - Distribution and paleoecology of freshwater algae and stromatolites : III some new forms the Carboniferous, Permian and Triassic of France and Spain. *Annales de Paléontologie*, 86 (4), 195-241.

LAUNAY, L., de (1888) - Etude sur le terrain permien de l'Allier. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 16 (4), 298-396.

LEGRAND P., DEBRIETTE P. (2007) - Les stromatolites de l'autunien (Permien inférieur) de Souvigny (Allier, Massif central, France). *Annales de la Société Géologique du Nord*, 4, 43-53.

MARCOUX E., LE BERRE P., COCHERIE A. (2004) - The Meillers autunien hydrothermal chalcedony : first evidence of a similar to 295 Ma auriferous epithermal sinter in the French Massif Central. *Ore Geological Reviews*, 25, 69-87.

PIBOULE, M., DELVIGNE, V., FERNANDES, P., LAFARGE, A., RAYNAL, J.-P. (sous presse) - Principales matières premières lithiques disponibles au Paléolithique entre Bassin Parisien et l'Auvergne : partie 1 - Allier, Cher et Indre . Grandes variétés des matériaux et leurs transits au Paléolithique ancien et moyen. In : O. Troubat (Dir.) *Préhistoire de la France centrale*. Actualité de la recherche, actes du colloque interrégional de Montluçon (19 Novembre 2016, Montluçon). Cercle d'archéologie de Montluçon et de la région (Ed.) : Montluçon, pp. 9-25. (Etudes archéologiques 18).

TAYLOR G., EGGLETON R.A. (2017) – Silcrete : an Australian perspective. *Australian Journal of Earth Sciences*, 64, 1-30.

THIRY M., MILNES A.R. (1991) - Pedogenetic and groundwater silcretes at Stuart Creek Opal fields. *South Australian Journal of Sedimentary Petroleum*, 61, 111-127.

THIRY, M., MILNES, A.R., RAYOT, V., SIMON-COINÇON, R. (2006)- Interpretation of paleoweathering features and successive silicifications in the Tertiary regolith of inland Australia. *Journal of Geological Society of London*, 163, 723-736.

TURLAND, M. (1990) - *Notice de la carte géologique de Bourbon-L'Archambault (n° 597) au 1/50000^{ème}*. Orléans : BRGM (Ed.), 82 p.

TURLAND, M., HOTTIN, A.M., FEYS, R. (1989) - *Notice explicative de la carte géologique de Montluçon (n° 619) au 1/50000^{ème}*. Orléans : BRGM (Ed.), 116 p.

TURLAND, M., HOTTIN, A.M., COJEAN, R., DUCREUX, J.L., DEBEGLIA, N., D'ARCY, D., MATHIS, V., CARROUE, J.P., PIBOULE, M. (1990) - *Notice explicative de la carte géologique de Hérisson (n° 596) au 1/50000^{ème}*. Orléans : BRGM (Ed.), 118 p.

TURLAND M., GENTILHOMME P., DUTHOU J.L., D'ARCY D., CARROUE J.P., DEBEGLIA N. (1991) - *Notice explicative de la carte géologique de Montmarault (n° 620) au 1/50000^{ème}*. Orléans : BRGM (Ed.), 114 p.

Chapitre 2.1.4. Inventaire des lithothèques régionales (...)

BRESSY, C. (2002) – *Caractérisation et gestion du silex des sites mésolithiques et néolithiques du Nord- Ouest de l'arc alpin. Une approche pétrographique et géochimique*. Thèse de doctorat, Université Aix- Marseille I, 677 p.

GRÜNWARD C., AFFOLTER J. (1995) - Les ressources en matière première siliceuse dans le Vercors. In : *Épipaléolithique et Mésolithique en Europe*, livret-guide de l'excursion Préhistoire et Quaternaire en Vercors du V^e congrès international UISPP, XII commission, pp. 41-43.

RICHE, C. (1998) – *Les ateliers de silex de Vassieux. Exploitation des gîtes et diffusion des produits*. Thèse de 3^{ème} Cycle, Université Paris X - Nanterre, 476 p.

STOUVENOT C. (1997) - Cartes paléogéographiques des formations silicifères, stations échantillonnées sur les gîtes à silex, types pétrographiques présents sur le site de Vitrolles et descriptions de lames minces. In : J. Gagnepain, J.P. Bracco, P. Bidart, S. Vigier S. (Dir.), *Saint-Antoine à Vitrolles : un site de plein-air du Paléolithique supérieur final*. Document final de synthèse de fouille de sauvetage, Service régional de l'Archéologie PACA. Diffusion restreinte.

Chapitre 2.1.5. Constitution et publication d'un atlas des types marqueurs (...)

FERNANDES, P., RAYNAL, J.-P. (2006) – *Pétraarchéologie du silex : un retour aux sources*. *Comptes rendus Palevol*, 5, 829-837.

FOLK, R.L. (1962) – Spectral subdivision of limestone types. In : Ham W.E. (Dir.), *Classification of carbonate rocks – A symposium*. Tulsa : American Association of petroleum geologists (Ed.), pp. 62-84.

KRUMBEIN, W.C. et SLOSS, L.L. (1963) – *Stratigraphy and Sedimentation. Second edition*. San Fransisco : Gilluly, J. & Woodford, A.O. (Ed.), 660p.

Chapitre 2.2. Axe 2 : caractérisation des silex (...)

AUBRY, M.P., DEWOLF, Y., MUXART, T. (1975) – Altération des silex de la craie, étude expérimentale, première observation. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 280 D, 1509-1512.

FERNANDES, P. (2012) – *Itinéraires et transformations du silex : une pétraarchéologie*

refondée, application au Paléolithique moyen. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 2 volumes, 623 p.

GLAUBERMAN, P.J. et THORSON, R.M. (2012) – Flint Patina as an Aspect of “Flaked Stone Taphonomy”: A Case Study from the Loess Terrain of the Netherlands and Belgium. *Journal of taphonomy*, 10 (1), 21-43.

HUE, E. (1929) – Recherches sur la patine des silex. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 26 (9), 461-468.

THIRY, M. (1981) – *Sédimentation continentale et altérations associées : Calcifications, ferruginisations et silicifications. Les argiles plastiques du Sparnacien du Bassin de Paris.* Thèse d'état, Université de Strasbourg, 173 p.

VILAS BOAS, G. (1975) – *L'altération des accidents siliceux, silex et chailles dans les formations paléogènes du Bassin de Paris.* Thèse de 3ème Cycle, Université de Strasbourg, 110 p.

Chapitre 2.3. Axe 3 : développement fiches d'inventaire (...)

FERNANDES, P. (2012) – *Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 2 volumes, 623 p.

Wilensky, U. (1999) - NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. NetLogo est distribué sous la licence Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License

Wilensky, U. (2006) - NetLogo Grand Canyon model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/GrandCanyon>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL

Chapitre 2.4.1. Matériel lithique de la station d'altitude de Alp2

BRESSY, C. (2002) – *Caractérisation et gestion du silex des sites mésolithiques et néolithiques du Nord- Ouest de l'arc alpin. Une approche pétrographique et géochimique.* Thèse de doctorat, Université Aix- Marseille I, 677 p.

COUSSERAN, S. (1998) – Détermination des gîtes de provenance des quartz archéologiques :

premiers résultats obtenus par l'étude des inclusions fluides. In : P. Bintz (dir.), *Les sites archéologiques de l'Aulp du Seuil à Saint-Bernard-du-Touvet (Chartreuse, Isère)*, L'abri-sous-bloc n° 1. Rapport scientifique 1998, L'abri-sous-bloc n° 2. Rapport scientifique 1998. DRAC Rhône-Alpes. Diffusion restreinte.

FERNANDES, P., TALLET, P., LÉANDRI-BRESSY, C., LIAGRE, J., GAILLOT, S., DESSAINT P., TUFFERRY, C., CAVERNE, J.-B., MORIN, A., PICAVET R., V. DELVIGNE, V., RAYNAL, J.P., AFFOLTER, J., RENAULT, S., DOUSSE, M., LAFARGE, A., PIBOULE, M. (2012) - *Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes.* Rapport d'opération. DRAC Rhône-Alpes. Diffusion restreinte.

ROBBE, J. (2016) – *L'abris sous bloc de Alp2 de l'Aulp du Seuil (St Bernard du Touvet, Chartreuse, Isère). Étude typotechnologique des industries lithiques.* Mémoire de diplôme de l'EHESS, Toulouse, 192p.

Chapitre 2.4.3. Étude pétroarchéologique d'une série de silex du site des Baigneurs (...)

AFFOLTER, J. (2001) - Séminaire sur le silex du Grand-Pressigny (27-28 avril 2000). *Bulletin des Amis du Musée de Préhistoire du Grand-Pressigny*, 52, 18-20.

AUBRY, T. (1991) - *L'exploitation des ressources en matières premières lithiques dans les gisements solutréens et badegouliens du bassin versant de la Creuse (France).* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux-1, 327 p.

BARBIER, M. (1996) - *Caractérisation des silex urgoniens dans la région du Vaucluse. Rapport de stage de recherche.* DESS « Méthodes scientifiques et techniques en Archéologie », Université de Bourgogne, Centre des sciences de la terre et EPHE.

BINDER, D. (1997) - Silex blond et complexité des assemblages lithiques dans le Néolithique liguro-provençal. In : A. D'Anna et D. Binder (dir.), *Production et identité culturelle : actualité de la recherche : Rencontres méridionales de préhistoire récente*, actes de la deuxième session, Arles (Bouches-du-Rhône) (8 et 9 novembre 1996). Juan-les-Pins : APDCA (Ed.), pp. 111-128.

BINTZ, P., GRÜNWARD, C. (1990) - Mésolithique et néolithisation en Chartreuse et en Vercors (Alpes du Nord) : Évolution culturelle et économie du silex. In : *Contributions to the Mesolithic in Europe.* Papers presented at the 4ème International Symposium, The Mesolithic in Europe, Leuven, 1990. Leuven : Leuven University Press (Ed.), pp. 205-208.

- BOCQUET, A. (1974) - Les poignards néolithiques de Charavines (Isère) dans le cadre de la Civilisation Saône-Rhône. *Études Préhistoriques*, 9, 7-17.
- BOCQUET, A. (2010). *Les villages néolithiques de Charavines, Isère. Les données archéologiques*. Grenoble : non publié, 42 p.
- BRESSY, C. (2002). *Caractérisation et gestion du silex des sites mésolithiques et néolithiques du Nord- Ouest de l'arc alpin. Une approche pétrographique et géochimique*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille I, 677 p.
- CAMPANAN., MAGGIR. (2002). *Archeologia in Valle Lagorara : 10 000 anni di storia intorno a una cava di diaspro*. Firenze : Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Ed.), 400 p.
- DELVIGNE V., (2016) - *Géoressources et expressions technoculturelles dans le sud du Massif central au Paléolithique supérieur : des déterminismes et des choix*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 1287 p.
- FERNANDES, P. (2012) - *Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 623 p.
- FERNANDES, P., BINDER, D., CAVERNE, J.-B., DALPHINET, D., DELAGE, C., DELVIGNE, V., DESSAINT, P., GAILLOT, S., GARCIA-ANTON, M.-D., LEANDRI, C., LIABEUF, R., LIAGRE, J., MORALA, A., MEVEL, L., PIBOULE, M., PLATEL, J.-P., RAYNAL, J.-P., SCHMIDT, P., TALLET, P., THIRAUT, E., TOMASSO, A., TUFFERY, C., TURQ, A. (2015). *Projet Collectif de Recherche «Réseau de Lithothèques en Rhône-Alpes»*. Rapport d'opération. DRAC Rhône-Alpes. Diffusion restreinte.
- GESLER, A. (2005) - *Les villages néolithiques de Charavines, Isère. Le silex*. Grenoble : non publié, 277 p.
- GIOT, D., MALLET, N., MILLET, D. (1986) - Les silex de la région du Grand-Pressigny (Indre-et-Loire). Recherche géologique et analyse pétrographique. *Revue Archéologique du Centre de la France*, 25 (1), 21-36.
- MALLET, N. (1992) - *Le Grand Pressigny. Ses relations avec la Civilisation Saône-Rhône*. Tours : CTHS, 228 p.
- MALLET, N., IHUEL, E., VERJUX, C. (2008) - La diffusion des silex du Grand-Pressigny au sein des groupes culturels des IV^{ème} et III^{ème} millénaires avant J.-C. In : M.H. Dias-Meirinho (dir.), *les industries lithiques taillées des IV^{ème} et III^{ème} millénaires en Europe occidentale*. Oxford : Archeopress (Ed.), pp. 183-206.
- MASSON, A. (1981) - *Pétroarchéologie des roches siliceuses, intérêt en Préhistoire*. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 101 p.
- NEGRINO, F., STARNINI, E. (2010) - Dinamiche di sfruttamento e circolazione delle materie prime silicee per l'industrialità scheggiata. In G. Odettidir. (Dir.), *L'Uomo e la terra ligure : la trasformazione e l'adeguamento delle popolazioni umane al territorio della Liguria nel corso dei millenni : atti della tavola rotonda* (Genova, 10-11 febbraio 2005). Genova : Università di studi di Genova - Facoltà di Lettere e Filosofia (Ed.), pp. 21-34.
- PRIMAULT, J. (2003) - *Exploitation et diffusion des silex de la région du Grand-Pressigny au Paléolithique*. Thèse de doctorat, Université Paris X - Nanterre, 362 p.
- REMICOURT, M. (2015) - *Étude des industries lithiques taillées du lac d'Aiguebelette en Savoie : Beau-Phare 1, Le Gojat, Petite Ile, Grande Ile et Les Roseaux*. Rapport d'étude. Conseil Départemental de Savoie. Diffusion restreinte.
- TOMASSO, A. (2014) - *Territoire, système de mobilité et système de production. La fin du Paléolithique supérieur dans l'arc liguro-provençal*. Thèse de doctorat, Université de Nice Sophia-Antipolis et Università di Pisa, 1069 p.
- TOMASSO, A., BINDER, D., FERNANDES, P., MILLOT, J., LÉA, V. (2017) - The Urganian "honey flint" from Provence (France): the intra-formation variability and its exploitation in petro-archaeological investigations. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1-17.

Chapitre 2.4.4. Pétrographie, technologie, quels enjeux pour le Néolithique moyen (...)

BEECHING, A. (1989) – Un essai d'archéologie spatiale : les sites néolithiques à limitation naturelle ou aménagée dans le bassin du Rhône moyen. In : A. d'Anna et X. Gutherz (dir.). *Enceintes, habitats ceinturés, sites perchés du Néolithique au Bronze ancien dans le Sud de la France et les régions voisines* : actes de la table ronde de Lattes et Aix-en-Provence (15-18 avril 1987). Aix-en-Provence : Association pour le développement de l'archéologie en PACA (Ed.) ; Montpellier : Société languedocienne de Préhistoire (Ed.), pp. 143-163. (Mémoire de la Société languedocienne de préhistoire ; 2).

- BEECHING, A. (1991) – Sépultures, territoire et société dans le Chasséen méridional. L'exemple du bassin rhodanien. In : A. Beeching, D. Binder et J.C. Blanchet (Eds.), *Identité du Chasséen*, Actes du Colloque International de Nemours, 1989. Nemours : Mémoires du Musée de Préhistoire d'Ile de France (ed.), pp. 327-341.
- BEECHING, A. (2003) – Organisation spatiale et symbolique du rituel funéraire chasséen en moyenne vallée du Rhône : première approche. In : P. Chambon et J. Leclerc (dir.), *Les pratiques funéraires néolithiques avant 3500 av. J.-C. en France et dans les régions limitrophes* : table ronde SPF, Saint-Germain-en-Laye 15-17 juin 2001. Paris : Société préhistorique française (ed.), pp. 231-239. (Mémoires de la Société préhistorique française ; 33).
- BEECHING, A. (2005) – *Circulations et identités culturelles alpines à la fin de la Préhistoire-Matériaux pour une étude*. Valence : Centre d'Archéologie préhistorique de Valence (Ed.), 569 p. (Travaux du Centre d'Archéologie Préhistorique de Valence n°2).
- BEECHING, A., BROCHIER, J.L. (1989a) – Archéologie spatiale entre Rhône et Alpes du Sud, l'exemple du Néolithique chasséen. *Bulletin du Centre genevois d'anthropologie*, 2, 57-70.
- BEECHING A., BROCHIER J.L. (1989b) – *Territoire chasséen en Vallée du Rhône (à suivre)*. Pour une méthode d'Archéologie spatiale. Rapport final du Programme Pluriannuel en Sciences Humaines Rhône-Alpes. Valence : Centre d'archéologie préhistorique de Valence. (Ed.), 48 p.
- BEECHING, A., BROCHIER, J.L. (2011) – De l'environnement au territoire néolithiques dans le bassin rhodanien. In : G. Kourteessi-Philippakis G. et R. Treuil (dir.), *Archéologie du territoire, de l'Egée au Sahara*. Paris : Publications de la Sorbonne (Ed.), pp. 137-153 (Cahiers archéologiques de Paris I, 2)
- BEECHING, A., BERGER, J.-F., BROCHIER, J.L. (1994) – Exploitation et utilisation des matières premières lithiques dans les bassins du Roubion et de la Drôme : premiers constats. In : A. Beeching et J.L. Brochier (dir.), *Archéologie spatiale en vallée du Rhône. Espaces parcourus/territoires exploités. Le groupe néolithique et son territoire*. Rapport d'ATP Grands projets en Archéologie métropolitaine, CAP Valence. Diffusion restreinte.
- BEECHING, A., BALASSE, M., BREHARD, BRISOTTO, V., BROCHIER, J.L., COLLETER, R., CORDIER, F., CRUBEZY, E., DEPARNAY, X., FERBER, F., LEA, V., T. PRICE, D., SANTALLIER, D., THIEBAULT, S., THIRAUULT, E., VERA, R. (2006) – *Le site des Moulins à Saint-Paul-Trois-Châteaux (Drôme). Le site du Gournier à Montélimar et Châteauneuf-du-Rhône (Drôme) : La Roberte et Fortuneau (fouilles 1989-93 et 2006)*. Rapport de fin de 2^{ème} année (2005-2006). ACR Les grands sites de terrasses chasséens dans le contexte de recherches rhodaniennes. Diffusion restreinte.
- BINDER, D. (1998) – Silex blond et complexité des assemblages lithiques dans le Néolithique liguro-provençal. In : A. d'Anna et D. BINDER (Eds), *Production et identité culturelle. Actualité de la recherche*. Actes de la deuxième session, Arles (Bouches-du-Rhône, 8-9 novembre 1996). Antibes : APDCA (Ed.), pp. 111-128.
- BRÉHARD, S. (2007) – *Contribution archéozoologique à la connaissance de la fonction des grands sites de terrasse du Chasséen récent (début du IV^e millénaire avant J.-C.) de la moyenne vallée du Rhône, dans leur contexte de Méditerranée nord-occidentale*. Thèse de doctorat, Muséum national d'Histoire naturelle.
- BRÉHARD, S., BEECHING, A., VIGNE, J.D. (2010) – Sheperds, cowherds and site function on middle Neolithic sites of the Rhône valley: An archaeozoological approach to the organization of territories and societies. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2, 179-188.
- BRESSY C., 2007 – *Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes*. Rapport de Projet Collectif de Recherche, Service Régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, diffusion restreinte.
- BRESSY, C., FERNANDES, P., AFFOLTER, J., PIBOULE, M., SERONIE-VIVIEN, M.R. (2010) – Ressources en silex de la région Rhône-Alpes : un état des connaissances. *Les C@hiers de Géopré*, 1, 2-11.
- DEPARNAY, X. (2016) – Analyse d'un sol chasséen sur le site du Gournier à Montélimar, l'apport de l'industrie lithique taillée. Mémoire de Maser 1, Université Lumière Lyon 2.
- FERNANDES, P. (2012) - *Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 623 p.
- FERNANDES, P., BINDER, D., CAVERNE, J.-B., DALPHINET, D., DELAGE, C., DELVIGNE, V., DESSAINT, P., GAILLOT, S., GARCIA-ANTON, M.-D., LEANDRI, C., LIABEU, R., LIAGRE, J., MORALA, A., MEVEL, L., PIBOULE, M., PLATEL, J.-P., RAYNAL, J.-P., SCHMIDT, P., TALLET, P., THIRAUULT, E., TOMASSO, A., TUFFERY, C., TURQ, A. (2015) - *Projet Collectif*

de Recherche «Réseau de Lithothèques en Rhône-Alpes». Rapport d'opération. DRAC Rhône-Alpes. Diffusion restreinte.

LÉA, V. (2004a) – *Les industries lithiques du Chasséen en Languedoc oriental : caractérisation par l'analyse technologique*. Oxford : Archéopress (ed.), 215 p.

LÉA, V. (2004b) – Centres de production et diffusion des silex bédouliens au Chasséen. *Gallia Préhistoire*, 46, 231-250.

LÉA, V. (2005) – *Sites producteurs et sites consommateurs Chasséen en Vaucluse*. Rapport de synthèse 2005. Service Régional de l'Archéologie PACA. Diffusion restreinte.

LÉA, V. (2006) – L'industrie lithique : première approche technologique. In : F. Cordier (dir.) *Montélimar, « Fortuneau », Drôme, Rhône-Alpes*. Rapport final de fouille, novembre 2006. Service régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, pp. 321-347. Diffusion restreinte.

LÉA, V. (2010) – *Saint-Martin Malaucène, Vaucluse*. Rapport de fin de triennale 2007-2008-2010. Service Régional de l'Archéologie PACA. Diffusion restreinte.

RICHE, C. (2005) – Les gîtes siliceux du bassin de la Drôme et du sud Vercors : bilan des disponibilités en matières premières. In : A. Beeching (dir.), *Circulations et identités culturelles alpines à la fin de la Préhistoire-Matériaux pour une étude*. Valence : Centre d'Archéologie préhistorique de Valence (Ed.), pp. 117-127 (Travaux du Centre d'Archéologie Préhistorique de Valence n°2)..

THIRAUULT, E., LEA, V., LEPERE, C., VANNIEUWENHUYSE, D. (2016) – Un nouveau « très grand site » du IV^e millénaire dans le Sud de la France. L'apport du chantier « Cazan l'Héritière 2008 » à Vernègues (Bouches-du-Rhône). *Bulletin de la Société préhistorique française*, t. 113(3), 523-570.

Table des illustrations

LISTE DES FIGURES

Figure 211.1 : Emprises des trois secteurs de prospection et numérotation des sites recensés de 2011 à 2013 ; les n° renvoient au tableau 211.1. DAO : J. Robbe et C. Bernard.....	31
Figure 212.1 : Cartes du secteur du Bouchat (au NE de Chamblet) ; Carte A : d'après M. Deschamps (1963). Carte B : d'après Turland (1989) : extrait de la feuille géologique de Montluçon au 1/50000ème. Symboles et couleurs de la carte B : ζMc & M1 2ζ : formations métamorphiques : orange ou ocre, γ1 - 2γ2 - 3γ3 - 4 : formations granitiques : rose, rouge et violet, e - g1 : Éocène : jaune clair, e - g1S : Éocène à silexites : bleu ciel.	42
Figure 212.2 : Le Bassin des Mâts d'après Turland et al. (1989 et 1991).....	45
Figure 213.1 : Répartition des lithothèques sur le territoire national.....	53
Figure 232.1 : Formulaire d'accueil de la BDD sous Access 2003.	58
Figure 233.1 : Appariement entre les champs de la fiche de terrain et les champs des trois tables de la BDD descriptive.	59 59
Figure 232.2 : Formulaire d'accueil de la BDD sous Access 2016.	59
Figure 233.2 : Lien entre la fiche de terrain (fichier au format .xls) et la BDD descriptive (fichier Access).	60
Figure 234.1 : WebApp Builder for ArcGIS : construction de l'application depuis la plateforme AGOL.....	61
Figure 234.2 : Affichage des polygones des formations géologiques numérisées selon le protocole et des gîtes à silex (points de collecte des échantillons).....	61
Figure 234.3 : Affichage des cartes géologiques scannées et géoréférencées et des données de la BSS (WMS Infoterre du BRGM).....	62
Figure 235.1 : Application Survey 123 for ArcGIS : saisie des données et validation avant envoi vers le serveur Figure 235.2 : Application Collector for ArcGIS : consultation des polygones des formations à silex, saisie de la localisation d'un lieu de collecte d'un nouvel échantillon	63 63
Figure 235.3 : Application Collector for ArcGIS : création d'un polygone de formation à silex, saisie des données attributaires et association d'une photo prise sur le terrain.....	63
Figure 235.4 : Application Explorer for ArcGIS : consultation des polygones des formations à silex, affichage de la légende et des données attributaires	63
Figure 235.5 : Application Explorer for ArcGIS : choix entre l'envoi par courriel d'un hyperlien vers le site d'AGOL et l'envoi d'une image de la zone d'intérêt au format .png.....	64
Figure 236.1 : Affichage dans NetLogo des contours des formations à silex (en noir) sur un fond orographique (BD Alti de l'IGN à 75m).....	64
Figure 236.2 : Modélisation de la démarche de calcul des parcours de gouttes d'eau.	65
Figure 236.3 : Principes du calcul dans NetLogo. Exemple du déplacement des gouttes d'eau	

selon les valeurs des 8 pixels du MNT se trouvant autour du pixel recevant la goutte d'eau	65
Figure 236.4 : Résultat du parcours d'une goutte d'eau vers les pixels de plus basse altitude à partir du MNT de la BD Alti à 75 m.	65
Figure 236.5 : Résultats des parcours de plusieurs gouttes d'eau vers les thalwegs d'un bassin-versant.	66
Figure 236.6 : Affichage dans NetLogo du déplacement de gouttes d'eau selon les plus grandes pentes de la topographie avec l'option d'affichage du tracé suivi par les gouttes d'eau sur le terrain.....	66
Figure 236.7 : Affichage d'une goutte d'eau et de son déplacement en rouge dans la fenêtre cartographique principale et dans la fenêtre de zoom.....	66
Figure 236.8 : Affichage des zones de concentration des gouttes d'eau avec la BD Alti à 75 m et des contours des formations à silex.....	66
Figure 236.9 : Comparaison sur un même secteur des résolutions différentes des MNT (BD Alti 75 m et BD Alti 25 m).....	66
Figure 236.10 : Affichage des zones de concentration des gouttes d'eau avec la BD Alti à 25 m et des contours des formations à silex.....	67
Figure 236.11 : Affichage des zones de concentration des gouttes d'eau avec la BD Alti à 25 m.	67
Figure 236.12 : Affichage dans QGIS du résultat du calcul de remplissage.	67
Figure 236.13 : Affichage dans QGIS du résultat du calcul de remplissage avec transparence sur le MNT.	67
Figure 236.14 : Comparaison des résultats de NetLogo et du calcul du remplissage dans un SIG.	67
Figure 236.15 : Affichage dans le module 3D de NetLogo d'une vue en perspective du MNT de la BD Alti à 25 m, des contours des formations à silex, des gouttes de pluie (en bleu) et de ses propres gouttes (en rouge).	68
Figure 236.16 : Affichage dans le module Globe de QGIS des contours des formations et des zones de concentration des gouttes d'eau sur un fond cartographique issu du MNT de la BD Alti à 25 m.....	68
Figure 237.1 : Affichage dans AGOL des différentes fonctionnalités pour afficher et éditer les données et les métadonnées	69
Figure 241.1 : Géolocalisation de Alp2 et du vallon de Marcieu (DAO J. Robbe, fond carte géoportail.fr)	70
Tableau 241.1 : Pourcentage de la répartition par matière première des silex de Alp2 ayant fait l'objet de l'étude technotypologique. Toutes catégories confondues N = 2 718.....	70
Figure 241.2 : Zones d'approvisionnements en silex local et sources probables d'approvisionnements lointains en silex et quartz. (DAO J. Robbe, fond carte géoportail.fr).....	70
Figure 242.1 : Le Cuze - Exemples de pièces portant des traces de raclage du végétal	72
Figure 242.2 : Le Cuze - Provenance des silex exploités dans l'ensemble inférieur.....	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 211.1 : Noms et coordonnées des sites recensés lors des prospections de 2011 à 2013 qui présentent des caractéristiques propices aux occupations pré-ou protohistoriques. En gris : sites qui ont livré du mobilier.	32
Tableau 241.1 : Pourcentage de la répartition par matière première des silex de Alp2 ayant fait l'objet de l'étude technotypologique. Toutes catégories confondues N = 2 718.....	70
Tableau 243.1 : Tableau synthétique des types de silictes	78-80

LISTE DES TABLEAUX

Planche 1 : Meillers	34
Planche 2 : Meillers ; Niveau supérieur	36
Planche 3 - Meillers – Niveau supérieur.....	37
Planche 4 : Gipcy	40
Planche 5 : Gipcy	41
Planche 6 : Saint Angel - Le Bouchat	44
Planche 7 : Saint-Bonnet de Four	49

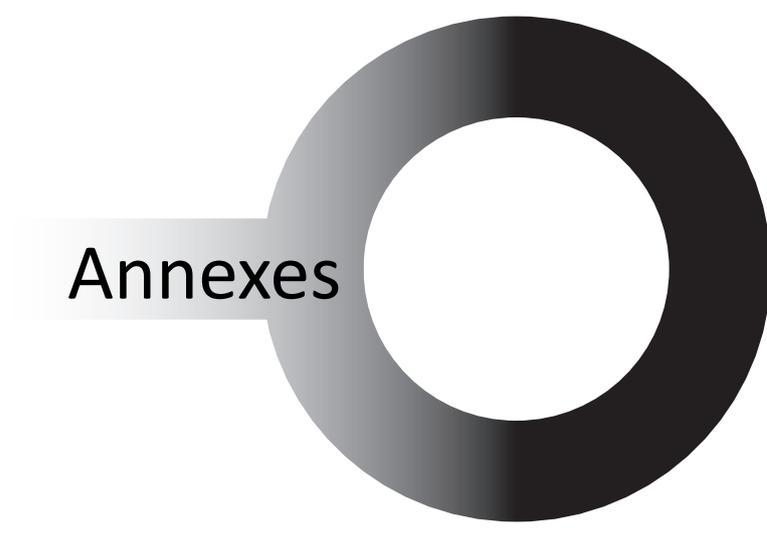
Planche 8 : Saint-Bonnet de Four	51
Planche 9 : Saint-Bonnet de Four	51

Table des matières

Notice au Bulletin scientifique régional 2017.....	3
Sommaire	7
Documentation administrative.....	13
Remerciements	19
1. Présentation de l'opération	23
1.1. État de l'art	23
1.2. Historique	24
2. Bilan d'activité	29
2.1. Axe 1 : prospections, inventaires et développement de l'outil lithothèque.....	29
2.1.1. Prospections dans la vallée du Furon (Vercors Nord). Archéologie et géologie (JR)	29
Perspectives :	30
2.1.2. Matériaux siliceux de quatre sites ateliers du Bourbonnais entre Cher et Allier : Partie 1 : Sinters, silex permien et silcrètes paléogènes (MP, VD, PF, AL, JPR)	33
Les sinters de Meillers	33
Silex de l'autunien inférieur du Bassin de L'Aumance.....	38
Silcrètes du Bouchat-Le Gratelet (Saint-Angel-Chamblet)	42
Les silcrètes de Saint-Bonnet de Four.	45
2.1.3. Participation à l'enquête nationale sur les lithothèques (CBL, PF)	52
Historique	52
Déroulement de l'enquête	52
2.1.4. Inventaire des lithothèques régionales, caractérisation fine des types marqueurs, constitution d'un catalogue régional (XD, PF, CBL)	52
2.1.5. Constitution et publication d'un atlas des types marqueurs en Auvergne Rhône-Alpes (PF, VD, MP)	52

2.2. Axe 2 : caractérisation des silex développements méthodologiques et cas d'étude (PF, VD, JPR).....	54
2.2.1. Projet "Chaîne Evolutive des Silex" (PF, AQ, SD, FXLB, VD, MP, MT, PS, JPP, AM, AT, PG)	55
Exemple du silex du bergeracois	55
2.3 Axe 3 : développement fiches d'inventaire, de caractérisation et d'un SIG des formations à silex (CT, PF, VD, JPR).	56
2.3.1. Finalisation de la fiche de données de terrain au format .xls.....	56
2.3.2. Création d'une base de données (BDD) sous MSAccess (CT, PF, VD).....	58
2.3.3. Etablissement des liens entre la fiche de terrain et la BDD Access avec un logiciel de SIG (CT).....	59
2.3.4. Développement d'applications de consultation et modification de données sur les formations et les gîtes à silex sur AGOL.....	60
2.3.5. Tests sur des applications de consultation et de modification des données en situation de mobilité	62
Survey123 for ArcGIS.....	62
Collector for ArcGIS	63
Explorer for ArcGIS	63
2.3.6 Exploration des possibilités d'utilisation de l'approche multi-agents pour la modélisation des parcours du silex (formation MAPS10)	64
2.3.7. Conclusion et perspectives (CT)	68
2.4 Axe 4 : travaux menés sur les mobiliers archéologiques	69
2.4.1. Matériel lithique de la station d'altitude de Alp2 (Hauts de Chartreuse). Bilans et perspectives (JR).	69
Étude technotypologique du matériel lithique de Alp2 :	69
2.4.2. La séquence stratigraphique du Cuze de Sainte-Anastasie (Cantal) : nouvelle approche des industries lithiques du Paléolithique final au Mésolithique. (ML, VD, AG, JJ, TP, PF, AD)	71
2.4.3. Étude pétroarchéologique d'une série de silex du site des Baigneurs à Charavines (Isère, France). (PF, PT).	74
Introduction.....	74
Choix méthodologique	74
Diagnose des types de silex présents dans la série étudiée	74
Production sur des matières locales à sub-locales	75
Collectes de matériaux à l'échelle régionale	75
Produits importés	75
Les types dont la provenance reste à confirmer	76
Les types dont la provenance reste inconnue	76
Conclusion	77
Remerciements	77
2.4.4. Pétrographie, technologie, quels enjeux pour le Néolithique moyen chasséen du Gournier à Montélimar (Drôme) ? (XD).....	107

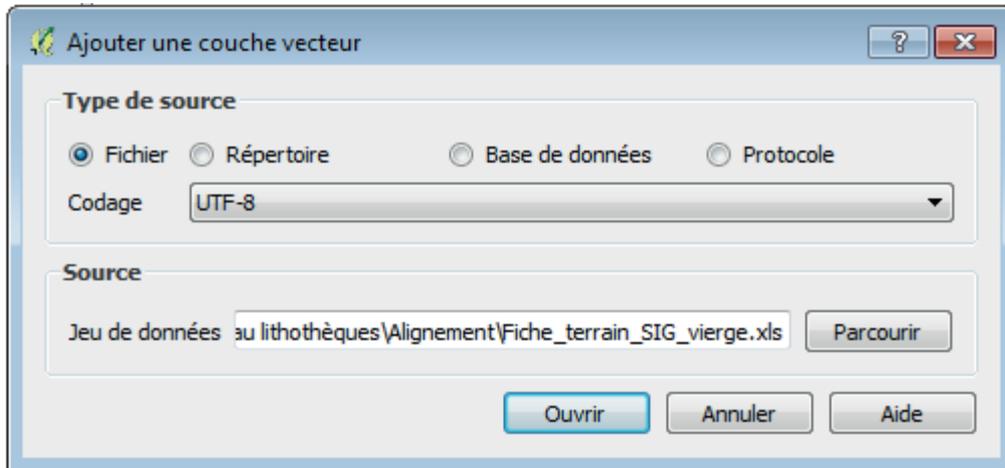
Contexte de recherches.....	107
Les silex « barrémo-bédouliens vaclusiens » du secteur Fortuneau du Gournier.....	107
Conclusion	108
2.5 Axe 5 : valorisation et diffusion des résultats	108
2.5.1. Séminaire caractérisation des silex -Citée de la préhistoire Musée d'Orgnac -15-17 février 2017 (PF, VD, MP, LC, PG).....	109
2.5.2. École de terrain PCR à Saint-Cyr-en-Val, Inrap les 21 et 22 septembre 2017 (VD, PF, CT)	110
Présentation de l'école	110
2.5.3. Participations à colloque	111
3. Nouvelles des autres PCR «Réseau de lithothèques»	113
3.1 Réseau de lithothèques en région Nouvelle Aquitaine	113
3.2 Réseau de lithothèques en région Centre-Val-de-Loire	114
4. Conclusions et perspectives	117
5. Publications	121
Bibliographie	263
Table des illustrations.....	271
Liste des figures	271
Tables des matières	275
Annexes	279



Annexes

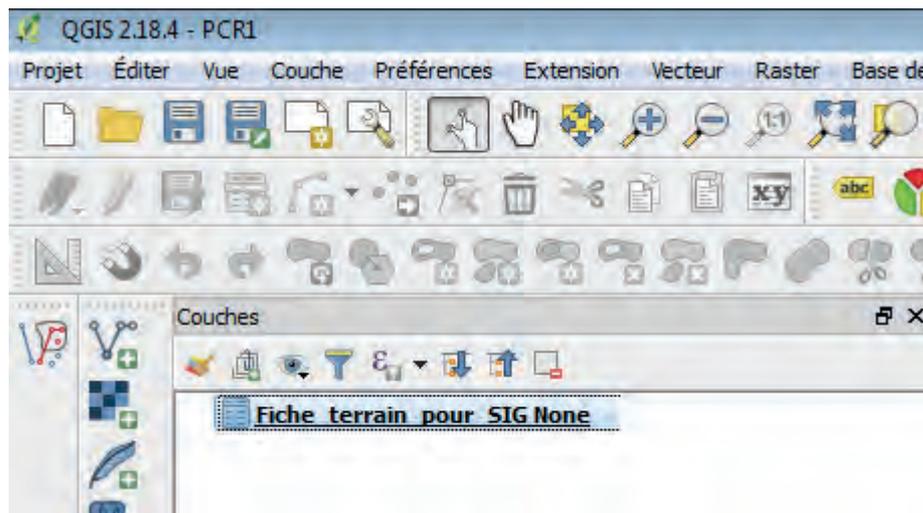
Annexe 1 : Afficher la fiche de terrain dans QGIS

- Ouvrir QGIS
- Ajouter une couche vecteur
- Choisir le fichier Fiche_terrain_SIG_vierge.xls



- Cliquer sur Ouvrir

Ce fichier apparaît dans la liste des couches de QGIS



En cliquant sur l'icône Ouvrir la table d'attributs on peut afficher la table attributaire :



Le fichier .xls s'ouvre alors comme une table attributaire dans QGIS :

Fiche_terrain_SIG_vierge None :: Total entités: 1, filtrées: 1, sélectionnées: 0							
	Field1	Field2	Field3	Field4	Field5	Field6	Field7
1	Numéro de gîte (...)	Auteur-e-s de la ...	Auteur-e-s de la ...	Auteur-e-s de la ...	Date de prélève...	Date de création ...	Date de modifica...

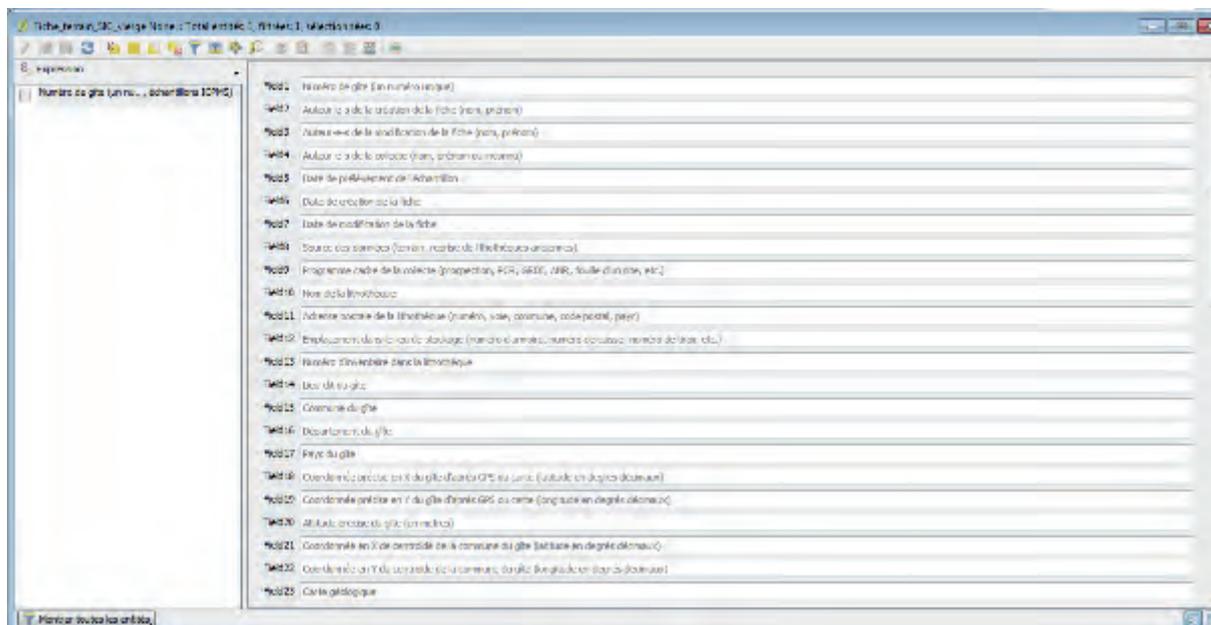
En bas à droite, se trouvent les deux icônes suivantes :



En cliquant sur l'icône de droite , on peut basculer vers la vue de la table tabulaire.

En cliquant sur l'icône de gauche , on peut basculer vers la vue formulaire.

En cliquant sur l'icône du basculement vers la vue formulaire, la table apparaît ainsi :

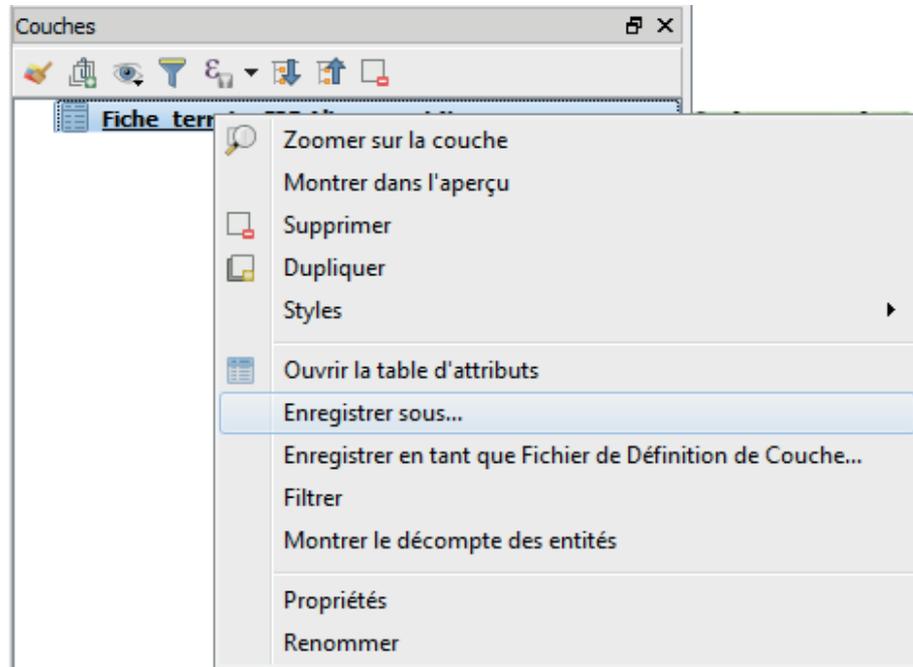


1001	Nom de gîte (en numéro sériel)
1002	Altitude de la création de la fiche (en mètres)
1003	Niveau de la localisation de la fiche (en mètres)
1004	Altitude de la cote (en mètres, ordonné croissant)
1005	Date de publication de l'admission :
1006	Date de création de la fiche
1007	Date de modification de la fiche
1008	Source ou sources (nom, numéro de lithothèque ancienne)
1009	Programme cadre de la collecte (propriété, PCN, ARD, MRE, feuille d'analyse, etc.)
1010	Nom de la lithothèque
1011	Adresse postale de la lithothèque (numéro, code, commune, code postal, pays)
1012	Emplois de la lithothèque (numéro d'arrêt, numéro de poste, numéro de lieu, etc.)
1013	Niveau d'altitude dans la lithothèque
1014	Use de la gîte
1015	Commune de gîte
1016	Département de gîte
1017	Pays de gîte
1018	Coordonnées géocodées en UTM de la lithothèque (en mètres, latitude en degrés décimaux)
1019	Coordonnées géocodées en UTM de la lithothèque (en mètres, longitude en degrés décimaux)
1020	Altitude croisée de gîte (en mètres)
1021	Coordonnées en UTM de la commune de la lithothèque (latitude en degrés décimaux)
1022	Coordonnées en UTM de la commune de la lithothèque (longitude en degrés décimaux)
1023	Carte géologique

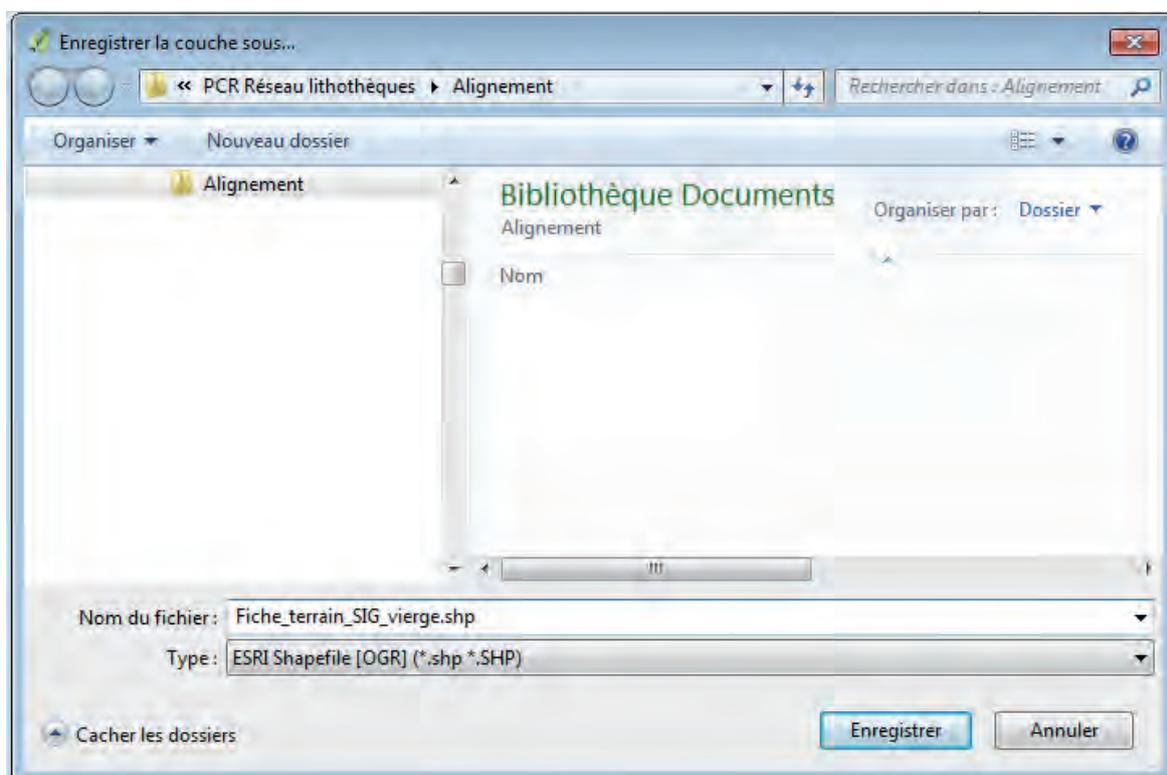
Annexe 2 : Transformation du fichier de la fiche de terrain pour pouvoir le modifier dans QGIS

Le fichier .xls de la fiche de terrain ne peut pas être modifié directement dans QGIS.

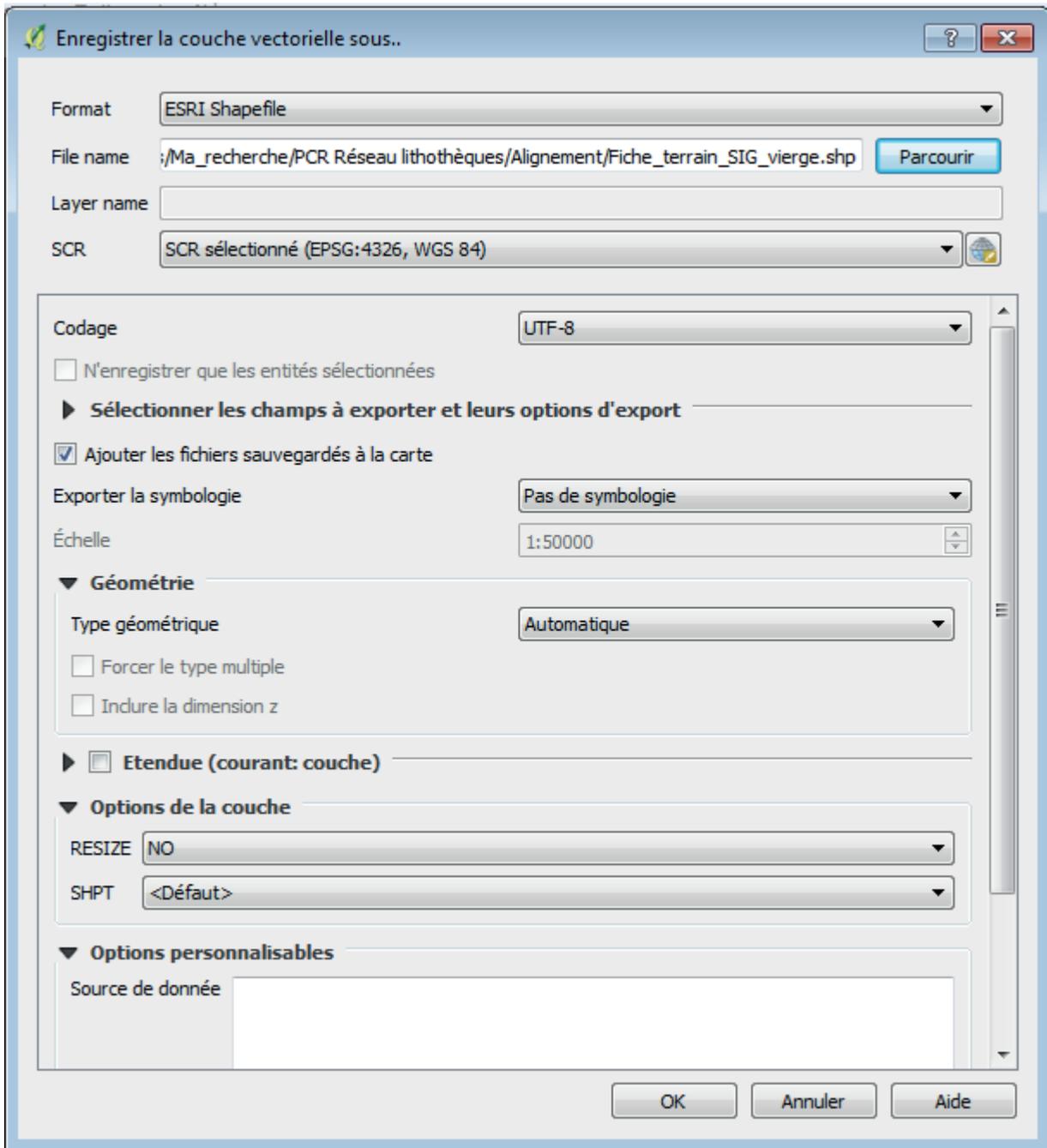
Il faut donc l'enregistrer au format shape dans QGIS. On fait un clic-droit sur cette couche puis Enregistrer sous.



- Choisir le format ESRI shapefile
- Choisir l'emplacement et le nom du fichier shape à enregistrer.



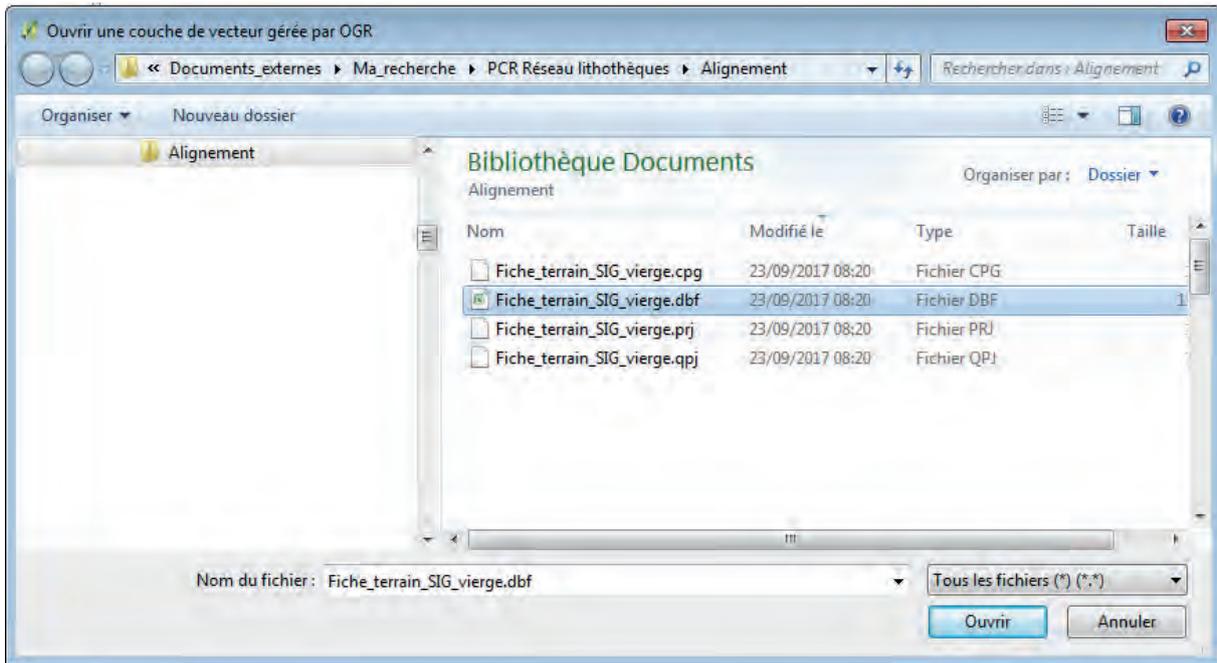
- Cliquer sur Enregistrer.
- Le panneau suivant apparaît :



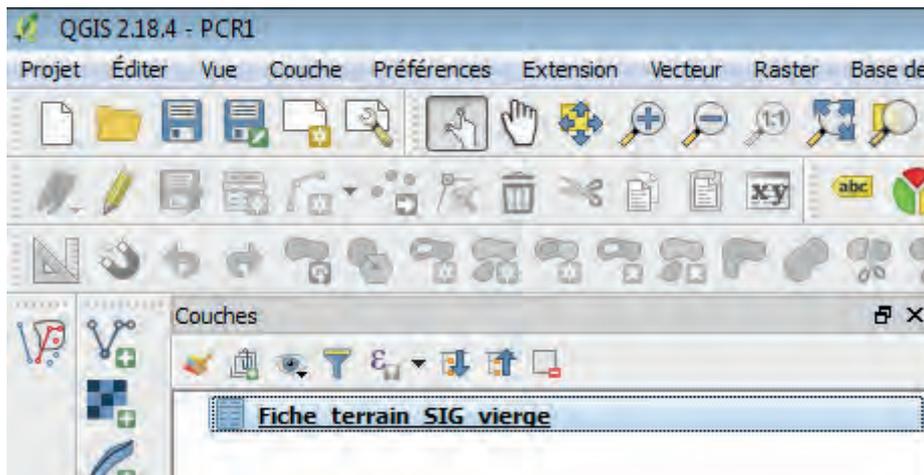
- Vérifier le nom et l'emplacement du fichier à créer. On peut aussi choisir le système de coordonnées (SCR) mais cela ne sert pas vraiment à cette étape.
- Cliquer sur OK

Une fois créé, ce nouveau fichier peut être affiché et édité pour en modifier les contenus des cellules si besoin.

- Cliquer sur Ajouter une couche vecteur
- Choisir le fichier Fiche_terrain_SIG_vierge.dbf

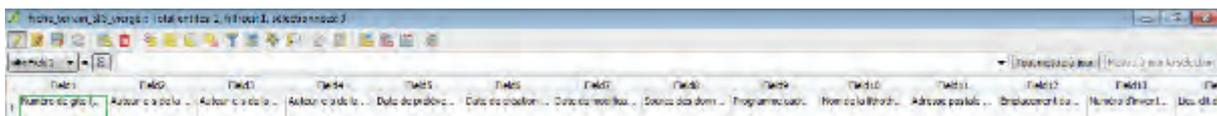


Ce fichier ne comporte qu'une table attributaire .dbf (plus trois autres fichiers associés) mais pas encore de fichier .shp comportant la géométrie des points des gîtes. On ne peut donc afficher que la table attributaire qui apparaît dans la liste des couches de QGIS.



En cliquant sur l'icône , on peut afficher cette table attributaire.

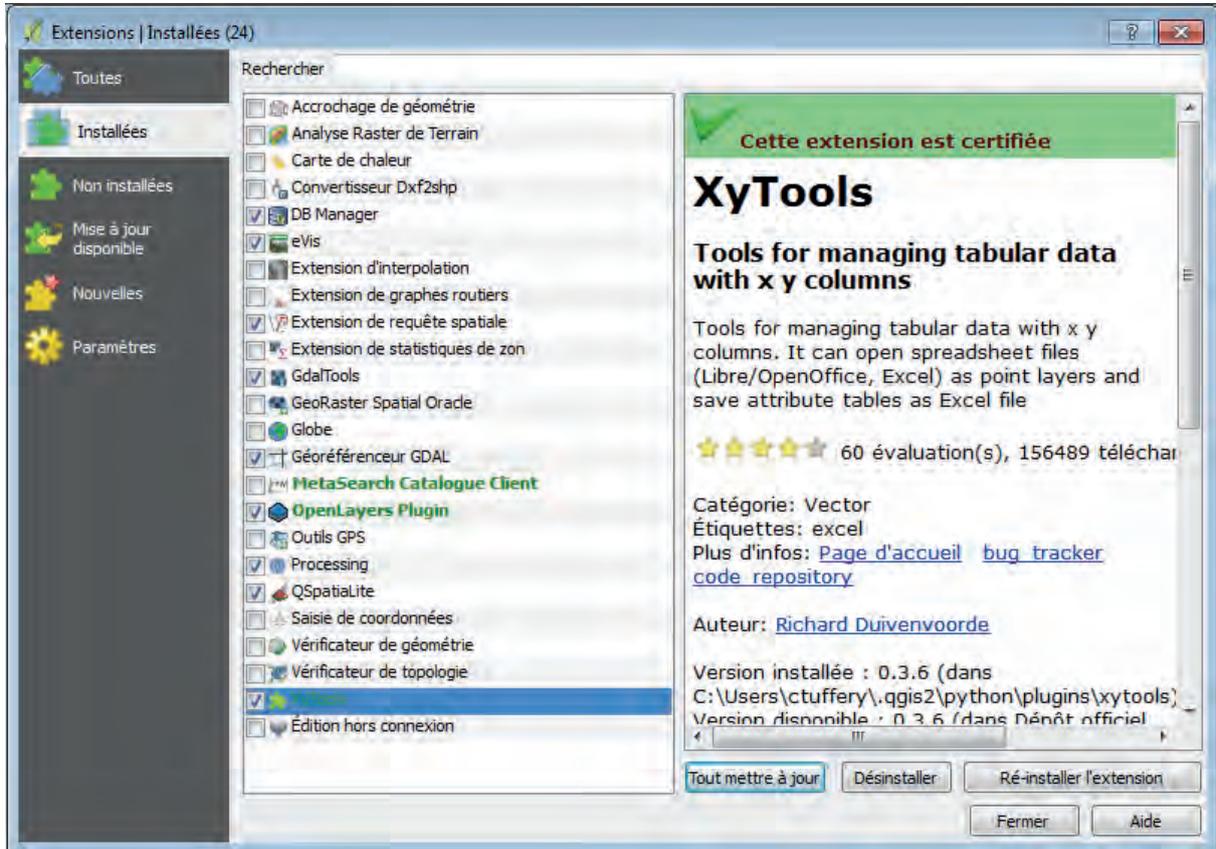
Puis en cliquant sur l'icône , on peut passer en mode édition et modifier ce fichier si besoin.



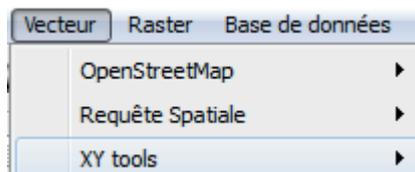
Si des modifications au contenu de ce fichier sont apportées, on doit cliquer sur l'icône  qui permet d'enregistrer ces modifications avant de quitter le mode édition. Un message d'alerte apparaît si l'utilisateur n'a pas enregistré les modifications avant de quitter le mode édition.

Annexe 3 : Transformation du fichier attributaire en un fichier de points pour pouvoir l'afficher et le modifier dans QGIS

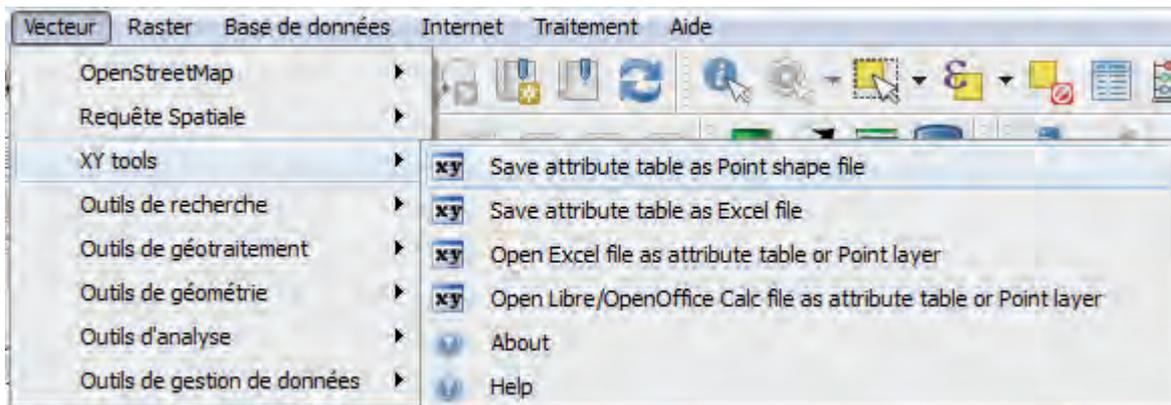
Pour passer du fichier sans géométrie à un fichier shape avec la géométrie, il faut d'abord installer l'extension XY Tools qui est disponible dans la liste des extensions de QGIS (dépôt officiel).



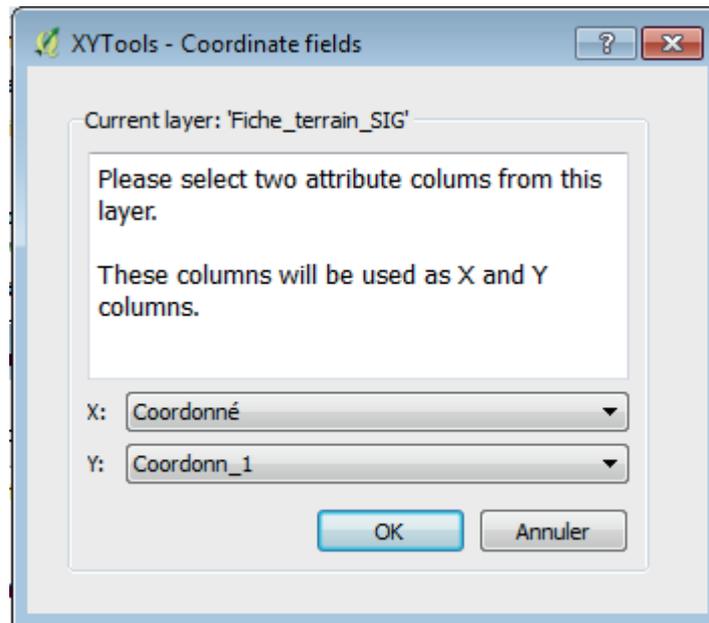
Une fois installée, cette extension apparaît dans le menu Vecteur de QGIS :



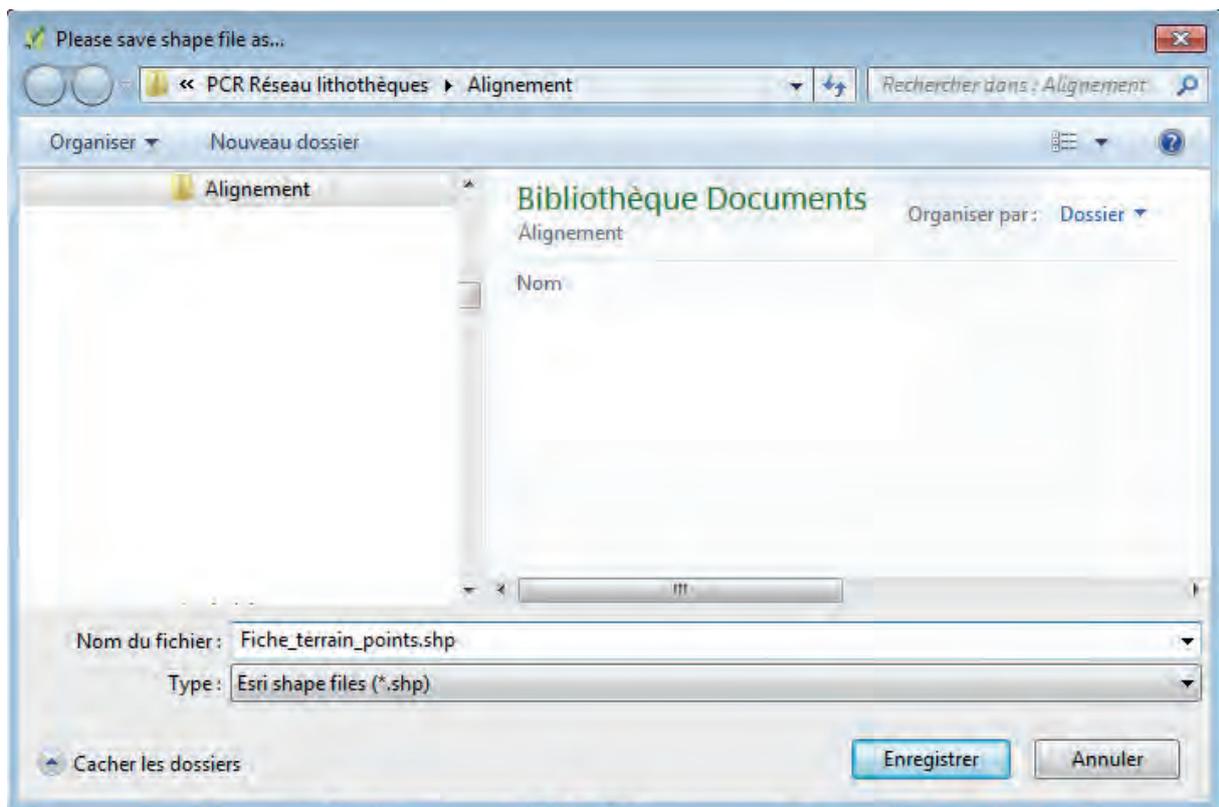
Il faut utiliser cette extension pour le fichier .dbf affiché dans la liste des couches. Il faut choisir ce fichier puis faire un clic-droit et choisir Save attribute table as Point shape file.



Dans la boîte de dialogue qui apparaît, il faut choisir les deux champs des coordonnées géographiques X et Y qui vont permettre de créer la géométrie du fichier shape de points.



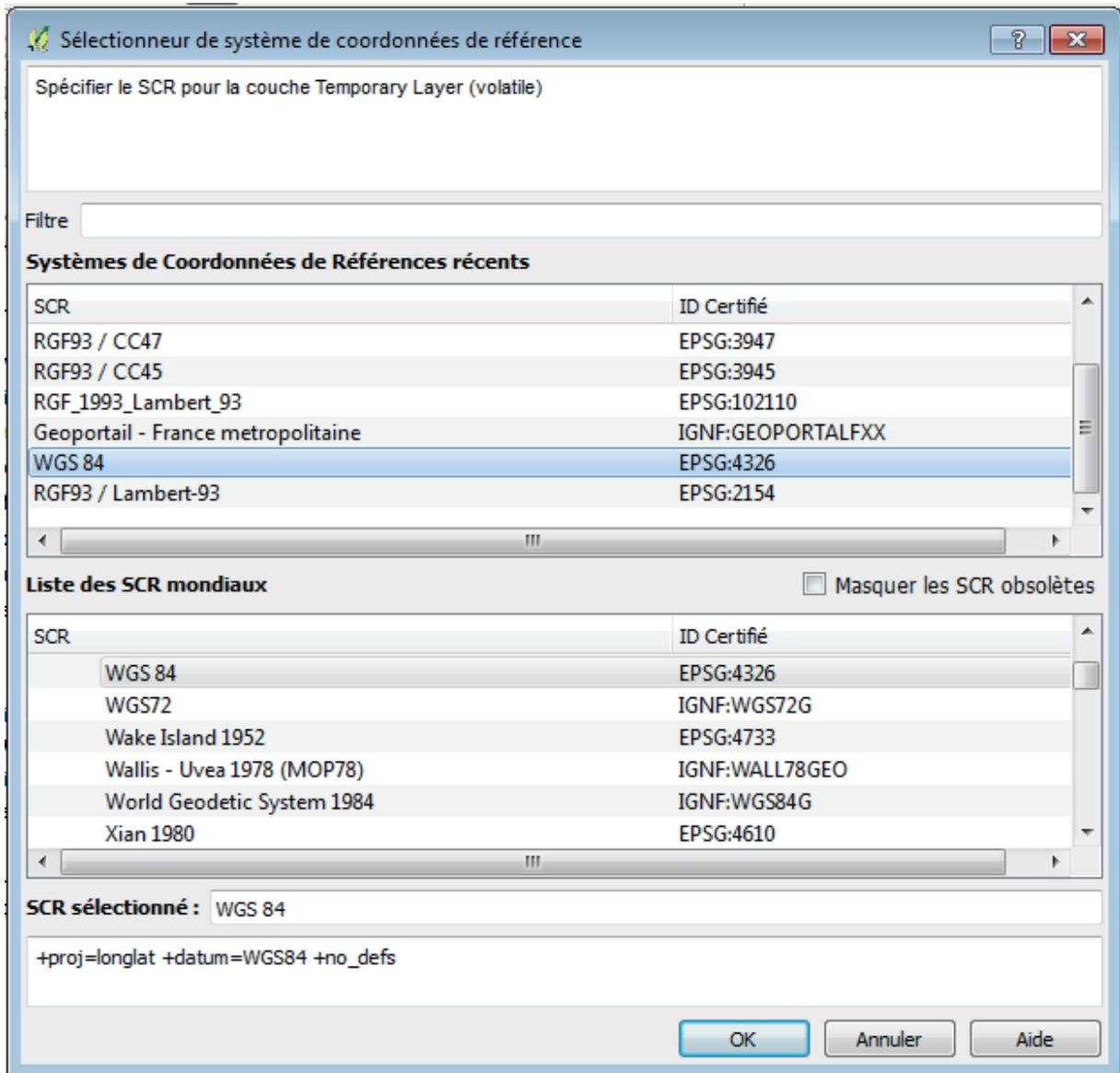
- Choisir le nom et l'emplacement du fichier shape qui va être créé :



Une fois ce fichier créé celui-ci peut être affiché dans QGIS et permet de faire apparaître les points.

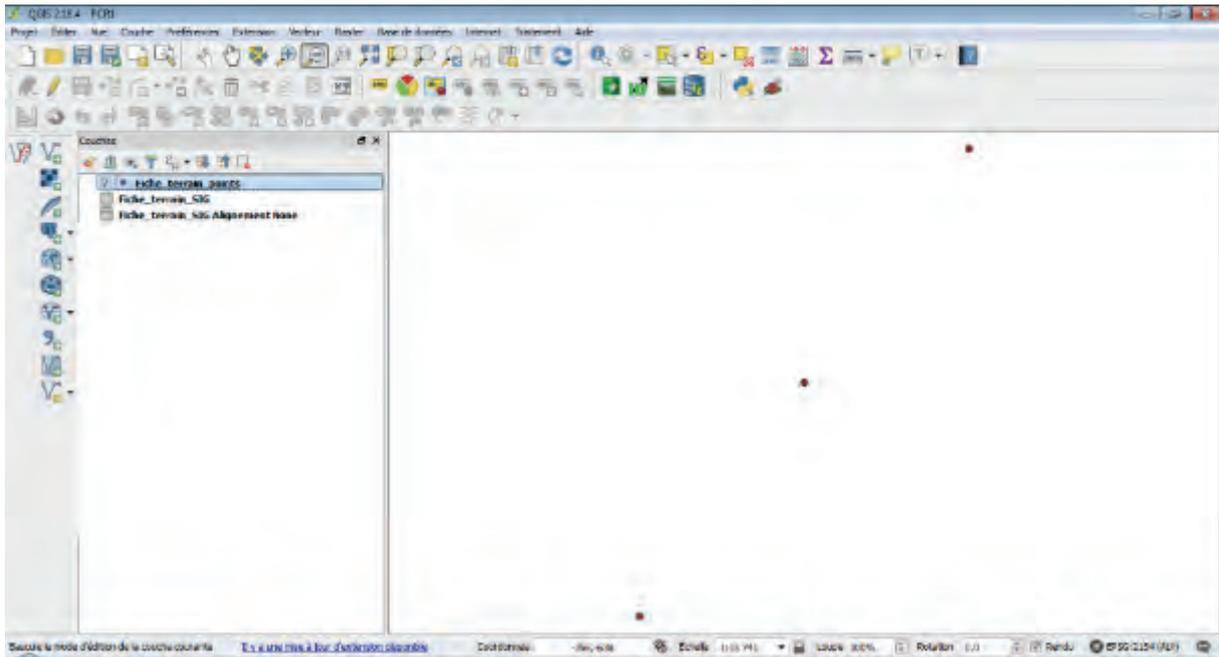
- Ajouter une couche vecteur

La première fois qu'on affiche ce fichier, le panneau suivant apparaît :



Il faut choisir le système de coordonnées WGS84 (EPSG4326) puisque les points des gîtes sur le terrain doivent avoir été renseignés en coordonnées géographiques décimales WGS84.

Le fichier shape créé avec les points apparaît alors dans la liste des couches de QGIS avec la géométrie de points correspondant à tous les points renseignés dans le fichier attributaire.



Pour faire apparaître la fiche correspondante de chacun des points avec les données attributaires, il faut cliquer sur l'icône  (Identifier les entités) puis cliquer sur chacun des points.

Fiche_terrain_points - Attributs d'entités

Numéro de	<input type="text" value="2"/>
Auteur-e-s	<input type="text" value="NULL"/>
Auteur-e_1	<input type="text" value="NULL"/>
Auteur-e_2	<input type="text" value="NULL"/>
Date de pr	<input type="text" value="NULL"/>
Date de cr	<input type="text" value="NULL"/>
Date de mo	<input type="text" value="NULL"/>
Source des	<input type="text" value="NULL"/>
Programme	<input type="text" value="NULL"/>
Nom de la	<input type="text" value="NULL"/>
Adresse po	<input type="text" value="NULL"/>
Emplacemen	<input type="text" value="NULL"/>
Numéro d'	<input type="text" value="NULL"/>
Lieu-dit d	<input type="text" value="NULL"/>
Commune du	<input type="text" value="NULL"/>
Départeme	<input type="text" value="NULL"/>

La fiche descriptive du point désigné apparaît avec les valeurs pour chacun des attributs descriptifs.

Annexe 4 : Programme de l'école thématique MAPS 10



Programme École thématique MAPS 10

18 au 23 juin 2017
St Pierre d'Oléron

Dimanche 18

17h30 - 19h30	Accueil CAES « La vieille Ferrotine » Arrivée Navette
19h30 - 21h	Ice breaking - Dîner
21h - 22h	Lancement de l'école thématique MAPS 10 Collectif MAPS

Lundi 19

8h30 - 10h	Modéliser à base d'agents Frédéric Amblard
	Pause
10h30 - 12h30	Comment aborder une problématique en modélisation ? Benoit Gaudou et Nicolas Marilleau
	Déjeuner
14h - 17h	Validation de la thématique, affinage des objectifs du modèle Groupes-projets
	Pause
17h30 - 19h	Planification du travail, présentation du projet Groupes-projets
19h - 19h30	Point d'avancement Groupes-projets Dîner
21h - 22h	Un outil de simulation participative multi-agents à destination des gestionnaires du risque de submersion marine Marion Amalric et Nicolas Marilleau
22h - ...	Précisions sur le modèle : objectifs et dynamiques du modèle Groupes-projets

21h - 22h	Modélisation mathématique et couplage de modèles - application au projet MicMac Nathalie Corson
22h - ...	Codage Groupes-projets

Jeudi 22

8h30 - 10h	Traiter la spatialisation de l'information Frédéric Rousseaux
	Pause
10h30 - 12h30	Finalisation du modèle Groupes-projets
	Déjeuner
14h - 15h	Logiciels libres et réplication des simulations Etienne Delay et Sébastien Rey
15h - 17h	Finalisation du modèle Groupes-projets
	Pause
17h30 - 19h	Finalisation du modèle Groupes-projets
19h - 19h30	Point d'avancement Groupes-projets Dîner
21h - 22h	Les SMA pour modéliser les pratiques viticoles avec la plateforme Gama Etienne Delay et Patrick Taillandier
22h - ...	Finalisation de la présentation du modèle Groupes-projet

Vendredi 23

8h30 - 10h	Compétition des modèles
	Pause
10h30 - 12h30	Compétition des modèles
	Déjeuner
14h	Départ navette

Mardi 20

8h30 - 10h	Coder en Netlogo Arnaud Banos
	Pause
10h30 - 12h30	Documentation sur le modèle Groupes-projets
	Déjeuner
14h - 17h	Choix des paramètres du modèle, formalisation du modèle Groupes-projets
	Pause
17h30 - 19h	Formaliser son modèle (UML et ODD) Elise Beck et Sébastien Rey
19h - 19h30	Point d'avancement Groupes-projets Dîner
21h - 22h	TransMob: Agent-Based Modelling of Transport and Residential Mobility in South East Sydney Pascal Perez
22h - ...	Finalisation de la formalisation du modèle Groupes-projets

Mercredi 21

8h30 - 10h	Analyser la sensibilité d'un modèle Benoit Gaudou, Sébastien Rey et Etienne Delay
	Pause
10h30 - 12h30	Codage, justification des choix du modèle, rédaction de la fiche Groupes-projets
	Déjeuner
14h - 17h	Temps libre
	Pause
17h30 - 19h	Codage, validation des objectifs et attendus du modèle Groupes-projets
19h - 19h30	Point d'avancement collectif « Groupes-projets » Dîner

Liste des intervenants

Conférencier invité

Pascal Perez SMART Infrastructure Facility, Université de Wollongong (Australie)

Collectif MAPS

Marion Amalric - UMR CITERES - Univ. Tours
Frédéric Amblard IRIT - Univ. Toulouse
Arnaud Banos - UMR Géographie-cités - Paris, Labex DynamiTe
Elise Beck UMR FACTE - Univ. Grenoble
Nathalie Corson LMAH - Univ. Le Havre, Labex DynamiTe
Etienne Delay GEOLAB - Univ. Limoges et Clermont Ferrand
Benoit Gaudou IRIT - Univ. Toulouse, Labex DynamiTe
Nicolas Marilleau UMMISCO - IRD, Labex DynamiTe
Sébastien Rey-Coyrehourcq - UMR IDEES - Univ. Rouen, Labex DynamiTe
Frédéric Rousseaux UMR LIENSs - Univ. La Rochelle, Labex DynamiTe
Patrick Taillandier MIAT - INRA - Toulouse

Soutiens

INSHS CNRS Institut National des Sciences Humaines et Sociales

INS2I CNRS Institut National des Sciences de l'Information et de leurs Interactions



Labex DynamiTe



maps.hypotheses.org

Version au 07/06/2017 sous réserve de changements

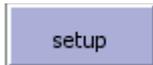
Annexe 5 : Description sommaire des principaux outils et fonctionnalités associées de l'interface de l'application développée dans NetLogo

NetLogo se présente sous la forme d'une interface propre à chacune des applications développées. C'est dans le code de l'application que tous les paramètres de l'application sont décrits ainsi que tous les boutons de l'interface qui sont tous associées à des fonctionnalités.

Dans le cas de notre application, dérivée du modèle Grand Canyon fournit avec NetLogo, nous avons repris la plupart des boutons et fonctionnalités en les adaptant et en les complétant sur certains points.

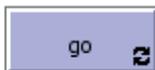
Interface de l'application

L'application peut être lancée en cliquant sur le bouton setup.

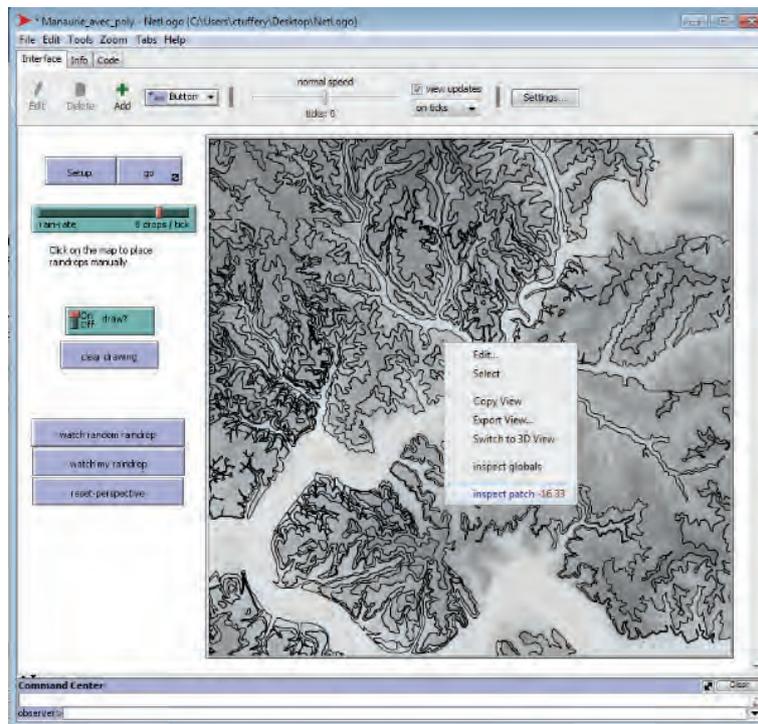


Ce bouton permet l'affichage des données raster et vecteur.

Le lancement de l'apparition et du déplacement des gouttes d'eau s'effectue en cliquant sur le bouton go situé à droite du bouton setup.



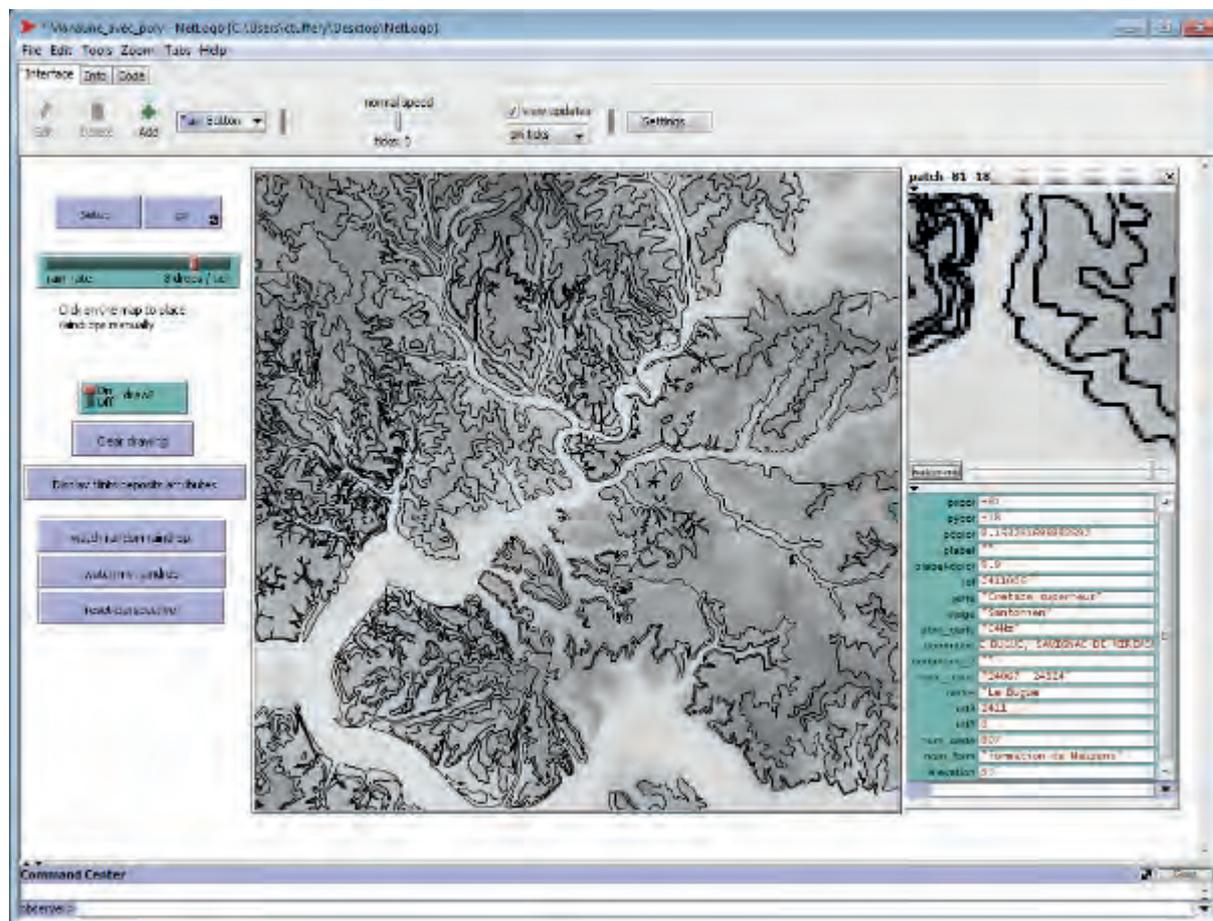
Avec le clic-droit de la souris, il est possible d'afficher un menu contextuel qui permet d'afficher dans une vignette un zoom sur la zone pointée et les données attributaires sur les formations à silex identifiées lors du clic.



Affichage dans NetLogo des contours des formations à silex (contours noir) sur le fond de MNT dans la partie centrale (en teintes de gris), et du menu contextuel disponible par le clic-droit de la souris pour afficher la fenêtre des données attributaires des formations à silex (inspect-patch)

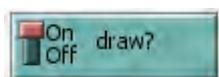
Les contours de la formation à silex sélectionnée apparaissent dans la couleur de son choix (à indiquer dans le code).

La figure suivante montre l'affichage dans NetLogo des mêmes données avec comme fond le MNT de la BD Alti en niveaux de gris ainsi que les données attributaires sur les formations à silex identifiées lors du clic de souris.

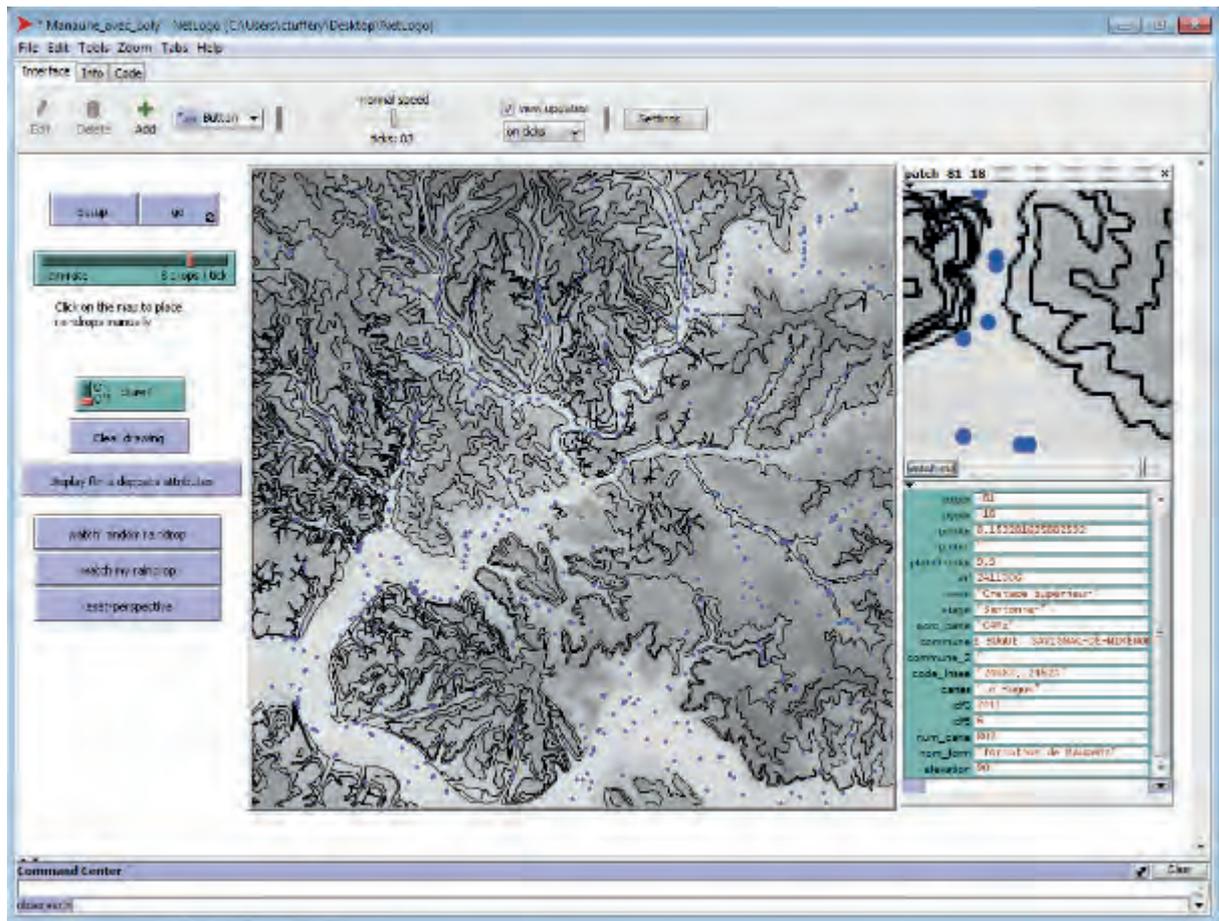


Affichage dans NetLogo des contours des formations à silex (contours noir) sur le fond de MNT dans la partie centrale (en teintes de gris), de la vignette de zoom (en haut à droite) sur une zone désignée par un clic du curseur (partie supérieure droite) et des données attributaires de la formation identifiée (partie centrale droite)

Le bouton draw ? OnOff permet d'afficher (On) ou de ne pas afficher (Off) le trajet suivi par les gouttes d'eau sur le terrain.



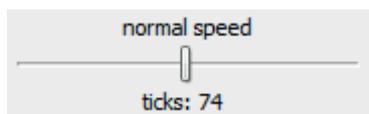
Si le bouton est mis sur Off, le tracé du déplacement des gouttes d'eau sur le terrain n'apparaît plus.



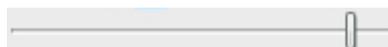
Même affichage que pour la figure précédente mais sans l'option d'affichage du tracé suivi par les gouttes d'eau sur le terrain

On peut observer le déplacement de ces gouttes et l'arrêter à tout moment en cliquant à nouveau sur le bouton go.

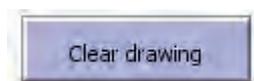
On peut aussi accélérer les écoulements en cliquant sur la réglette prévue à cet effet située au-dessus de la fenêtre cartographique



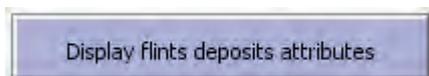
La fenêtre de zoom en haut à droite permet de voir plus précisément sur la zone sélectionnée le détail du déplacement des gouttes d'eau. À tout moment on peut dézoomer avec la réglette prévue à cet effet située juste sous la fenêtre de zoom.



Si on souhaite recommencer au début la simulation, il suffit de cliquer sur le bouton Clear drawing.



Le bouton Display flints deposits attributes permet de lancer en début de session la récupération des données attributaires sur tous les polygones de la couche des formations à silex. Pour l'instant le temps de récupération des données est assez long et ne permet pas d'utiliser l'application tant que cette récupération n'est pas terminée.

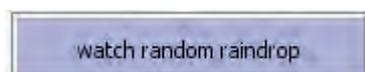


Si on veut cliquer sur un endroit particulier et simuler l'écoulement de l'eau il faut cliquer sur la carte comme l'indication suivante y invite: Click on the map to place raindrops manually

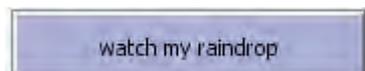
Une réglette verte permet d'accélérer le débit de pluie par unité de surface sur le terrain.



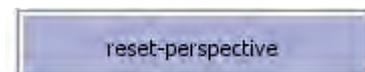
Le bouton watch random raindrop permet de passer d'un endroit à l'autre où les gouttes d'eau tombent, si on souhaite zoomer sur tel ou tel endroit de la carte.



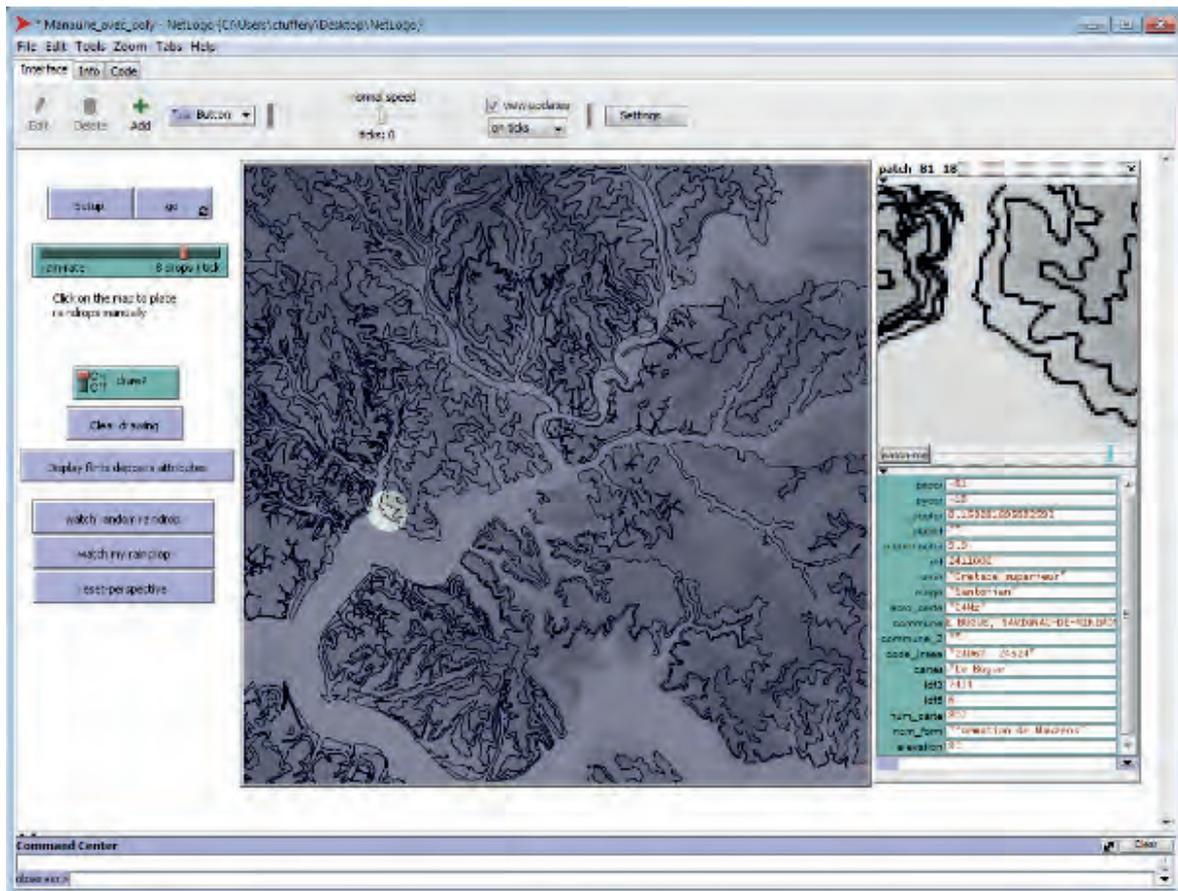
Le bouton watch my raindrop permet d'afficher dans la fenêtre cartographique centrale une goutte d'eau et son déplacement en couleur rouge cliqué à l'endroit de son choix.



Le bouton reset-perspective permet de revenir à un affichage complet après avoir fait apparaître le cercle désignant le zoom provenant de l'usage du bouton watch-me, mentionné ci-dessus.



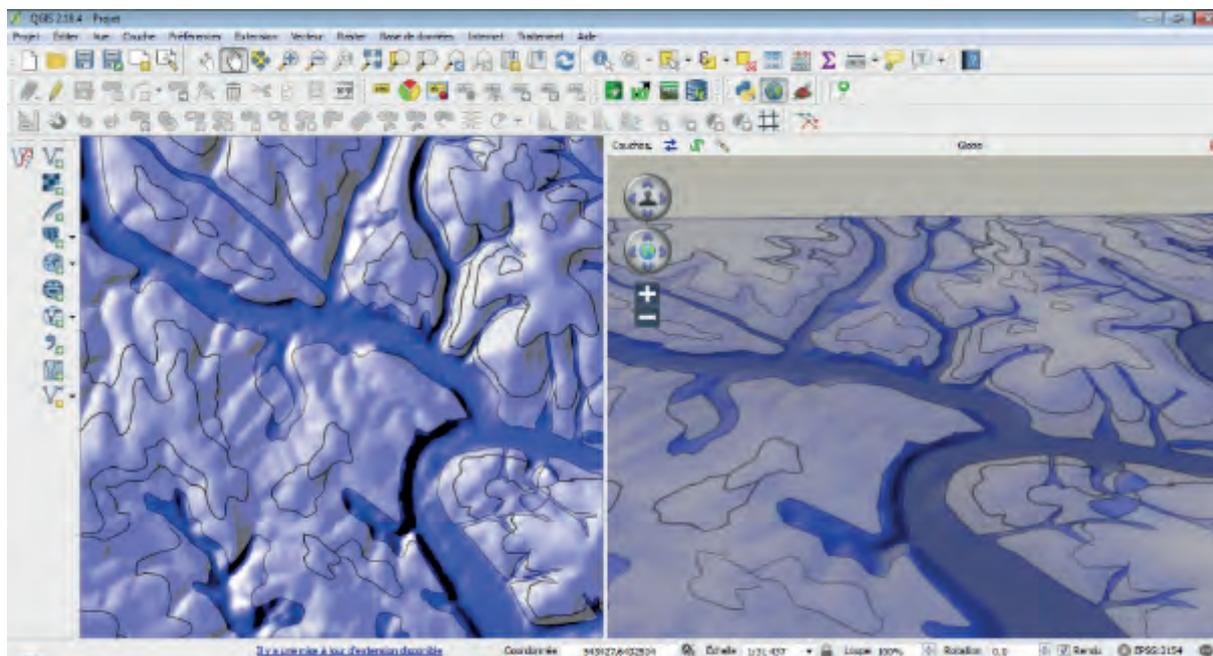
En cliquant sur le bouton watch-me qui se trouve sous la fenêtre de zoom, la partie cartographique centrale montre un rond désignant la formation sélectionnée et dont les données attributaires sont affichées.



Affichage dans NetLogo du cercle centré sur le point cliqué pour choisir la formation à silex dont les données attributaires sont affichées (partie centrale droite)

On peut ensuite changer de formation et cliquer sur une autre pour en afficher les données attributaires.

Enfin, l'utilisation du module Globe de QGIS permet d'explorer les possibilités de représentation en 3D des données sur les formations à silex et sur les MNT provenant des différentes BD Alti utilisables et de les comparer avec la visualisation qu'on peut obtenir avec le module 3D de NetLogo.



Affichage dans QGIS des données sur les formations à silex, du MNT issu de la BD Alti à 25m, et des zones de concentration des gouttes d'eau simulant les zones de concentration de silex après leurs parcours naturels selon les pentes

