

Projet Collectif de Recherche Rapport d'activité 2015



Réseau de lithothèques en Auvergne

Coordination : Paul Fernandes

Contributions : Vincent Delvigne (référént)

Daniel Chomette, Emmanuelle Defive, Audrey Lafarge,
René Liabeuf, Michel Piboule, Pascal Tallet, Christophe Tuffery,
Rebecca Wragg-Sykes, Jean-Paul Raynal

PALEOTIME
archéologie préventive



Volume 1

Villard de Lans et Coutras, décembre 2015

Légende des illustrations de la page de couverture :

Vue depuis la Croix des Boutières aux Estables (Haute-Loire). Photo A. Lafarge.

Notice BSR 2015 : Réseau de lithothèques en Auvergne

Nom d'auteur : Paul Fernandes (Paléotime, UMR PACEA).

Numéro d'OA : 227829.

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

Nature de l'opération : projet collectif de recherche (PCR), du 01-06-2015 au 30-12-2015.

Couverture géographique : région Auvergne.

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

Chronologie : Préhistoire, Paléolithique, Paléolithique inférieur, Paléolithique moyen, Paléolithique supérieur, Épipaléolithique 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 cités : 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.

En 2015, les résultats scientifiques obtenus débouchent sur une amélioration significative aux niveaux gîtologique, pétroarchéologique et archéologique. Nous sommes en mesure de présenter une carte précise des formations à silex et une ébauche d'atlas comprenant les principaux types de silex présents en Auvergne. Avec la constitution d'un protocole d'analyse refondé et la mise en place d'un plan rationnel au niveau de la numérisation des données géoréférencées, nous participons à la construction d'un outil plus approprié à l'étude des comportements des hommes préhistoriques en milieu de moyenne montagne. La phase d'acquisition de données est en cours de finalisation. Il s'agissait d'interpréter, de modéliser et d'intégrer aux autres travaux d'archéologie préhistorique, ces nouveaux résultats. La représentation ainsi que le mode d'introduction et de consommation des différents types de matériaux sur les sites nous ont permis de distinguer les choix opérés par les hommes, autorisant dès lors l'inscription sémantique du litho-espace dans un essai de reconstruction du paléo-espace économique puis social (territoire) de chacun des groupes.

Le projet national dont dépend ce PCR est soutenu par la Sous-direction de l'archéologie, les deux Instituts du CNRS (InEE et InSHS) et l'INRAP. Il fédère les SRA de Rhône-Alpes et Auvergne, plusieurs laboratoires du CNRS (CEPAM, PACEA, IRAMAT-CRP2A, LAMPEA, GEOLAB, Mines ParisTech) le Muséum National de Préhistoire des Eyzies-de-Tayac, le CNP de Périgueux, les universités (Nice, Bordeaux 1, Bordeaux Montaigne, Aix-Marseille, Montpellier), divers programmes collectifs de

recherches (ETICALP : Evolutions, transferts, interculturalités dans l'arc liguro-provençal : matières premières, productions et usages, du Paléolithique supérieur à l'âge du Bronze ancien ; Réseau de Lithothèques en Rhône-Alpes ; Espaces et Subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central) et la société Paléotime. Cette intensification des collaborations interdisciplinaires a notamment conduit à la promotion de rencontres scientifiques nationales et internationales autour de questions novatrices et extrêmement stimulantes qui ont suscité une large adhésion au sein de la communauté des préhistoriens.

Cette année le PCR a été financé par le Ministère de la Culture et de la Communication et la société Paléotime. Grâce à ces financements et le travail des membres, nous avons obtenu des résultats encourageants. Ce programme est la fois bien positionné sur une démarche novatrice et en interaction forte avec des thématiques portées par un nombre important de chercheurs au sein de plusieurs laboratoires représentant diverses disciplines. Son originalité est de présenter des qualités dans les domaines de l'expérimentation et de la théorie des processus supergènes adaptés à la préhistoire.

Grace aux contributions en laboratoire et le travail sur le terrain de tous les participants, la préhistoire régionale bénéficie d'une avancée significative fondée sur la connaissance de la gîtologie et l'étude des transformations des matériaux siliceux «la chaîne évolutive». L'analyse des processus mécaniques et physico-chimiques responsables de l'altération des silex devrait permettre à la fois d'affiner la détermination des origines et de constituer une lithothèque régionale respectant la notion de chaîne évolutive.

Les séries lithiques déjà observées ou en cours d'étude (Soleilhac, Baume-Vallée, Sainte-Anne I et II, le Rond-de-Saint-Arcons, le Rond-du-Barry, Rochelimaque, le Blot, la Roche à Tavernat, Tatevin II, le Col de Claron, la Contré Viallet.) participent à la reconstitution des comportements, à l'analyse taphonomique des assemblages archéologiques et à l'interprétation des sites. 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. Nous mettons progressivement 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 l'altération des silex en position naturelle et des objets archéologiques. On a ainsi commencé à constituer un procédé de quantification de la transformation de la structure et de la composition initiale. Les données acquises en 2015 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.

Notre approche conduit à une meilleure caractérisation des types déjà reconnus et à une définition des lieux de collecte plus précise. Cette démarche collaborative fournit désormais les bases indispensables au développement d'études nationales sur la caractérisation des stratégies territoriales des sociétés préhistoriques.

Paul Fernandes - Paléotime

Le 15/12/2015

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. 2016 : Fernandes, F., Delvigne, V., Chomette, D., Defive, E., Lafarge, A., Liabeuf, R., Piboule, M., Tallet, P., Tuffery, C., Wragg-Sykes, R., Raynal, J.-P. - Réseau de lithothèques en Auvergne, Rapport d'opération, Paléotime, Villard-de-Lans.

PAO : A. Lafarge



Sommaire

Sommaire.....	7
Documentation administrative	11
Remerciements	15
Rapport d'opération :	17
1. <i>Présentation de l'opération (PF, VD).....</i>	<i>17</i>
2. <i>Bilan d'activité du PCR Réseau de Lithothèques (PF et VD)</i>	<i>19</i>
3. <i>Principaux résultats de la campagne 2015</i>	<i>24</i>
4. <i>Perspectives pour 2016 (PF, VD)</i>	<i>46</i>
Communications scientifiques en 2015	49
Conclusion.....	79
Bibliographie	81
Table des illustrations	95
Table des matières.....	97

Réseau de lithothèques en Auvergne



Documentation administrative

FICHE SIGNALÉTIQUE

L'identité du lieu d'intervention

Région : Auvergne

Départements : Allier, Cantal, Haute-Loire, Puy-De-Dôme

Nature de l'opération

Le projet : projet collectif de recherche « Réseau de lithothèques en Auvergne »

Programmes de rattachement : 2 à 12

Arrêté d'autorisation : n° 2015-081

Code d'opération : n° 7829

Responsable d'opération : Paul Fernandes

Dates de l'intervention : 01/06/2015 au 30/12/2015

Chronologie : Préhistoire

Lieux de dépôts : locaux de la société Paléotime, 6173rue Jean Séraphin Achard Picard 38250 Villard-de-Lans. Capra Valence : qui conserve des silex de l'Ardèche et de la Drôme. Le Musée d'Orgnac : qui possède des silex de l'Ardèche, de la Drôme et du Gard. Laussone (Haute-Loire) : où sont stockés des échantillons auvergnats mais aussi de la Loire de l'Ardèche, de la Drôme et du Gard.

FICHE GÉNÉRIQUE

Responsables scientifiques

Les travaux sont coordonnés par Paul Fernandes, Paléotime et collaborateur bénévole PACEA, assisté d'un référent régional : Vincent Delvigne UMR 5199 PACEA. Les participants régionaux sont : Jean-Paul Raynal, René Liabeuf, Emmanuelle Defive, Michel Piboule, Christophe Tuffery, Rebecca Wragg-Sykes, Audrey Lafarge, Daniel Chomette. Les collaborateurs extrarégionaux sont : Alain Turq, André Morala, Musée National de Préhistoire des Eyzies, Didier Binder UMR 7264-CEPAM Nice, Jean-Pierre Bracco, LAMPEA - UMR 5594, Aix-en-Provence, Jean-Pierre Platel retraité BRGM, Céline Léandri SRA Corse, Frédéric Bazile UMR 5140 Archéologie des sociétés Méditerranéennes Montpellier.

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 2015.

Financiers	Fonctionnement
État, sous-direction de l'archéologie	2500 €
Société Paléotime	2500 €
TOTAL	5000 €

La gestion financière est assurée par l'association suivantes : l'AVDPA (Association pour la Valorisation et la Diffusion de la Préhistoire Alpine, siège social : 13 allée des Cottages 38240 ; président Pierre Bintz.

EQUIPE D'INTERVENTION SUR LE TERRAIN

Vincent Delvigne UMR 5199 PACEA ;
René Liabeuf SRA Auvergne ;
Daniel Chomette ;
Audrey Lafarge UMR 5140 Archéologie des sociétés Méditerranéennes Montpellier ;
Emmanuelle Defive UMR 6240 GEOLAB ;
Rebecca Wragg-Sykes UMR 5199 PACEA ;
Jean-Paul Raynal UMR 5199 PACEA ;
Paul Fernandes Paléotime.

EQUIPE D'INTERVENTION EN LABORATOIRE

Patrick Schmidt, MNHN : Universität Tübingen ;
François Fröhlich, ancien Professeur MNHN : Dpt. de Préhistoire UMR 7194;
François-Xavier Le Bourdonnec et *Stephan Dubernet* UMR 5060 IRAMAT, Université Bordeaux Montaigne ;
Médard Thiry, École des Mines de Paris ;
Christophe Tufféry, INRAP Gourguen Davtian UMR 7264-CEPAM Nice;
Paul Fernandes et *Pascal Tallet*, société Paléotime.

CONSULTANTS ARCHÉOLOGUES

Marie-Hélène Moncel, CNRS, Musée National d'Histoire Naturelle, Institut de Paléontologie Humaine, Paris, UMR 5198 ;
Jean-Paul Raynal, Directeur de recherche au CNRS, UMR 5199 PACEA ;
Alain Turq, Musée national de Préhistoire, UMR 5199 PACEA ;
André Morala, Musée national de Préhistoire, UMR 5199 PACEA ;
Antonin Tomasso CEPAM ;
Pascal Foucher, DRAC Midi-Pyrénées.

ADRESSE MAIL DES PARTICIPANTS

Paul Fernandes (directeur) :
paul.fernandes@paleotime.fr

Vincent Delvigne (réfèrent) :
vincent.delvigne@hotmail.fr

Daniel Chomette :
dichomette@aol.com

Emanuelle Defive :
emmanuelle.defive@orange.fr

Audrey Lafarge :
mouf331@gmail.com

René Liabeuf :
rene.liabeuf@culture.gouv.fr

Michel Piboule :
piboulemichel@gmail.com

Pascal Tallet :
pascal.tallet@paleotime.fr

Christophe Tuffery :
ctuffery@gmail.com

Rebecca Wragg-Sykes :
rwragsykes@gmail.com

Jean-Paul Raynal :
jpraynal@wanadoo.fr



PRÉFET DE LA RÉGION AUVERGNE

23 AVR. 2015

La Directrice Régionale des affaires culturelles

Clermont-Ferrand, le

René Labeuf
service régional de l'archéologie
04 73 41 27 18
rene.labeuf@culture.gouv.fr

001196

Opération archéologique n°7829
Acte n°2015-081

Monsieur,

Vous m'avez soumis pour examen et avis, un dossier de demande d'autorisation pluriennale pour la mise en œuvre d'un projet collectif de recherches archéologiques portant sur : " Réseau de lithothèques. "

Programmes : 2 à 12

J'ai l'honneur de vous faire connaître qu'après avis de la commission interrégionale de la recherche archéologique Centre-Est (Rhône-Alpes - Auvergne) en date des 11, 12 et 13 mars 2015, je suis favorable à la réalisation de ce projet jusqu'au 31 décembre 2017.

À la fin de l'année, je vous remercie de bien vouloir adresser en triple exemplaire au conservateur régional de l'archéologie, le rapport intermédiaire présentant les résultats de votre première année de recherches. Ce rapport sera également transmis sous forme numérique (format .pdf) sur CD.

Ce rapport comprendra un résumé (12000 signes au maximum) de présentation des résultats scientifiques de l'opération. Ce résumé (au format PC Word, OpenText ou .rtf), qui pourra être complété par les références à quelques illustrations représentatives tirées du rapport, sera également communiqué au Service régional de l'archéologie via la messagerie électronique à l'adresse suivante : archo.uvergne@culture.gouv.fr

Je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de mes salutations distinguées.

Copie / SDA, DRAC (SRA)

Monsieur Paul Fernandes
28, place des Martyrs
38250 VILLARS-DE-LANS

Pour la directrice régionale
et par délégation
Patrice DUCHER
Directeur régional adjoint
des affaires culturelles



DIRECTION REGIONALE DES AFFAIRES CULTURELLES
Hôtel de Ghazeral - 4 rue Pascal - 63010 CLERMONT-FERRAND cedex 01
Tél : 04.73.41.27.00 - Télécopieur : 04.73.41.27.69

Remerciements

Nous adressons nos sincères remerciements au Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne (Ministère de la Culture et de la Communication) incarné en la personne de M. le Conservateur Frédérik Letterlé pour le soutien accordé à ce projet pluriannuel. Nous exprimons pareillement toute notre gratitude aux membres du PCR « Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes » qui nous ont soutenus au cours de cette première année ainsi qu'à l'ensemble des intervenants extérieurs (archéologues, géologues, minéralogistes et géographes) qui ont fait bénéficier, une fois de plus, à ce PCR leurs compétences respectives. Ce programme a tiré avantage du support logistique des laboratoires CRPAA de l'Université Bordeaux-Montaigne, CEPAM - UMR 7264 de l'Université de Nice/Sophia-Antipolis, PACEA - UMR 5199 de l'Université Bordeaux 1, et LAMPEA - UMR 6636 de la Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme de l'Université d'Aix-Marseille.

Ce document est le résultat d'un travail collectif initié par Jean-Paul Raynal dès les années quatre-vingt. Il contribue aux trois objectifs principaux du PCR :

1. réaliser un atlas des silex marqueurs présents en Auvergne ;
2. dresser un bilan cartographique du domaine minéral exploitable ;
3. améliorer la diffusion des données.

En 2015, à la suite des résultats obtenus par l'investissement bénévole de nos membres, nous avons enrichi l'inventaire des formations à silex, constituer un premier atlas des types génétiques et poursuivi le récolement de la lithothèque de l'Archéo-Logis (Laussonne, Haute-Loire).

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à Jean-Paul Raynal, Emmanuelle Defive, René Liabeuf, Michel Piboule, Daniel et Jocelyne Chomette, Audrey Lafarge, Robert Séguy, Guillaume Agrain, Bernard Peyrot, Pascal Tallet, Christophe Tufféry, Rebecca Wragg-Sykes, Stephan Dubernet, Carmen Santagata, Alain Queffelec, Eric Pubert, Patrick Schmidt, François-Xavier Le Bourdonnec, Médard Thiry qui par leurs travaux ou leurs contributions ont permis la réalisation de ce rapport. Les crédits et le support logistique accordés par la société Paléotime ont été décisifs dans la concrétisation de ce projet. Les résultats obtenus doivent également beaucoup aux conseils prodigués par Christophe Tufféry, Davtian Gourguen et Marie-Hélène Moncel. Il a aussi fallu toute l'attention et l'ingéniosité d'Audrey Lafarge, de Pascal Tallet et Jean-Baptiste Caverne pour trouver des solutions aux (nombreux) problèmes techniques et informatiques. Enfin, nous remercions vivement les membres du bureau de l'AVDPA, qui ont assuré la gestion des crédits. Notre gratitude va ici en particulier à Pierre Bintz.

Paul Fernandes
et Vincent Delvigne

Rapport d'opération : Réseau de lithothèques en Auvergne

1. Présentation de l'opération (PF, VD)

Au cours des cinq dernières années, les évolutions rapides de l'état de l'art - particulièrement dans le cadre de thèses de doctorat ou de projets collectifs de recherche du Ministère de la Culture (PCR « Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes » et PCR « Espaces et subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central ») - ainsi que la prise en compte croissante des divers aspects de la caractérisation des matières premières lithiques dans le cadre des problématiques ayant trait à l'étude des systèmes techniques, ont conduit à une intensification des collaborations et à la constitution informelle d'un groupe de chercheurs autour des questions de référentiels et de caractérisation du silex. Cette intensification des collaborations interdisciplinaires a notamment conduit à la promotion de rencontres scientifiques nationales et internationales autour de questions novatrices et extrêmement stimulantes qui ont suscité une très large adhésion au sein de la communauté des préhistoriens.

La création du PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne » s'inscrit dans cette perspective et s'intègre dans une démarche multirégionale qui constitue à l'heure actuelle un des principaux enjeux de la recherche sur les sociétés paléolithiques et néolithiques. Dans ce contexte, la caractérisation précise des ressources fixes – et notamment celle des roches siliceuses 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, couplée à la technologie lithique, d'identifier des modes de transport des artefacts qui renseignent sur les formes sociales et les régimes de mobilité permettant de matérialiser des processus d'interaction qui mettent parfois en jeu

des entités culturelles perçues comme distinctes. Ce travail envisagé sur une période de trois ans (2015-2017) fait suite aux conclusions des réunions qui se sont tenues les 14 avril et 16 septembre 2014 au Ministère de la Culture et de la Communication (Annexes 1 et 2) en présence des deux instituts du CNRS concernés (InEE et InSHS). Plus récemment, ces deux Instituts, la sous-direction de l'Archéologie du MCC et la direction de l'Inrap se sont concertées pour contribuer à une structuration nationale des recherches sur les géomatériaux afin de mettre en place une meilleure organisation de la communauté concernée (Annexe 3).

Nous tenons donc à prévenir le lecteur que ce rapport présente certes un état des recherches en Auvergne mais également comme prérequis celui des démarches analytiques en cours et des principaux résultats obtenus pour d'autres régions (PACA, Aquitaine, Rhône-Alpes). Ce type de document (par essence interrégional) est désormais nécessaire pour structurer un réseau national de chercheurs puisque l'objectif est triple : 1) déterminer les conditions de mutualisation des collections de référence et des systèmes de bases de données existants, 2) harmoniser les méthodes de caractérisation et 3) réinvestir ces informations aussi bien dans le cadre de l'archéologie programmée et préventive que dans le dispositif de formation à et par la recherche.

1.1. Historique de la discipline

La volonté d'étudier les matières premières est aussi ancienne que la recherche en préhistoire ; en sont pour preuve les déterminations pertinentes de A. Damour (1865), A. de Chasteignier (1868), H. Vinay (1867), E. Lartet et H. Christy (1864) ou M.

Boule (1892). Cette liste est loin d'être exhaustive et nous préférons inviter le lecteur à consulter les mémoires de doctorat de A. Masson (1981), dans lequel l'auteur fait une présentation détaillée de l'histoire de la discipline jusqu'en 1980, et de P. Fernandes (2012), pour les années suivantes de 1980 à 2010.

À partir des années trente, une mise au point méthodologique est initiée en Allemagne et en Pologne (cf. Eisenack, 1931 ; Krukowski, 1939 ; Wetzel, 1943, 1953 ; Kowalski et al, 1959 ; Kozłowski et Kaczanowska, 1972). Les ouvrages de Stelcl et Malina, 1970 et 1974 font office de premières synthèses. En France, le mouvement s'organise lui à partir des années quarante-cinquante d'abord autour des géologues du centre et sud du Bassin parisien (Deflandre, 1934, 1935, 1966 ; Valensi, 1953, 1955, 1957 ; Foucher 1971, 1974) puis des préhistoriens du bassin d'Aquitaine sous l'égide de l'Institut du Quaternaire à Bordeaux (Bordes et Sonneville-Bordes, 1954 ; Turq, 1977 ; Séronie-Vivien et Le Tensorer, 1979 ; Morala, 1979 ; Demars, 1980 ; Duchadeau-Kervazo, 1982 ; Rigaud, 1982 ; Tavoş, 1984 ; Séronie-Vivien et Séronie-Vivien 1987 parmi d'autres). Durant les années 1980, quatre travaux universitaires se présentent comme le point d'acmé du dynamisme de la recherche en pétroarchéologie ; ceux de A. Masson (1981) en Auvergne, de P.-Y. Demars (1982) dans le bassin de Brive, de M. Mauger (1985) dans le centre du Bassin parisien et de T. Aubry (1991) dans le sud du Bassin parisien.

Si un premier modèle de fiche de caractérisation rationnel est proposé par B. Malissen dès 1977, ce n'est qu'à partir de la fin des années 1980 que les initiatives se sont multipliées pour constituer des référentiels de géomatériaux employés pour la production des outillages en pierre taillée. La caractérisation des roches siliceuses – au premier rang desquelles le silex – s'est avérée un outil essentiel 1) pour évaluer leur aptitude à la taille et les comportements techniques préhistoriques en termes de connaissances et de savoir-faire, 2) pour étudier les modes d'exploitation des ressources environnementales et la territorialité des groupes humains, ou encore 3) pour mettre en évidence des transferts permettant d'aborder les systèmes de mobilité et les interculturalités à différentes échelles. De nouvelles bases méthodologiques sont ainsi posées et la discipline, devient l'une des branches majeures de l'archéologie préhistorique sans pourtant qu'aucun réel consensus ne s'établisse entre les différents acteurs, cette discipline, encore immature, s'étant avant tout construite individuellement et localement au gré de l'expérience propre à chaque chercheur .

1.2. Etat de l'art sur la provenance des silex en Auvergne

L'inventaire qui va suivre reflète une partie seulement de la documentation disponible, qui est ancienne et particulièrement importante.

Pour l'Auvergne, la démarche consistant à retrouver l'origine des silex fut initiée très tôt en Haute-Loire (Vinay, 1867 ; Delaunay, 1870 ; Tournaire, 1871 ; Boule, 1892), dans le Cantal (Rames, 1873 ; Aymard, 1921 ; Boisse de Black, 1933 ; Marty, 1937) et dans le Puy-de-Dôme (Pomerol, 1888 ; Giraud, 1902 ; Glangeaud 1922 ; Lavocat 1945 ; Rey, 1949, 1973). Mais ces premières tentatives, à l'exception du travail sur le Rond-de-Saint-Arcons de D. Peyrony en 1946, n'ont reprises qu'à partir des années soixante (Virmont, 1965 ; Bayle des Hermens, 1966 ; Delporte, 1966 ; Chaillou, 1967 ; Tapsoba, 1967 ; Gibert, 1972 ; de Goër de Herve *et al.*, 1972, 1980, 1991 ; Laborde, 1972 ; Colin, 1973 ; Deschamps, 1973 ; Pesme, 1974 ; Delporte, 1976 ; Brunet *et al.*, 1977 ; Pelletier, 1977 ; Peterlongo, 1978 ; Daugas et Raynal, 1979 parmi d'autres). Dès lors en Auvergne, la reconnaissance des matières premières lithiques est une question récurrente à toute étude archéologique et recensant les ressources régionales à leur manière, chaque chercheur participait à un vaste mouvement scientifique qui servira de base quelques années plus tard aux travaux de A. Masson (1981). Les prospections de bons naturalistes, comme A. Popier (1973), la reprise des fouilles de Baume-Vallée en 1974 par J.-P. Raynal et les premières prospections de P. Fernandes dans le massif cantalien s'inscrivaient dans ce renouveau des travaux sur les matières premières à l'échelle régionale (Torti 1980 ; Philibert *et al.*, 1981 ; Philibert, 1982 ; Muratet, 1983 ; Deurbergue, 1985 ; Dubreuilh, 1989 ; de Bayle des Hermens et Chomette, 1990 ; Bracco, 1992, 1995 ; Charly, 1993 ; Barrier, 1995 ; Surmely, 1998 ; Surmely *et al.*, 1998, 2002, 2008 ; Dufresne, 1999 ; Pasty *et al.*, 1999 ; Surmely et Pasty, 2003 ; Fernandes, 2006 ; Fernandes et Raynal, 2006, 2007, 2010 ; Fernandes *et al.* 2006, 2007, 2008 ; Fernandes et Moncel, 2008 ; Slimak et Giraud, 2007 ; Delvigne 2010, 2012 ; Delvigne *et al.* 2014a, 2014b, thèse en cours ; Lafarge 2014). Il faut également mentionner les travaux à diffusion restreinte du BRGM liés à l'établissement des cartes géologiques au 1/50 000ème et au projet « relief » (Thiry *et al.*, 2004, 2006). Il existe donc régionalement un potentiel important d'échantillons et d'informations sur les gîtes qu'il est aujourd'hui impératif de synthétiser.

La prospection thématique dirigée par J.-P. Raynal « l'Espace minéral au Paléolithique moyen dans le Massif central » de 2006 à 2008 et le PCR

« Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes » que P. Fernandes coordonne encore à ce jour ont permis de constituer un premier inventaire des silex présents dans le Massif central et ses bordures méridionales. Mais depuis, l'impulsion donnée par ces recherches et la demande toujours croissante de diagnose des matériaux lithiques - stimulée en particulier par les études technofonctionnelles de sites de Haute-Loire et de l'Allier (notamment Sainte-Anne I et II, le Rond-du-Barry, le Blot, les Hauts de Buffon et la Contrée Viallet) - la connaissance du potentiel lithologique et gîtologique auvergnat s'est considérablement accrue (Fernandes op. cit. ; Fernandes et Raynal op. cit. ; Delvigne op. cit. ; Delvigne *et al.* op. cit.).

2. Bilan d'activité du PCR Réseau de Lithothèques (PF et VD)

Depuis 2000, nous poursuivons un travail qui doit permettre d'accroître nos connaissances sur le positionnement et la nature des silex en utilisant leur capacité à enregistrer les processus pédologiques et climatiques. Les rares 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. Elles sont considérées comme les maillons d'une chaîne évolutive (Fernandes, 2006).

2.1. Historique (PF, VD)

C'est pour cette raison que fut créé, sur la base d'une cooptation libre, «le Groupe silex» afin d'œuvrer sur la question du silex dans le Massif central. Cette équipe, constituée de cristallographes, minéralogistes, pétrographes, géologues et préhistoriens, a entrepris de mettre en place une démarche expérimentale dans le but d'élaborer un outil de diagnose utilisant d'anciens paramètres revisités et de nouveaux éléments ayant trait aux propriétés d'enregistrement des modifications climatiques et paléoenvironnementales des silex.

A partir de 2003, dans le cadre de l'étude des séries lithiques de sites du Paléolithique moyen vellave et ardéchois (p. ex. Baume-Vallée, Sainte-Anne I, Payre) progressivement étendue à des séries numériquement secondaires mais d'un intérêt paléogéographique humain

évident (Rond-de-Saint-Arcons, Rond-du-Barry, Rochelimaque, abri des Pêcheurs, abri du Maras...), le groupe a développé la volonté de refonder la pétroarchéologie sur des bases plus solides (Fernandes, 2006 ; Fernandes et Raynal, 2006a, 2006b, 2007 ; Fernandes *et al.*, 2005, 2006, 2007, 2008; Moncel et Fernandes, 2008). Initiée dans le sud de la Région Auvergne, la prospection thématique intitulée « le potentiel minéral au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central » (coordonnée par J.-P. Raynal) déborde depuis 2006 les limites administratives régionales. Elle intègre dès lors une partie des régions Languedoc-Roussillon (prospection thématique «Espace minéral au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central. Volet Lozère » coordonnée par P. Fernandes) et Rhône-Alpes.

La même année (2006), le groupe s'associe au PCR « Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes » (coordonné par C. Bressy puis P. Fernandes à partir de 2009) dans les départements du Gard, de l'Ardèche, de la Drôme et de la Loire, afin de lever des incertitudes géologiques et archéologiques que seule permet l'approche interrégionale. Cette union déterminante, fut la première étape, le terrain d'essai, de la démarche nationale 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 (Guibert, 2000 ; Fernandes, 2006 ; Affolter, 2009 ; Affolter et Bressy, 2009 ; Bressy, 2009 parmi d'autres), permet aujourd'hui de visualiser la dispersion théorique de chaque type de silex jusque dans les gîtes secondaires.

Tous ces efforts ont permis d'établir un premier inventaire des silex présents dans le Massif central et d'améliorer le protocole de caractérisation au fil des problèmes rencontrés. Avec les travaux de thèse de P. Fernandes (2012) et de V. Delvigne (soutenance prévue le 15 février 2016) l'altération des silex est utilisée 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 et les réflexions sur les comportements dans le sud du Massif central, des causses occidentaux au sillon rhodanien.

En 2010, pour des raisons liées au problème des objets déplacés sur de longues distances au Paléolithique moyen (Baume-Vallée, Sainte-Anne, le Rond-de-Saint-Arcons) et plus encore au Paléolithique supérieur (Delvigne 2014b, thèse en cours), le projet est à nouveau élargi. Les membres du PCR décident de travailler sur la quasi-totalité du Languedoc-Roussillon, de Provence-Alpes-Côte d'Azur, de l'Aquitaine, du Centre et du Poitou-Charentes. Cette démarche a abouti à la constitution d'un atlas des microfaciès multirégional 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 (Fernandes *et al.* 2014). Outre les données brutes ayant trait à la caractérisation des matériaux, cet inventaire dynamique intègre le dépouillement d'un grand nombre de documents : 1) les principaux articles et thèses traitant des formations à silex du sud de la France ; 2) 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 3) 529 cartes géologiques au 1/50 000 et leurs notices.

A partir de 2012, les membres du « Groupe silex » on 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 lors d'une séance internationale de la Société préhistorique de France à Nice en mars 2013 par D. Binder fait partie de cette démarche.

A la suite de celle-ci, une série de réunions de travail a été organisée au Musée Nationale 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).

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 ayant conduit 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).

Enfin, 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 (Annexe 4).

Depuis 2014, le projet fédère donc le Ministère de la Culture et de la Communication (la Sous-Direction de l'Archéologie, le Centre National de Préhistoire, les SRA : Rhône-Alpes, Auvergne, PACA, Corse, Centre), plusieurs laboratoires du CNRS (CEPAM, PACEA, LAMPEA, MINES PARIS Tech, IRAMAT-CRP2A) et universités (Nice, Bordeaux 1, Bordeaux Montaigne et Aix-en-Provence/Marseille), divers programmes collectifs de recherches (« Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes », « ETICALP : Matières premières, productions et usages, du Paléolithique supérieur à l'âge du Bronze ancien » ; « Espaces et Subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central ») ainsi que la société Paléotime et l'Institut National de Recherche d'Archéologie Préventive.

En 2015 le projet a obtenu un avis favorable à la constitution d'un PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne » jusqu'au 31 décembre 2017. À ce jour les missions du PCR sont donc soutenues financièrement par l'État dans deux régions (Rhône-Alpes et Auvergne), des collectivités (Conseils généraux de l'Ardèche, de l'Ain, de l'Isère et de la Savoie), des associations l'Archéologis/CDERAD (Laussonne, Haute-Loire) et la société Paléotime.

La même année une convention a été signée entre le laboratoire l'IRAMAT-CRP2A et PALEOTIME, conformément à leurs missions respectives, sur l'ensemble des champs de recherche communs aux parties et plus précisément sur l'axe de recherche « de la source à l'objet ». On note que la volonté de travailler sur la provenance des silex est de plus en plus prégnante. Pour ce laboratoire cet axe est horizontal et concerne l'ensemble des moyens humains et matériels (plateformes analytiques et expérimentales).

En parallèle, au vu des avancées méthodologiques importantes pour le Mont Ventoux (*supra*), certains membres du PCR (J-P. Platel, A. Morala, A. Turq, P. Fernandes, C. Tuffery, V. Delvigne, J-B. Caverne) ont participé à l'encadrement d'un second stage de géomatique (Tallec, 2015; Annexe 5). Ce travail a été réalisé par un élève ingénieur de l'ESGT-CNAM, accueilli et pris en charge par le CNP à Périgueux entre mars et septembre 2015.

Dans la continuité des travaux réalisés par le PCR au cours des années précédentes et grâce à la dynamique collaborative instaurée avec le CNP, l'étudiant a réalisé la numérisation des formations à silex pour le département de la Dordogne (Figure 1). Le travail de numérisation a été effectuée selon le même protocole que celui utilisé pour la région PACA, à savoir la digitalisation à l'écran dans un logiciel de SIG des contours des formations à silex à partir des cartes géologiques du BRGM au 1/50 000 depuis le webservice Infoterre du BRGM affichées au 1/10 000.

En outre, une étude complémentaire a été conduite pour modéliser le déplacement par gravité en prenant comme site d'étude le bassin-versant de la Manaurie.

La première étape du travail a consisté à établir un schéma théorique des déplacements de surface des nodules de silex entre les formations géologiques concernées (Figure 2).

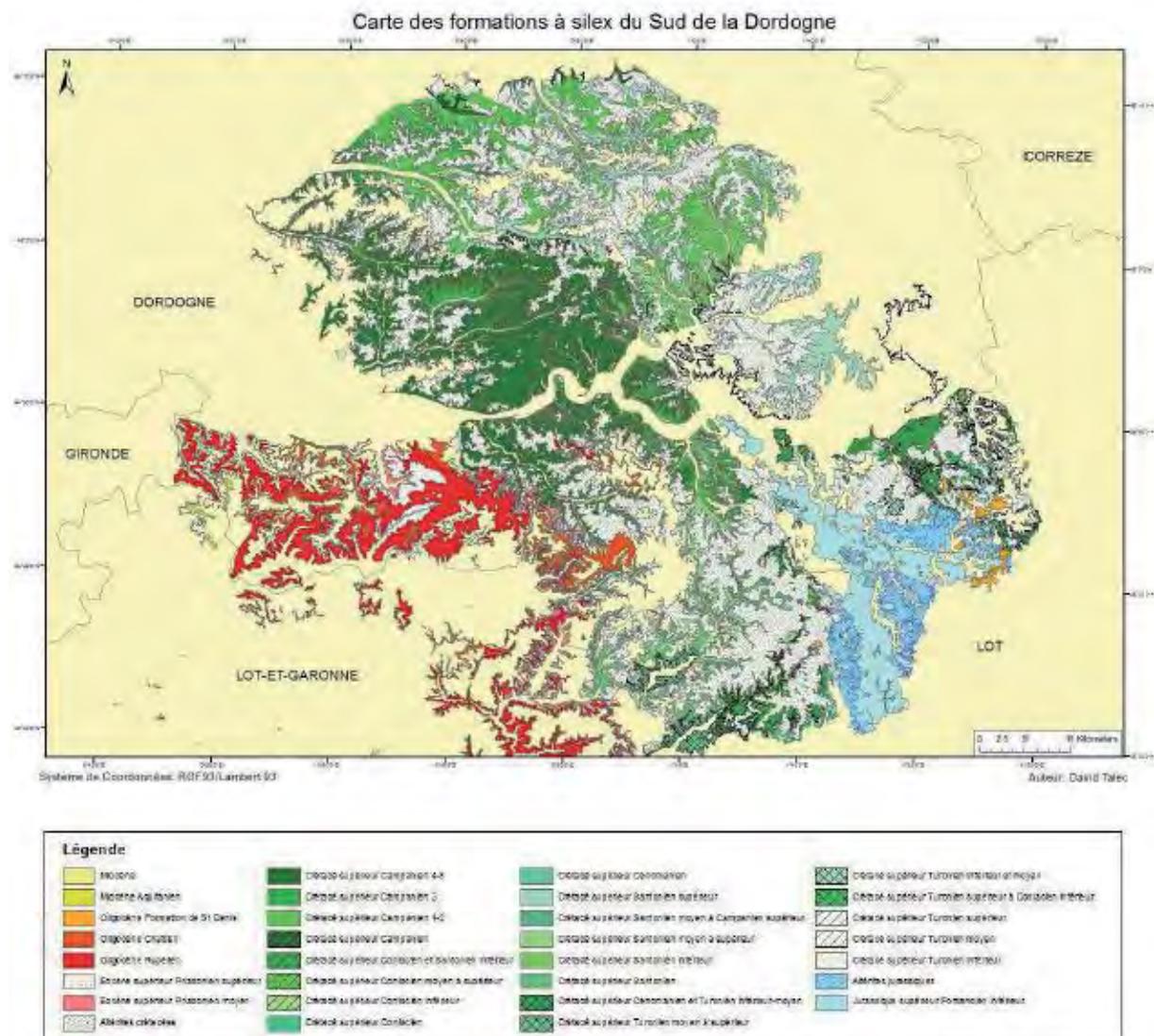


Figure 1 : Carte des formations à silex du sud de la Dordogne (Tallec, 2015)

Ce schéma théorique a été ensuite appliqué sur le bassin-versant de la Manaurie afin de déterminer en un point géographique donné les types de silex que l'on peut trouver et en quelles proportions (Figure 3). Cette méthode a consisté en :

- l'extraction des surfaces d'approvisionnement;
- le découpage des surfaces en fonction des contours des formations géologiques ;
- le degré moyen des pentes et de l'aire pour chaque polygone.

Pour ce travail de nombreuses données géoréférencées ont été utilisées :

- cartes géologiques au 1/50 000 du BRGM et leurs notices ;
- BD Alti et RGE Alti de l'IGN ;
- données du réseau hydrographique issu de la BD Carthage ;
- données de prospection sur le terrain ;
- collections provenant de sites archéologiques.

Depuis peu, des contacts sont pris avec des chercheurs de l'Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux Condensés de Paris, toujours afin d'augmenter l'arsenal méthodologique

relatifs aux problèmes d'origine des silex ici par le biais d'une distinction des types géologiques grâce aux impuretés et aux défauts d'irradiation. Des relations étroites avec ce laboratoire permettront une approche théorique de l'étude de la structure des différents minéraux et du comportement des composants acquis au cours de l'évolution postgénétique.

La portée heuristique de cette démarche multirégionale aux approches variées mais intégrées est incontestable et cette méthode de caractérisation des géomatières, qui participe aujourd'hui à une approche holiste des sociétés préhistoriques dans une double optique paléolithique et paléocologique, fait la spécificité de l'École française telle que reconnue internationalement. Le PCR « Réseau de lithothèques » qui a débuté en Rhône-Alpes et s'est prolongé en Auvergne est désormais en mesure d'évoluer vers une structure multirégionale plus large en s'étendant à des régions sur lesquelles sont engagement est déjà probant (Aquitaine, Centre, Île-de-France).

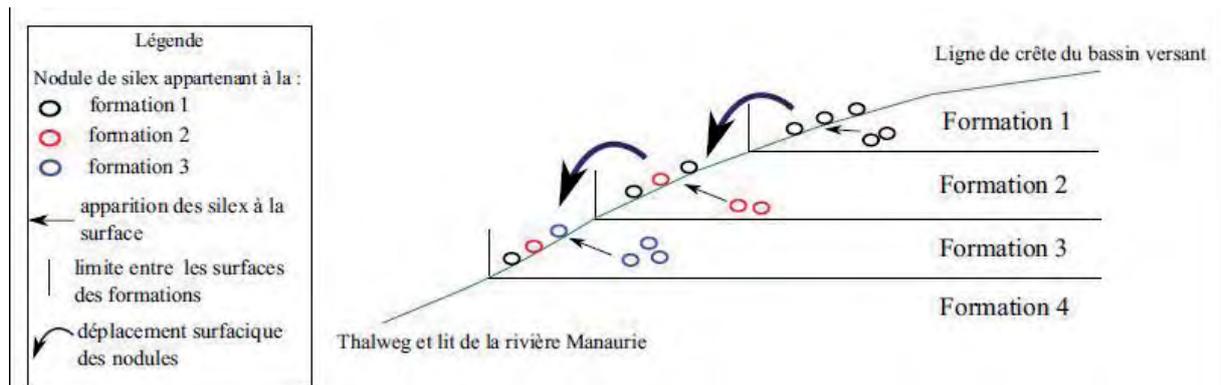


Figure 2 : Schéma théorique des déplacements de surface des nodules de silex entre formations géologiques (Talec, 2015)

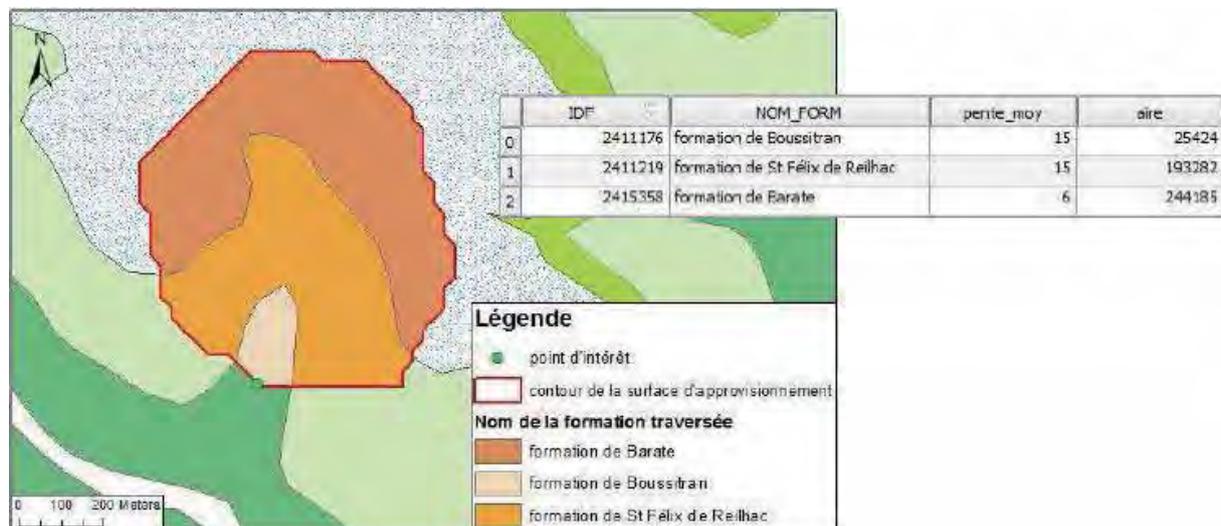


Figure 3 : Exemple de résultat sur une zone du bassin-versant de la Manaurie

2.2. Missions et moyens d'y parvenir

La mission du PCR comprend plusieurs thématiques. Chacune représente un projet scientifique et patrimonial faisant appel à des méthodes innovantes et un savoir-faire collégial :

1. Lever les incertitudes en utilisant un protocole fondé sur l'analyse comparative des transformations pétrographiques et morphologiques rencontrées dans les matériaux bruts (échantillons géologiques) et dans les objets archéologiques. L'analyse, classique (qui privilégie les bioclastes) est corroborée par une démarche dynamique qui intègre des critères discriminants (la biostratigraphie, la pétrographie, la morphométrie, la granulométrie). Au regard de l'intensité de l'altération de la majorité des échantillons géologiques étudiés, nous avons introduit le concept de « chaîne évolutive du silex » (Fernandes et Raynal, 2006) qui élargit à la préhistoire les raisonnements sur le rapport entre silex et environnements. En effet, dans le cadre d'une recherche de provenance, la seule notion de gîte primaire - le type génétique - n'est qu'incomplètement pertinente. Une vision globale de la chaîne évolutive permet une meilleure appréciation des lieux de collecte et des processus à l'origine de la mise en place de l'unité archéologique. Les mécanismes liés à la genèse déterminent les types génétiques. Les transformations prédépositionnelles spécifient les types gîtologiques et les altérations post-dépositionnelles participent à l'étude taphonomique du site. Il existe plusieurs types gîtologiques pour un même type génétique, donc autant de lieux de collecte potentiels (Fernandes, 2012). Cette démarche originale, fondée sur l'étude de l'évolution des silex et la description des microfaciès siliceux selon un nombre de paramètres pertinents et invariants raisonnable - principalement la nature, l'abondance, le classement, l'orientation, la taille et la forme des allochems (endoclastes, exoclastes, bioclastes) –, a livré des résultats permettant la discrimination des différents types dans la très grande majorité des cas. En parallèle, l'analyse micromorphologique des surfaces naturelles, inspirée par les travaux de L. Le Ribault (1975) et adaptée à la problématique des silex, permet de reconstituer leur histoire postgénétique. Nous avons recensé, sur les surfaces naturelles des silex du bassin du Puy-en-Velay, une série de critères à l'échelle microscopique permettant de rapprocher une association d'altérations ou une transformation de la texture à un nombre restreint de formations superficielles.
2. Construire des outils permettant d'évaluer l'intérêt de la recherche en poursuivant l'élaboration de cartes géoréférencées dans le cadre de la constitution d'un atlas régional des silicifications. En intégrant la notion de « chaîne évolutive du silex » (Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2006) nous avons commencé à créer des cartes dynamiques sur lesquelles chaque gîte primaire est mis en relation avec l'ensemble des formations qu'il alimente. Ainsi, chaque gîte secondaire est considéré comme le maillon d'une chaîne, de l'encaissant vers les gîtes les plus éloignés. Les formations et le ou les types de silex qu'elles contiennent sont intégrées à un ensemble interdépendant dynamique. Une fois établie la liste des associations de traces et de stigmates pour chaque formation, leur lecture systématique permet de rapprocher la surface naturelle d'un silex provenant d'une série archéologique à un type d'environnement donné. En amont de tout ce travail fait sur les cartes numériques nous avons repris la nomenclature de l'ensemble des formations à silex pour les départements de l'Allier, de la Haute-Loire et du Puy-de-Dôme (annexe 6). Pour l'Auvergne, nous possédons déjà une série de fiches finalisées (annexe 7) associées à un fond photographique de surface brute et sur lames minces.
3. Concevoir des structures adaptées à notre démarche par la réorganisation des lithothèques de Laussonne (en cours) et du SRA de Clermont-Ferrand qui devraient à l'avenir représenter plus fidèlement l'ensemble des chaînes évolutives propres à chaque type génétique. 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, témoigné en particulier par les états de surface, la lithothèque devient un référentiel paléogéographique au service de l'archéologue. La lithothèque n'est plus 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.
4. Confronter nos précédentes analyse à l'étude des séries archéologiques : depuis 2010 la qualité des résultats obtenus sur la provenance des silex a progressé, car les bases de données et les protocoles de caractérisation se sont améliorés. A ce jour nous avons examiné les caractères minéralogiques, pétrographiques et micropaléontologiques des silex archéologiques de Soleilhac à Blanzac, de Sainte-Anne I et de Rochelimaque à Polignac, de Baume-Vallée à Solignac-sur-

Loire, du Rond à Saint-Arcons, de Rapavi à Saint-Pierre-Eynac, du Blot à Cerzat, de la Roche-à-Tavernat à Chanteuges, du Rond-du-Barry à Polignac, de l'abri Cottier à Retournac, de la Contrée Viallet à Gannat, de la Faye Godet à Viplaix, de l'abri Dufau à Blavozy, de Sainte-Anne II à Polignac, de Tatevin et du Degaure à Chanteuges, des Haut-de-Bufferon à Montluçon, de Marsat et du col de Claron au Crocs de Géorand.

3. Principaux résultats de la campagne 2015

3.1 Listing des gîtes à silicifications présents dans la lithothèque de l'Archéo-Logis à Laussonne (VD, PF, DC, ED, AL, RL, MP, JPR)

La lithothèque de l'Archéo-Logis à Laussonne compte plus de 5000 échantillons pour 1240 gîtes répertoriés. Ils proviennent de différents départements couvrant l'Ardèche, la Lozère, l'Aveyron, l'Indre-et-Loire, l'Indre, le Cher, le Loir-et-Cher, le Loiret, l'Yonne, la Loire, l'Allier, le Puy-de-Dôme, la Haute-Loire et le Cantal. Pour l'Auvergne, sont répertoriés les échantillons provenant de 320 gîtes répartis sur 128 communes distinctes.

Chacun des gîtes est renseigné dans un listing (Annexe 8) qui prend en compte : le numéro du gîte, la situation géographique (département, commune, lieu-dit), la position X, Y, Z en Lambert 93, le type de silicification, le type de gîte, le nombre d'échantillons, l'attribution stratigraphique du gîte et les types de silex rencontrés.

3.2 Un point sur les silicifications d'Auvergne. Haute-Loire, Puy-de-Dôme, ouest de l'Allier (VD, PF, AD, MP, AL, RL, JPR).

3.2.1 La Haute-Loire

Le Velay et le Haut-Allier sont réputés dépourvus de silicifications (Virmont 1981 ; Bracco 1992a, 1994a, 1995a, 1996 ; Bosselin 1997 ; Surmely 2000 ; Surmely et Pasty 2003 ; Surmely *et al.* 1998, 2008 ; Surmely et Franklin 2012 ; Angevin 2010b ; parmi d'autres) bien que les travaux de A. Masson aient souligné le caractère erroné de ce préjugé dès le début des années 80' : « Il apparaît donc que le Massif central n'est pas trop dépourvu de matériaux siliceux, contrairement à la mauvaise réputation qui lui est faite. Ces matériaux sont abondants et variés mais c'est la qualité qui fait défaut » (1981a : 45). Les recherches récentes menées ces dix dernières années dans le cadre

de la prospection thématique « L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central » ont tempéré cette affirmation et permettent de mieux considérer le potentiel régional. S'il est vrai que les gîtes primaires sont rares, ou pour le moins d'extension réduite (généralement quelques centaines de mètres carrés), les formations secondaires regorgent de silicifications de divers types plus ou moins aptes à la taille ayant servi de véritables réservoirs de matériaux depuis les débuts de la Préhistoire auvergnate (Fernandes *et al.* 2008a, 2008b, 2009 ; Fernandes 2012). Il en résulte que la majorité des silicifications (exception faites des « chailles », *infra*) se concentre préférentiellement dans les bassins sédimentaires cénozoïques et le long des vallées, le volcanisme post-miocène (Mergoïl et Boivin 1993 ; Defive 1996) ayant bouleversé la topographie et recouvert une grande partie du Velay. À l'ouest de l'Allier, les terrains cristallophylliens du plateau de la Margeride sont vierges de matériaux siliceux, mais de telles roches se développent dans les vallées sises de part et d'autres (p. ex. Saint-Léger-du-Malzieu, Beaumont).

Les silex marins retrouvés en Haute-Loire ont été formés au Dogger (Aalénien, Bajocien) et affleurent aujourd'hui exclusivement en position secondaire dans les « sables à chailles » mis en place au Miocène (Boule 1892, Kieffer 1962, Defive *et al.* 2011) au dessus de dépôts sablo-argileux d'origine fluviatile. Il s'agit de formations à galets de quartz et de silex riches en spicules de spongiaires, lithophyllum et foraminifères textularidés, provenant de l'érosion de calcaires jurassiques septentrionaux, aujourd'hui démantelés¹. Plus à l'ouest, ces formations encore en place se retrouvent dans les grandes Causses du nord de la Lozère (p. ex. Causse de Montbel). Leur répartition géographique est large, s'étendant des plateaux du Mézenc (Mazaboulet, vallée de l'Orcival, suc de Chabrières à Borée) au cœur du Bassin-du-Puy via les vallées de la Laussonne et de la Gazeille (Vinay 1867, Grüner 1870 ; Lory 1870 ; Bout 1953 ; Defive 1996).

Ces formations sont également présentes dans la haute vallée de l'Allier à la limite entre Haute-Loire et Lozère aux environs de Langogne dans le graben de Naussac (Fabre 1893 ; Fabre et Ressouches 1911). Ce gîte secondaire multiple, qui contient en abondance de nombreux types de silex, a servi de véritable réservoir pendant toute la Préhistoire. On y reconnaît des silex aaléniens (F0021, D1307), bajociens (F0140.1) et tithoniens (F0140.2), des silcrètes éo-oligocènes à glaeubles d'origine

1. À l'heure actuelle aucun affleurement jurassique n'est reconnu ni dans le sud de la Haute-Loire, ni en Haute-Ardèche.

primaire inconnue et une silice hydrothermale à cristaux de quartz aciculaires (F0152) (Fernandes *et al.* 2008b, 2009). Le cortex de certains galets, s'il témoigne certes d'un transport fluviatile, porte des stigmates nous évoquant un séjour en milieu marin à un moment du parcours : traces isolées de broutage, de chocs et en chevron, cassures conchoïdales, homogénéisation des reliefs et surtout aspect mat de certains cortex. De tels silex pourraient provenir d'une reprise de stocks sédimentaires à galets marins par le paléo-Allier lors du soulèvement de la bordure sud orientale du Massif central au Paléogène. Enfin, si une grande part de la série jurassique a été érodée (Aalénien, Bajocien, Tithonien) et ne se retrouve aujourd'hui qu'en position secondaire dans le bassin de Langogne, il n'existe pas de silex crétacé (inférieur ou supérieur) en Haute-Loire en position primaire ou secondaire, ni dans les dépôts fluviatiles actuels, ni dans ceux anciens. Si de rares silex dont les faciès miment ceux du barrémo-bédouliens de la moyenne vallée du Rhône (type F0034 de P. Fernandes 2012) ont été identifiés à Naussac et ont pu faire dire l'inverse (Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008c), la réintégration de ce type gîtologique dans la chaîne évolutive de F0140.1 est venu infirmer cette assertion (Fernandes 2012)².

Au vu de la quantité de matières présentes à Naussac (plusieurs centaines de mètres cubes), la rareté de silex dans la haute vallée de l'Allier est donc toute relative, d'autant qu'en aval de Chanteuges, la paléo-Truyère (chenal 2 sensu Fernandes *op. cit.*) a fourni l'Allier en silicifications (D1200, F0005, F0037, F0021) jusqu'au Miocène final. Celles-ci, absentes du cours actuel, sont bien présentes en position secondaire dans les hautes terrasses et/ou sur les plateaux (ruisseau de Barret à Couteuges). De même, si aujourd'hui les silex sont rares dans le cours actif de la Loire, de l'Allier ou de la Truyère, il n'en était probablement pas de même au Pléistocène où le jeu de l'érosion, plus important, devait affouiller les formations de « sables à chailles » augmentant de facto leur fréquence dans le lit des rivières.

Si comme d'autres avant nous, nous avons reconnu le caractère parfois médiocre d'un grand nombre de ces silicifications (diaclasses, petite taille, hétérogénéité, désilicification ...), quelques unes - notamment les types F0140.1 et F01402.2 - affleurent sous la forme de galets oblongs au volume conséquent (jusqu'à une vingtaine de centimètres de long). Notons que nous avons identifié ces deux types seulement sur le gîte

2. Pour autant, des silex barrémo-bédouliens d'Ardèche (F0014) en association avec des silex bajociens évolués (F0034 = sous type gîtologique de F0140.1) sont bien présents dans l'unité J1 de Sainte-Anne 1 (Paléolithique moyen ancien) et dans le Moustérien de Baume Vallée.

secondaire multiple de Naussac, en faisant dès lors des marqueurs de déplacements à l'échelle régionale même si ceux-ci sont retrouvés en position secondaire.

Les silicifications autochtones du Velay sont illustrées par les silex oligocènes (Stampien) qui affleurent dans les marno-calcaires de la vallée de la Borne (F0003.1, F0003.2, F0003.3). Ils se présentent sous forme de plaquettes ou de rognons plus ou moins réguliers, parfois de grandes dimensions (> 20 cm), dont l'assemblage micropaléontologique signe clairement une origine lacustre : tiges de characées, gyrogonites et ostracodes lisses plus ou moins bioturbés. Les différents faciès sédimentaires renseignent sur la paléobathymétrie du lac permettant de considérer sa variation depuis Saint-Vidal jusqu'aux Rivaux, à Espaly-Saint-Marcel. L'ensemble de ces silex se retrouve dans les divers types de gîtes prenant place le long de la vallée de la Borne : colluvions (p. ex. Pralong), alluvions récentes (p. ex. Les Rivaux), alluvions anciennes du Bassin du Puy (p. ex. Le Monteil), mais également alluvions sous-basaltiques (p. ex. Bilhac) ou tuff-ring (p. ex. Rochely).

D'autres silex, palustres, sont présents au cœur du massif du Meygal, dans les dépôts de pentes des flancs est et sud-est du suc d'Araules. Ils affleurent sous forme de plaquettes plus ou moins épaisses riches en planorbes (F0036.1) (*Hyppeutis* sp. ou *Anisus* sp. détermination G. Truc in A. Masson 1981a). L'existence d'un tel faciès sur le gîte secondaire multiple du Monteil, dans les formations détritiques plio-pléistocènes de la Loire en amont de l'embouchure avec le Lignon, pose la question de la présence d'un gîte inconnu (démantelé ?) dans le réseau hydrographique de la Loire en amont du horst de Chaspinhac. Il en va de même de silicifications retrouvées dans les dépôts de Bilhac qui apparaissent sous forme de petites dragées centimétriques de silex gris azoïques riches en opale³.

Enfin, des silicifications mêlées à des formations argileuses ont été retrouvées en position secondaire sur le flanc nord du Mont Serres. Il s'agit d'un silex palustre à microvadoids très serrés sans élément biogénique. À ce jour, nous ne connaissons ce matériau qu'en position secondaire.

Des silcrètes (pédogénétiques ou phréatiques) aux zones d'affleurement réduites prennent place en différents points du Velay et du Haut-Allier. Même si chacune d'elles possède sa propre signature, ces silicifications évoluent de façon importante (macro- et microporosité prononcée), transformant parfois les faciès à un point tel que

3. Nous n'avons pas reconnu ces silex dans les séries du Paléolithique supérieur vellave mais ceux-ci ont été exploités par les moustériens du site de Rochelimage situé à quelques centaines de mètres (obs. pers.).

leur distinction est rendue difficile.

Par exemple, ceux azoïques de la Collange (F0004) se retrouvent depuis leur gîte primaire (Lantriac) dans la vallée de la Laussonne jusqu'au cœur du Bassin du Puy sur le gîte du Monteil où, évolués, ils présentent des convergences de faciès avec un silcrète à rares gyrogonites (Techochara ?) qui est exclusivement connu en position secondaire (D1418). La dalle de la Collange est formée au dépend (et vient coiffer) d'une formation sableuse ayant subi une latérisation à la fin du Jurassique/début du Crétacé (Thiry *et al.* 2014). Or, cette ancienneté de la diagenèse siliceuse, qui fut probablement pénécontemporaine de la ferruginisation sous climat hydrolysant, pourrait en partie expliquer l'évolution extrêmement poussée de certains galets de type F0004 retrouvés dans les hautes terrasses de la Loire (Le Monteil).

La majorité des silicifications continentales du Velay est attribuée à une période plus récente (Éo-Oligocène). Au lieu dit l'Aulagnier, à proximité des silex lacustres F0036.1 (supra), sur le flanc sud-ouest du suc d'Araules, affleure une dalle de silcrète noir riche en traces de racines et microquartz détritiques (F0036.2). Elle se distingue des silcrètes à débris de végétaux du Mazet-Saint-Voy (Les Crozes et Roudon, F0020) ou de ceux à stromatolithes de Saint-Pierre-Eynac (F0009).

De même, dans la vallée de l'Allier, outre les silcrètes à glaebules de Naussac, une dalle siliceuse de silcrète blanc azoïque à microvadoids et à passés noirs en position stratigraphique semblable à celle de la Collange a été reconnue à Beaumont (D0069). Remarquons que cette dernière a souvent été confondue dans les séries lithiques du Paléolithique supérieur vellave avec « la silice hydrothermale de Saint-Pierre-Eynac »⁴.

À l'image de celle de la Collange, une meilleure appréciation de la position stratigraphique de toutes ces dalles siliceuses pourrait apporter des indices supplémentaires quant à l'évolution des environnements du cœur du Massif central depuis la fin du Jurassique.

Par delà la Margeride à Saint-Léger-du-Malzieu (Lozère), des silcrètes éo-oligocène (?) (F0005) bariolés (noir, gris, rouge, vert), riches en Typha affleurant sur plus de dix mètres d'épaisseur (Simon-Coinçon *et al.* 1995) sont connus de longue date (Delaunay 1870). On les retrouve sous des formes très altérées (p. ex. D1200) en compagnie de galets de silex palustre à hyphes mycéliens (F0037) et de silex jurassiques (chailles)

4. La reprise des travaux de terrain à Saint-Pierre-Eynac en 2014 et 2015 a confirmé l'absence d'un tel faciès sur le gîte.

dans la paléo-Truyère (chenal 2 sensu Fernandes 2012) et dans la vallée de l'Allier (Couteuges).

De même, dans la vallée de la Dore à Arlanc (Puy-de-Dôme), une formation d'âge semblable a été identifiée. Elle apparaît sous forme de grandes dalles de silcrète (F0044) formé au dépend d'argiles vertes, à rares quartz détritiques et fragments de végétaux. Actuellement, nous ne connaissons pas l'aire de dispersion de cette silicification, qui potentiellement pourrait s'étendre jusqu'au nord de Clermont-Ferrand (alluvions anciennes de la Dore).

Enfin, de petits affleurements de silice hydrothermale, parfois un unique filon, sont présents dans les terrains granitiques de Haute-Loire (Saint-Haon, Naussac, Chaspinhac). Leur taille réduite et la rareté de leur incorporation au réseau hydrographique rendent toutefois difficile leur découverte d'autant qu'à part la silice hydrothermale de Naussac (F0152), celles-ci ont rarement été exploitées par les hommes du Paléolithique supérieur⁵.

3.2.2 Le Puy-de-Dôme

L'essentiel des gîtes du Puy-de-Dôme se trouve sur les deux rives de l'Allier, au sud de Clermont-Ferrand. Le seul gîte inventorié au nord est situé à Saint Hippolyte entre Enval et Châtelguyon. D'une façon générale les formations à silex sont présentes à l'est de la faille occidentale de la Limagne depuis Vic-le-Comte au sud jusqu'aux Martres-d'Artières au nord.

3.2.2.1 Les silicifications oligocènes (?) de Cournon et de Dallet

Des fragments de rognons et de bancs silicifiés faiblement indurés se retrouvent dans les calcaires de l'Oligocène supérieur autour des Puys d'Anzelle, de Bane, de Mur (D1213) et de Cournon.

L'étude de la lame mince d'un échantillon prélevé à la carrière de Cournon révèle une matrice cryptocristalline majoritairement carbonatée emballant un grand nombre de rhomboèdres (dolomite ?) et de matière bitumineuse sous forme de billes en remplissage de la porosité.

3.2.2.2 Les silicifications oligocènes du Crest et de la Roche Blanche en rive gauche de l'Allier.

J. Giraud (1902) puis J. Jung (1936) signalent la présence de silex dans les carrières à l'entrée de

5. La proportion de ce type de silicification semble augmenter au Mésolithique comme nous l'avons observé au Col des Jalades (Cros-de-Géorand).

la Roche Blanche. Si celles-ci sont aujourd'hui remblayées et ne nous ont pas permis de retrouver les niveaux mentionnés, nous avons collecté des fragments de silcrètes pédogénétiques brun-jaune à traces de racines et rares ostracodes fins fragmentés en place (D0515) dans les dépôts de pentes de part et d'autres de l'Auzon.

3.2.2.3 Les galets des alluvions plio-pléistocènes de l'Allier (types F0021)

J. Giraud (1902) puis P. Glangeaud (1916) mentionnent la présence de chailles (galets de silex aalénien-bajociens altérés des causses de Lozère) dans les alluvions anciennes entre Pérignat-sur-Allier et Dallet. Il s'agit de silex très évolués riches en spicules mono- et triaxones provenant d'un remaniement et d'une dégradation des terrasses anciennes réparties tout au long de l'Allier depuis la Lozère (Fernandes 2012).

3.2.2.4 Les galets des sables à chailles miocènes (types F0021)

Les travaux de J. Giraud (1902), de J. Jung (1936) et les levés de la carte géologique (Aubert *et al.* 1982) ont révélé la présence de galets de silex jurassiques au sein des sables à chailles du plateau de Gergovie, des côtes de Clermont et au-dessus des basaltes inférieurs du Puy de Var (commune de Clermont-Ferrand). Ils apparaissent sous forme de petits modules de silex jurassiques dont la diversité lithologique reste encore à déterminer.

3.2.2.5 Les opales de Mezel, Gergovie, Ceyrat, du Puy Giroux ou de Vertaizon et des environs de Laps ou de Pignols

Ces silicifications à cassures conchoïdales, décrites par H. Lecoq (1867), N. Estève (1942) et A. Rudel (Rudel et Estève 1942 ; Rudel 1966), se rencontrent sous forme de filonnets recoupant les calcaires et les pépérites en différents points du département, sur chaque rive de l'Allier. Elles sont le plus souvent blanches, à l'aspect gras et résineux, parfois tachées de brun ou veinées, homogènes à bréchoïdes (comme celles de Gergovie). Au microscope, on observe une matrice constituée majoritairement d'opale contenant quelques cristallites de calcédoine et de rares grains de quartz.

3.2.2.6 Les silex de la Comté

Il semble exister une unité géologique de la série sédimentaire miocène de la Comté (Giraud 1902) induisant une homogénéité de faciès des silicifications. Quelques différences d'ordre structural permettent toutefois de distinguer les divers types répartis en quatre grandes familles, disposés comme tels dans la plupart des gîtes (de bas en haut) :

- silex rubanés en plaquettes centimétriques affleurant dans les niveaux de calcaires lacustres à palustres, parfois stromatolithiques. Ils correspondent aux silex rubanés de J. Giraud (*op. cit.*) ;
- silex riches en quartz, qui correspondent aux silicifications signalées par N. Estève (1942) ;
- bancs décimétriques silicifiés associés aux niveaux dolomités à stromatolithes ;
- dalle siliceuse sommitale massive qui correspond à la meulière de J. Giraud (*op. cit.*).

- Les silicifications de la Pouyade (commune de Saint-Georges-sur-Allier)

La carte géologique à 1/50 000^e d'Issoire (Aubert *et al.* 1982) révèle la présence de deux formations silicifiées entre l'Olanier et la Pouyade. Il s'agit d'après les auteurs de la carte de silicifications attribuées au Miocène, caractéristiques de la Comté. Nous ne les avons pas échantillonnées mais nous pouvons supposer, qu'elles présentent un faciès proche de celles décrites ci-dessous.

- Les silicifications de Mirefleurs (Puy Saint Romain, Charneix, Puy Saint André)

La commune de Mirefleurs se situe en rive droite de l'Allier à un peu plus de 20 km au sud de Clermont-Ferrand. Comme dans le reste de la Comté, les gîtes à silex, qui se situent dans les calcaires rupéliens en régulière association avec les pépérites, possèdent une extension latérale limitée et discontinue. Les silicifications affleurant à flanc de versant (blocs glissés) ou couronnant les sommets ont été documentées par P.-A. Julien (1880) et J.-B. Biélawski (1888) et décrites par J. Giraud (1902), N. Estève (1942), A. Rudel (1966), H. Pelletier (1977), A. Masson (1981a), N. Dufresne (1999), F. Surmely et S. Costamagno (2006), P. Fernandes (2012).

Les faciès massifs sommitaux sont associés à des plaquettes siliceuses plus ou moins riches en dolomite et à des petits rognons décimétriques. Nous ne reprenons pas ici le terme de « travertins silicifiés » utilisé dans la notice de la carte géologique d'Issoire (Aubert *et al.* 1982) car son emploi ne reflète pas la variabilité génétique rencontrée. Nos observations ont abouti à des

résultats proches de ceux de N. Estève (1942), la matrice microcristalline homogène étant constituée de sphérolites et de demi-éventails imbriqués de calcédonite. Nous remarquons la présence d'éventails de calcédonite de plus grande taille (200 µm), à croissance géodique, à la bordure interne des pores. Des billes bitumineuses, coalescentes ou non, sont régulièrement dispersées dans la matrice alors que les carbonates (dolomites) sont plus rares. Les seuls organismes observés sont des grains de pollens.

- Les silex du Puy de Marmant (commune de Veyre-Monton, Puy-de-Dôme)

N. Estève (op. cit.) signale des silex noirs évoluant vers le brun dans les calcaires à limnées (Oligocène) dont seul le cœur est parfaitement siliceux, le reste du rognon faisant effervescence à l'acide. Nous n'avons pas retrouvé ces silicifications.

- Les silex palustres à lacustres de Laps (Puy-de-Dôme)

Les silex rubanés (F0012) présents dans les calcaires à alternances marneuses et dolomitiques oligocènes qui affleurent au sommet de la butte de Jolivat ont déjà été décrits par J. Giraud (1902), N. Estève (1942), A. Rudel (1966), A. Masson (1981a), N. Dufresne (1999) et P. Fernandes (2012). Nous avons collecté de nombreux échantillons, à cortex blanc crayeux, en plaquettes d'épaisseur centimétrique à décimétrique qui offrent un aspect à lamines fines, riches en stromatolithes. Comme N. Estève (op. cit.) nous avons observé des grains de pollens de saule et de pin. L'observation de deux lames minces révèle une matrice microcristalline formée d'une série de couches siliceuses et carbonatées superposées. La première contient des tiges en forme de bâtonnets de 200 à 600 µm (cyanobactéries encroûtées) dans les lamines carbonatées, ainsi que des ostracodes. On note la présence d'un grand nombre de sphérolites de calcédonite torsadée ou non dans les lamines siliceuses. Une calcédonite tardive, bien exprimée, vient en remplissage de fissures perpendiculaires aux lamines sédimentaires (fracturations synsédimentaires). La seconde est constituée majoritairement de lamines subparallèles de calcédoine, les lits carbonatés étant plus rares. Certaines lamines sont microcristallines et composées de sphérolites homométriques, d'autres sont cryptocristallines. Le quartz est présent sous la forme de macroquartz tardif en tapissage des pores.

Nous avons également reconnu dans la partie haute de la série, un faciès (D1306) plus

grossièrement lité, à rares stromatolithes, riche en gravelles et fragments de végétaux (tiges, thalles).

- Les silicifications de Pignols (Puy-de-Dôme)

Les gîtes attribués au Miocène situés au niveau du bourg de Pignols (lieu dit le Puy) ont déjà été décrits par J. Giraud (1902), N. Estève (1942), A. Rudel (1966), A. Masson (1981a), N. Dufresne (1999) et P. Fernandes (2012). Nous retrouvons ici le même type de formation que précédemment, à la fois dolomitisée et silicifiée, formant une petite falaise à bancs décimétriques de silex massif (F0016). Des blocs de grande taille s'en détachent et ont glissé sur la pente sud-est. Sur ce gîte, N. Estève (1942) distinguait deux types de silicification fondés sur la minéralogie de la matrice : celles constituées de calcédonite et celles à base d'opale. Toutefois, comme A. Masson (1981a), nous avons retrouvé dans nos échantillons uniquement le premier groupe (silex à calcédonite).

Le faciès sédimentaire des grandes plaquettes d'épaisseur centimétrique à structure plus ou moins litée affleurant dans les niveaux carbonatés sous-jacents aux silcrètes massives présente des figures de charge, caractéristiques de ces matériaux. Leurs matrices sont également constituées de calcédonite microcristalline présentant par endroits des plages de quartz et de grands rhomboèdres de dolomite dans lesquels se sont concentrées des imprégnations ferrugineuses microcristallines (boxworks). Ils sont mudstone à wackestone, riches en intraclastes carbonatés et en formes stromatolithiques.

Associés à ces silicifications, on retrouve au sommet du Puy-de-Courand une dalle massive et azoïque. Dans ce même secteur, les calcaires à plaquettes sur lesquelles elle repose, offrent des niveaux silicifiés de quelques centimètres d'épaisseur à silex rubanés (fines lamines stromatolithiques blanches et noires) qui contiennent de nombreux fossiles végétaux (thalle, tiges ...). La matrice est constituée par l'imbrication de sphérolites et d'éventails de calcédonite (à allongement négatif), les billes de bitume (cf. Mirefleurs) et les microquartz sont plus rares. De même, la proportion de carbonates issus de la dolomitisation tardive, qui représentent jusqu'à 50 % de la matrice dans la zone endocorticale, décroît de façon importante en allant vers le cœur de la silicification.

- Les silex du Puy Saint André à Saint-Georges-sur-Allier (Puy-de-Dôme)

A. Rudel (1966) signale des silex noirs dans les calcaires de Vic-le-Comte, sur les pentes du Puy Saint André (commune de Saint-Georges-sur-

Allier) et à la base du Pic de Mercuriol (commune de Sallèdes). Nous n'avons pas retrouvé ces silicifications sur le terrain.

- Les silex de la combe de Naves à Orbeil (type D0605 ; Puy-de-Dôme)

Nous avons reconnu dans les dolocrètes massives de la combe de Naves, des petits bancs irréguliers de silex noirs à stromatolithes fragmentés, tiges de végétaux et rares ostracodes. L'importance de la fraction détritique et la fragmentation des allochems traduit une formation dans un milieu lacustre bordier instable et assez agité.

- Les silex palustre du Puy de Pileyre à Chauriat (type D1436 ; Puy-de-Dôme)

M. Piboule nous a fourni des échantillons de silex correspondant à des fragments de blocs retrouvés dans les dépôts de pentes du Puy de Pileyre. Ils se présentent sous la forme de plaquettes épaisses de couleur grise à beige dont le faciès est composé de cyanobactéries encrustées (400 µm de long suivant l'axe d'allongement maximal) et de petites ponctuations allongées et sombres que nous attribuons à des débris ligneux (fragments de tiges). Un faciès similaire, présent sous la forme d'une dalle d'épaisseur pluricentimétrique, est connu au nord de Pignols (Puy-de-Dôme).

- Les silex de Chavarot (commune de Saint-Jean-des-Ollières, Puy-de-Dôme)

Dans l'ancienne carrière (à meulières) située au pied de la butte qui domine Chavarot au nord-ouest, affleurent des silicifications rappelant d'anciens stromatolithes. Ces termes sont associés à des roches dolomitiques et prolongent latéralement les formations siliceuses en plaquettes du « Chêne Vert » (infra). À proximité de cette ancienne carrière, se retrouvent également :

- «un faciès siliceux caverneux à cavités de dissolution centimétriques (1 à 5 cm) attestant d'une puissante décarbonatation d'un faciès mixte à silice-carbonate initialement pseudo-bréchiq. La silice constitue une trame « filonienne » réticulée et fortement anastomosée en réseau dans un précurseur calcito-dolomitique. Après dissolution de la calcite seule, l'ancien réseau siliceux et quelques rares témoins dolomitiques résiduels subsistent. Ce faciès siliceux caverneux est également présent dans plusieurs gîtes de la région (Puy de Saint Romain, Puy Saint-Hippolyte) ;

- un faciès quartzitique saccharoïde blanc issu de la (re)cristallisation tardive par du quartz du faciès précédent». (Fernandes 2012 : 220-221)

Quelques centaines de mètres à l'ouest, au lieu dit le « chêne vert », se retrouvent d'autres types de silicifications intimement liées aux sables argileux oligocènes :

- des rognons pluridécimétriques à texture mudstone et azoïques ;
- des plaquettes centimétriques rubanées proches des types identifiés à Pignols et Laps (supra) ;
- des fragments d'une dalle massive à structure bréchiq.

- Les silex de Forestille (D0006 ; commune d'Égliseneuve-près-Billom, Puy-de-Dôme)

Le Puy-de-Forestille est coiffé par une dalle massive de silcrète gris brun riche en rhomboèdres (20 µm à 50 µm) de dolomite rarement dissous, libres ou agrégés. La composante biologique est représentée par des stromatolithes millimétriques souvent fragmentés.

- Les silex du Puy-Ferrat (D0609 et F0558; commune d'Égliseneuve-près-Billom, Puy-de-Dôme)

Nous avons identifié deux types de silex au Puy Ferrat :

- une première dalle de silex massif présentant des structures stromatolithiques typiques et de grandes dimensions (F0158), identiques à celles des calcaires «en chou-fleur» de la Grande Limagne.
- une seconde dalle de silcrète à cyanobactéries encrustées regroupées de façon hétérogène en amas plurimillimétriques au sein de la matrice. De nombreux rhomboèdres (dolomite ?) parsèment la matrice microcristalline.

- Les silex Saint-Dier-d'Auvergne (Puy-de-Dôme)

N. Estève (1942) y a décrit un échantillon de quarzolithe, dont la matrice est constituée de quartz en mosaïque.

3.2.2.7 Les silex lacustres oligocènes de Grosmesniers (type D0303 ; la Sauvetat, Puy-de-Dôme)

Ces silex , déjà décrits par M. Piboule (in Cabezuelo et Pasty, inédit), présentent une variété de teintes, de structures (homogènes, bioturbées, pseudobréchiqes ...) et de textures.

Ainsi, la couleur noire (couleur initiale) tourne rapidement au gris, au violacé, au brun sombre ou au rouge. Certains échantillons, plus évolués, offrent même des marbrures centimétriques diversement colorées. Ces variations paraissent liées à la présence dans le matériau de cristaux microscopiques de pyrite primaires souvent affectés par une altération. La présence de fossiles est systématique. Les bioclastes sont principalement représentés par des débris tubés algales (thalles) de characées et des gyrogonites lisses ou striées souvent remplies ou pseudomorphosées par une silice bleu ciel ou blanche. Les éléments de faune sont représentés par des gastéropodes de tailles variées (planorbes et les limnées) et des ostracodes. Certains rognons présentent une fracturation colmatée par de la silice limpide qui témoigne de pressions synsédimentaires.

3.2.2.8 Les silicifications miocènes (?) de Saint-Hippolyte (commune de Châtelguyon, Puy-de-Dôme)

Seul gîte au nord de Riom les silicifications affleurent dans les dépôts de pente au pied d'une falaise. P. Fernandes (2012) y décrit des silicifications riches en carbonate (dolomite), litées ou bréchiques et azoïques présentant une matrice siliceuse à opale, calcédonite et quartz.

3.2.2.9 Les silicifications de Madriat (F0007.2 ; Puy-de-Dôme)

Les silicifications mates à opale de couleur jaune vif à brun ont été décrites par P. Tapsoba (1967), M. Deschamps (1973), M. Perpère (1984) et P. Fernandes (2012). Il s'agit de silcrètes pédogénétiques à structure bréchique et figures de dessiccation marquées, généralement colmatées par de la silice limpide. Les termes supérieurs de la série sont plus généralement massifs et peuvent varier du jaune au brun.

Remarquons la présence d'une dalle de silcrète noir, translucide, à nombreuses traces de racines et intraclastes arrondis dont le faciès tranche avec les autres silicifications connues sur ce gîte.

3.2.3. Les bassins tertiaires du nord ouest de l'Allier et du sud du Cher

Les niveaux carbonatés de la fin de l'Eocène et du début de l'Oligocène, associés aux « Calcaires du Berry » (Deschamps 1973), sont présents dans l'ouest de l'Allier sous forme de lambeaux très discontinus de quelques mètres d'épaisseur. Les termes carbonatés sont d'origine lacustre. Ces « calcaires et silixites », figurés par un aplat bleu et notés e-g1s sur la carte au 1/50 000 de Montluçon (Turland *et al.* 1989), reposent en continuité

directe sur des terrains d'origine terrigène à dominante argileuse de la fin de l'Eocène et correspondent à des formations siliceuses souvent d'origine pédologique et diagénétique. Elles sont généralement dépourvues de fossiles. Ces derniers étant très rares, l'attribution chronologique précise de ces formations a été depuis plus d'un siècle l'une des principales difficultés de leur étude. Nous adoptons ici les âges retenus lors de l'établissement des cartes géologiques régionales.

3.2.3.1 Le bassin de Montluçon-Domérat

Dans le bassin de Montluçon-Domérat de tels terrains se retrouvent au sud et au sud-est de Domérat (Prémilhat) ainsi qu'au nord-ouest de Montluçon jusqu'à Désertines et Saint-Victor. A quelques mètres au dessus de la base des formations fini-éocènes, au contact entre matériaux argileux et dépôts carbonatés, se développent de plus ou moins amples silicifications.

Trois grands types de silicifications peuvent être observés :

- des « stocks » à filonets généralement verticaux. Ils se présentent sous forme de plaquettes pluri-centimétriques à cortex blanc millimétrique et irrégulier. Leur structure interne est zonée et symétrique présentant un gradient de couleur allant du noir (au plus proche des bords) au blanc/gris (vers le cœur). Ce faciès est la conséquence d'une silicification centrifuge des bords du drain vers le cœur, l'eau chargée en silice déposant successivement des couches de l'extérieur vers l'intérieur. La matrice est homogène et ne contient aucun élément figuré ni détritique ni bioclastique ;
- des « dalles » et fragments de dalle siliceuse, témoins de la silicification stratiforme des carbonates sus-jacents. Ces éléments présentent un cortex blanc scoriacé et très irrégulier. Leur structure, noduleuse à pseudo-bréchique, résulte de la présence d'éléments détritiques grossiers emballés dans une matrice claire, blanche à grise, généralement micritique et microporeuse (décalcification des éléments figurés). La fraction détritique se compose en grande partie d'éléments centimétriques, anguleux, homogènes ou légèrement lités et plus rarement de quartz détritiques pluri-millimétriques peu émoussés. L'absence de bioclaste est avérée mais notons la présence de possibles tubes racinaires, colmatés par une silice translucide ;
- des nodules concrétionnés centimétriques à pluri-centimétriques généralement ellipsoïdaux, plus rarement plats ou sphériques. Ils se présentent sous forme

de « poupées » polarisées (plus épais au sommet et plus fins à la base). Le cortex est généralement régulier, lisse, fin et possiblement zoné. Macroscopiquement, il est possible d'observer des craquelures et de fines rides, témoins de phases de dissolutions/précipitations successives. La structure interne est zonée selon un gradient de couleur s'étalant du noir au blanc-gris, coloration résultant de la densité de petites ponctuations noires. Notons la présence de dendrites plus ou moins imprégnées d'oxydes et de rares conduits d'illuviations complètement resilicifiés. Nous n'avons observé, à ce jour, aucun élément détritique ou bioclastique dans ce type de silicification.

3.2.3.2 Vaux et Champs d'Argentières

À l'extrémité septentrionale du bassin de Montluçon-Domérat et au sud-ouest du horst de Perguines-Vaux, se développe, aux dépens des argiles fini-éocènes, un petit ensemble de silicifications datées de la fin de l'Eocène ou du début de l'Oligocène. En contrebas d'un petit horst granitique coiffé de grès rouges ferrugineux (ferruginisation sidérolithique), la silice mise en solution lors de l'altération des sols est venue se déposer dans les terrains mal drainés formés d'argiles bariolées ou vertes. Son dépôt a permis le développement de nodules d'opale sous des silcrètes en cours de formation (Thiry et Millot 1987).

Trois types de matériaux peuvent être distingués :

- de grosses opales à dendrites ferromanganésifères (Thiry *et al.* 1983b) ;
- des brèches siliceuses opalifères dont la matrice, de couleur variée est constituée de micronodules opalescents, témoignent d'un remplacement avec conservation de la structure primaire du matériau originel par de la silice amorphe (silcrète de nappe phréatique) ;
- une grande variété de silcrètes blondes à semi-transparentes grises, à cortex irrégulier, contenant des restes fossiles de tubes racinaires (typha) en relief (enveloppe silicifiée) ou en creux (lumière des tubes). La matrice homogène contient de très nombreux restes de typha illustrant un précurseur sédimentaire appartenant à un paléo-environnement palustre à lacustre (D1410).

3.2.3.3 Rive droite du Cher : La Châtre ; Saint-Angel ; Saint-Bonnet-de-Four ; Vallon-en-Sully

Au sud de Verneix, en rive gauche du ruisseau de Thizon, se développe, dans un contexte similaire à celui décrit ci-dessus pour Vaux et les Champs d'Argentières (contrebas d'un massif granitique),

un calcaire lacustre à traces de racines daté de la fin de l'Éocène. Ce calcaire est localement silicifié et reprend la texture du protolite.

Des faciès siliceux similaires, témoignant de l'établissement d'une dalle de silcrète selon un modèle de développement des opales nodulaires en profondeur, à la base de la dalle siliceuse (Thiry et Millot 1987), est également observable entre Saint-Angel et Chamblet (lieu-dit Le Bouchat). Le substratum de type granitique (granite porphyroïde de Montmarault) est recouvert par un grès arkosique, lui-même surmonté par des argilites vertes. Ces dernières emballent des nodules siliceux généralement opalifères. Une dalle siliceuse paraît surmonter topographiquement l'ensemble. Si les opales nodulaires et les brèches opalifères à matrice micronodulaire opalescente sont présentes au sud du gisement au voisinage du granite, les silcrètes massives qui les surmontent plus au nord, à la différence des silicifications précédentes, sont pauvres en tubes végétaux ou en conduits d'illuviations. Ces matériaux sont souvent poreux, riches en cavités pluri-millimétriques ou centimétriques à parois tapissées de cristaux de quartz. Les silcrètes de la dalle sont soit limpides, blondes ou grises. Lorsqu'elles proviennent de blocs épars liés à son démantèlement elles sont le plus souvent noires, opaques et parfois bréchiques. Celles témoignant d'une altération hydrique intense ancienne sont ocres ou orange. Les cortex sont généralement dissous et portent de nombreuses cupules de gel (séjour prolongé dans des terrains mal drainés). Les silcrètes les moins altérées, plus rares, possèdent des cortex scoriacés, millimétriques, blancs et présentent une forte porosité.

Au nord-ouest de Saint-Bonnet-de-Four, au lieu-dit « Les Mâts », dans un petit bassin reposant sur le même substratum granitique s'est déposée une séquence sédimentaire fini-éocène d'une quarantaine de mètres. Il s'agit d'une succession de bancs épais de grès arkosique blanc-verdâtre à intercalations d'argiles vertes. Contrairement aux autres séries gréseuses de l'Éocène régional, ce dépôt n'a pas été affecté par le cuirassement ferrallitique très fréquent dans la région au sidérolithique. Seuls quelques niveaux rouges, peu altérés, au milieu de la série paraissent hériter au cours de leur sédimentation de matériaux issus de l'érosion, du transport et du remaniement de telles cuirasses. Ce scénario a déjà été évoqué pour le bassin de Montluçon-Domérat (Piboule in Cabazuelo et Pasty, inédit). Le sommet topographique de la séquence présente les témoins d'une dalle de silcrètes fortement démantelée par l'érosion ancienne, la cryoclastie wurmienne et l'exploitation de petites

carrières récentes (comblées il y a une quinzaine d'années). La reconnaissance de cette ancienne dalle montre des opales du type résinite > des brèches opalifères > des silcrètes bréchiques et des silcrètes massives. Ces matériaux s'apparentent beaucoup à certains silex décrits précédemment (Domérat, L'Argentière, Le Bouchat ...). Les silcrètes les plus fréquentes offrent de nombreuses veinules d'illuviation et sont souvent vacuolaires, de couleurs variables (gris, noir, blanc ...). Pour la grande majorité, elles ont une origine pédogénétique. Divers autres faciès siliceux ont été également reconnus. Certains - en gros rognons de teinte violette - contiennent de nombreux fossiles de gastéropodes pulmonés. Le faciès le plus rare - provenant de la base de la série - se présente en petits nodules et contient une riche faune lacustre à gastéropodes, ostracodes L'existence de ce matériau s'accorde avec l'observation de M. Turland *et al.* (1991) qui signale la présence à proximité de « La Butte des Mâts », d'une oogone de characée dans les sédiments meubles du site. Ce faciès présente également de fréquents amas de petites pseudomorphoses siliceuses d'anciens cristaux de gypse qui lui confèrent une couleur grise à marbrure gris clair. Ce faciès paraît se rapporter à un sédiment initialement argileux appartenant à un environnement peu profond (palustre ou lacustre) et soumis à des épisodes évaporitiques favorables à la cristallisations du sulfate de calcium hydraté.

Au nord de Vallon-en-Sully, en contrebas du château de Peufeulieux, se développe, dans un petit graben ouvert dans les grès feldspathiques grossiers du Trias, un lambeau éocène carbonaté associé à des grès rouges ferrugineux. Les silicifications se composent d'opales nodulaires brunes violacées à éclat résineux et de silcrètes massives grises à rares tubules. Ces tubules sont mis en exergue par un blanchiment des bords et par une silicification secondaire de la lumière par une silice transparente. Il est possible d'observer un passage vers des échantillons à matrice moins homogène, voire pseudo-bréchique, à éléments anguleux micritiques et matrice interstitielle fine opalescente. Ce type de faciès est typique des figures de dessiccation souvent retrouvées dans les silcrètes de nappe. Les silcrètes opalescentes de Peufeulieux contiennent deux générations de dépôts métalliques (ferro-manganésifères ?) :

- les primaires, syngénétiques, caractérisés par une répartition centrifuge du cœur (sous forme de ponctuations) vers le cortex (développement de dendrites) ;
- les secondaires, souvent présents dans les diaclases récentes et généralement oxydés, témoignant d'un séjour prolongé dans un milieu mal drainé.

- le cortex est assez épais (plurimillimétrique), à tendance carbonaté, grumeleux et blanc.

Signalons enfin d'autres silicifications dont le profil génétique est semblable à celui décrit par M. Thiry et G. Millot (1987) :

- en rive droite du Ruisseau de la Rongère, à hauteur du hameau des Vizelles (Villefranche-d'Allier) ;
- à l'est du lieu-dit « Le Cluzeau » (Vallon-en-Sully), dans le ravin des Aiguillons, au contact de grès feldspathiques stéphaniens latérisés ;
- localement en bordure des bassins du Louroux-Hodemont et de Cosne d'Allier.

Ces silicifications, plus ou moins bien exprimées, sont toujours situées dans la partie sommitale des dépôts fini-éocènes qui se présentent sous la forme d'argiles vertes ou bariolées plus ou moins compactes et surmontant des grès rouges témoins d'altérations poussées des sols. On peut noter également qu'elles se présentent le plus souvent à la bordure et à la base des bassins oligocènes de la région.

3.2.3.4 Vallon du Ruisseau de Chadet et secteur d'Urçay : Les Pics (03), la Perche (18), La Célette (18)

Cet ensemble de terrains éocènes, situé à la limite des départements de l'Allier et du Cher est à rapporter à la terminaison orientale de l'hémibassin de Saulzais-le-Potier qui s'étend d'Épineuil-le-Fleuriel (Cher) au sud, à la Célette (Cher) au nord. Si les terrains en rive droite du Cher (région d'Urçay, Allier) se retrouvent sous forme de placages discrets, ceux situés en rive gauche sont mieux prononcés et peuvent atteindre une vingtaine de mètres d'épaisseur.

En rive droite du Cher, les placages fini-éocènes, reposant en discordance sur les grès triasiques, se retrouvent à « La Butte des Pics » et à « Beaumont » (Urçay). Contrairement à ceux situés en rive gauche du Cher, qui se développent au sein de calcaires, les silcrètes massives initiées par les « opalites d'Urçay » affectent les marnes argileuses gris-verdâtres à pisolithes de fer qui surmontent les grès cuirassés sidérolithiques (Alcaydé *et al.* 1976). Les opales existantes au sommet d'argilites et à la base de la série sont très comparables à celles trouvées à Peufeulieux mais présentent une plus grande variété de couleurs allant du blanc crème au brun, en passant par le violet et le rose. Certains fragments de la dalle siliceuse sommitale à matrice homogène à caractère « jaspé » contiennent des gastéropodes (lymnées).

A « La Roche-Bridier » (La Célette, Cher), en rive droite du Ruisseau de Chadet, il est possible d'observer une épaisse dalle siliceuse développée au sommet des « calcaires lacustres du Berry » (Valensi 1954). Ces faciès carbonatés (calcaires lacustres à la base passant progressivement à des marnes argileuses blanches à vertes au sommet) reposent sur les altérites rouges du Sidérolithique (sables bruns à nodules ferrugineux). Le niveau silicifié se présente sous forme de plaquettes épaisses et symétriques dont la zone endocorticale est de couleur grise ou blanche et la zone interne, de couleur gris foncé. Le cortex est blanc, contourné, plurimillimétrique à centimétrique, carbonaté et très poreux. Les cavités sont tapissées de silice fibreuse collomorphe ou de quartz. Le passage à la zone endocorticale est diffus. Celle-ci est épaisse et bréchique. La matrice intersticielle blanche, fine et opalescente forme un réseau plus ou moins lâche qui emboîte des grains carbonatés arrondis (proto-pisolithes ?) et de rares quartz détritiques également arrondis. Il est possible d'observer de nombreux pores à tapissage de quartz et quelques rares tubules dont la lumière est emplie de silice secondaire transparente. Le passage à la zone interne, franc, est marqué par un changement colorimétrique (brunissement) et une augmentation du taux de silicification. Même si la structure bréchique, décrite pour la zone endocorticale, typique de ces silcrètes, est conservée, la taille des éléments carbonatés diminue et leur silicification est plus poussée. De même, la porosité est généralement bouchée par des apports de silice secondaire. Les surfaces diaclasées portent de grandes dendrites plus ou moins oxydées, témoignant de la circulation d'eau postérieurement à la genèse de la dalle siliceuse.

A quelques kilomètres au sud, au lieu-dit « Montbout » (La Célette), se développe au sein des marnes pisolithiques éocènes, des opales nodulaires centimétriques à décimétriques, ainsi que des brèches opalescentes dont la structure rappelle celle de l'encaissant.

Au point de confluence entre le Ruisseau de la Roche et le Cher, les calcaires lacustres détritiques du plateau du « Grand Chaumoux » (Ainay-le-Vieil, Cher) délivrent de rares plaquettes siliceuses d'une épaisseur variable (1 cm à 10 cm). Le contact avec l'encaissant est net et la matrice de cette silcrète, assez homogène, contient de nombreux tubes racinaires. Un type particulier à micro-sphéroïdes à bordure floue et dont la structure est fluidale, possède un cortex épais et diffus constitué de nombreuses pseudo-oolithes. La couleur de ces silicifications varie du jaune au gris.

Sur le plateau, en rive gauche du Cher, à hauteur de La Perche (Cher), se développe, au profit des calcaires lacustres fini-éocènes qui surmontent les niveaux détritiques du Sidérolithique, une épaisse dalle siliceuse démantelée dont l'épaisseur est pluridécimétrique à métrique. Le cortex est fin (millimétrique) et légèrement grumeleux. Le passage vers la zone endocorticale, épaisse de plusieurs centimètres, est diffus. Cette zone est homogène, de couleur grisâtre et correspond à une silicification par remplacement d'une argile à pisolithes hétérométriques et infra-millimétriques dont le contour est souligné par un dépôt de silice transparente ou blanche et dont le cœur a subi une faible oxydation (couleur jaune). Les pisolithes sont réparties de façon homogène dans la matrice micritique. La porosité est faible en comparaison des silcrètes décrites précédemment et les macroporosités, qui forment de véritables conduits, sont soit complètement colmatées, soit tapissées par des cristaux de quartz. Le passage vers la zone interne est net. Celle-ci est beaucoup mieux silicifiée que la zone précédente et présente une matrice homogène micritique à microcristalline qui ennoie les pisolithes. Du fait de la silicification plus poussée leur limite n'est plus soulignée et nous n'observons alors que le cœur de ces éléments. Inversement, la silicification différentielle fait ressortir un réseau anastomosé assez lâche appartenant initialement à la roche mère (structure préexistante).

Dans les dépôts de pente, en contrebas de la dalle, en plus du faciès déjà présenté, d'autres types de silicifications peuvent être retrouvés :

- une silcrète à cortex blanc peu épais et silicifié dont la matrice homogène, translucide ou blonde est très riche en traces de racines ;
- une brèche opalifère présentant un faciès similaire au silcrète du plateau, potentiellement à rattacher au niveau de base de cette épaisse dalle ;
- une silcrète brun opaque, d'aspect jaspoïde, à structure bréchique et fentes de dessiccation colmatées par de la silice translucide ou tapissées de quartz. Certains de ces blocs contiennent de nombreux gastéropodes lacustres apparemment différents de ceux du faciès équivalent du gîte voisin des Pics à Urçay.

3.2.3.5 Frange occidentale du bassin de Saulzais-le-Potier : Faverdines (18) et Saulzais-le-Potier (18)

Au sud-ouest de Saulzais-le-Potier (Cher), le long du Ruisseau du Petit Moulin, au contact de la faille séparant terrains tertiaires et triasiques, des silicifications massives affectent les calcaires lacustres de la fin de l'Éocène (Priabonien à Stampien). La formation de ces dalles siliceuses

suit le modèle proposé par M. Thiry et G. Millot (1987). La structure pseudo-bréchique, plus ou moins bien silicifiée, illustre une fois de plus le développement tardif de la silicification par remplacement de la matrice calcaire initiale et croissance des quartz dans les vides. Aucun microfossile n'a été mis en évidence dans ces dépôts.

Un peu plus au nord, au sud de Faverdines, le long du Ruisseau des Cossières et du Ruisseau de l'Étang de Bornacq, les calcaires lacustres (parfois stromatolithiques) de l'Éocène final, discordant sur le Trias gréseux, font l'objet de silicifications massives tardives. En plus des opales à tubes de racines et brèches opalifères, nous avons observé deux types de silcrètes :

- un premier type présente un cortex blanc, centimétrique, carbonaté et grumeleux. La transition avec la zone endocorticale gris marron est nette et soulignée par un front de silicification. La matrice est homogène, généralement microcristalline, en remplacement de la structure carbonatée initiale. La porosité est bien colmatée par la silice et les îlots carbonatés, reliquats des calcaires lacustres encaissants, sont difficiles à distinguer du fond matriciel. La transition zone endocorticale/zone interne est diffuse. Le cœur du silcrète semble moins bien silicifié et présente de grandes figures d'illuviation qui en soulignent la structure. Notons la présence dans la zone endocorticale de rares dendrites métalliques (ferro-manganésifère ?) probablement contemporaines au remplissage de la porosité. Ces silcrètes sont azoïques ;
- un second type (D0207) est présent sous la forme de plaquettes épaisses à cortex carbonaté, crayeux et centimétrique. La limite cortex/matrice est franche et régulière. La matrice possède une structure pseudo-bréchique très homogène de couleur crème en remplacement de la structure carbonatée préexistante. Certaines plages semblent plus bréchiques et contiennent des intraclastes anguleux infra-millimétriques noyés dans une matrice à petits grains détritiques roulés. La porosité est extrêmement faible et recristallisée par une silice transparente. Notons la présence de rares dendrites métalliques (ferro-manganésifère ?) syngénétiques.

3.2.3.6 « Chailles » jurassiques de la vallée du Cher (D0201.1, D0201.2)

A ces silicifications d'origine principalement pédogénétique de la fin de l'Éocène, qui caractérisent le fossé du Cher, s'ajoutent les épandages détritiques de silex marins roulés et

très évolués (« chailles »), derniers témoins de la transgression du Jurassique inférieur. Cette avancée marine, d'origine septentrionale, a notamment laissé en rive gauche du Cher au Petit Villevandret (Chazemais, Allier) et à Nassigny (Allier), des silex à texture souvent grossière et riche en spicules.

3.3. Fouilles archéologiques à Saint-Pierre-Eynac (MP, VD, PF, JPR, PF, ED, AL, RWS, DC)

La présence de silicifications sur la butte située à l'est du village de Saint Pierre-Eynac (Haute-Loire), au pied du suc phonolithique du Mont Plaux, est un fait connu de longue date par les géologues locaux comme l'atteste les écrits de Bertrand-Roux (1823). Les premiers naturalistes à décrire ces formations ont rapidement perçu le rôle du volcanisme dans l'édification de ces roches (Tournaire 1871 ; Termier 1890). Les études plus récentes du milieu et de la fin du XXème siècle, initiées par l'école de géologie clermontoise et poursuivies lors de divers travaux qui se fondent sur des données de terrains et des analyses pétrographiques et minéralogiques en laboratoire, ont eu tendance à confirmer le caractère hydrothermal de ces silicifications (Frerichmann 1977 ; Mergoïl *et al.* 1979 ; Masson 1981 ; Werth 1991, 1992a, 1992b ; Feybesse 1998). Pourtant, dès la fin du XIXème, le géologue et préhistorien M. Boule (1892) constatait l'inadéquation structurale entre les formations volcaniques et les opales et silcrètes de Saint-Pierre-Eynac.

La reprise des travaux de caractérisation des matières premières siliceuses du Velay depuis le début des années 2000 par la même équipe que celle ayant entrepris les fouilles ces deux dernières années a remis en question le rôle du volcanisme en proposant une formation des roches siliceuses de Saint-Pierre-Eynac par des phénomènes phréatiques et non hydrothermaux (Fernandes *et al.* 2008a ; Piboule *et al.* 2014). Le projet de recherche mené en 2014 et 2015 s'est ainsi évertué à répondre à deux principales questions :

1. Quelle est l'origine et la géométrie des dépôts siliceux ?
2. Comment qualifier l'occupation humaine préhistorique de Saint-Pierre-Eynac et l'intégrer dans les problématiques actuelles de la recherche archéologique régionale ?

La réalisation de sondages géologiques (Figure 4) a permis d'identifier le caractère discontinu du gisement, fortement affecté par la tectonique locale (présences de nombreuses failles) qui a

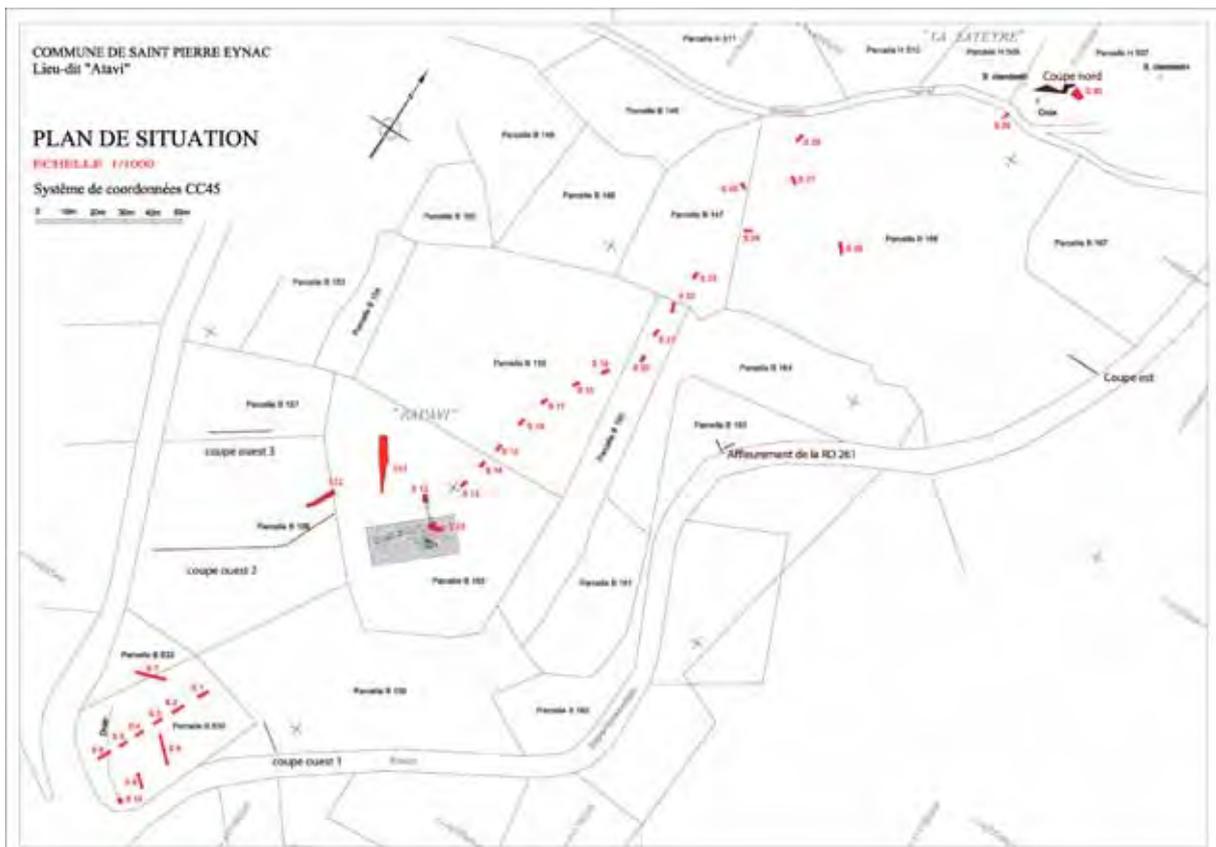


Figure 4 : Carte de situation de l'opération.

redressé, abaissé et décalé des compartiments entiers de la dalle de silice. Par exemple, l'affleurement le plus connu, celui de la croix sur le vieux chemin menant aux Sauces, est un énorme bloc démantelé et glissé dans les argiles. De même, le gisement principal (secteur cadastral Rapavi) - celui sur lequel nous avons retrouvé les indices d'une exploitation préhistorique - correspond à une épaisse (plus de sept mètres) dalle faillée partiellement érodée, sous-jacente à des sédiments lacustres argileux mais dont la base reste inconnue (Figure 5a). Seule la présence de quelques infiltrations d'opale dans les tufs polygéniques renseigne sur le positionnement relatif des deux formations.

Le creusement de deux tranchées voisines et situées l'une en bordure du site préhistorique (S33) et l'autre immédiatement au nord de l'affleurement en dessous de la cote 886 (S32) permet d'appréhender le gisement de la formation siliceuse dans ce secteur et de lever en particulier les ambiguïtés concernant la stratigraphie et la tectonique du site (Figure 6). La tranchée S32 permet d'apporter un complément d'informations relatif à la tectonique de fracture et à la succession lithologique, notamment dans ces premiers termes. Le sondage S33 permet de définir les principaux types lithologiques significatifs des opales et des roches siliceuses associées (silcrète noduleux diaclaté, opales

finement litée à lamines, brèche siliceuse, etc.).

L'analyse des différents affleurements révèle l'étroite association des roches siliceuses et des dolomies. Ces dernières, comme les silicifications à dominante d'opale, offrent en plusieurs points des fossiles attribuables à des stromatolithes (Figure 5b). Rappelons qu'hormis les restes de végétaux signalés dans les argiles (feuilles, tiges et graines fossiles), l'absence de fossile caractérisait jusqu'à maintenant les roches dolomitiques et siliceuses de Saint-Pierre-Eynac. La présence de ces formes algaires, généralement peu fragmentées, permet de cerner l'environnement des premiers dépôts lacustres : un milieu aux eaux oxygénées, souvent agitées, peu profondes et peu perturbés par des apports terrigènes.

Tous ces éléments viennent remettre en question les hypothèses précédentes et si aujourd'hui nous ne nions pas le rôle du volcanisme dans la structuration du gisement (tectonique, géométrie des dépôts), le caractère hydrothermal des roches siliceuses de Saint-Pierre-Eynac semble devoir être rejeté au profit d'une origine continentale diachronique dans des eaux peu profondes et sursaturées en silice.

L'intérêt de ces roches réside également dans le rôle qu'elles prennent dans l'économie préhistorique vellave puisqu'elles ont été reconnues dans de



Figure 5 : Saint-Pierre-Eynac - à gauche (a) : vue du sondage profond au droit de la dalle ; en haut à droite (b) : stromatolithe (pointé par la flèche) sur un bloc à la surface du gisement principal (photo M. Piboule) ; en bas à droite (c) : vue de la fosse d'extraction (?) du gisement principal.

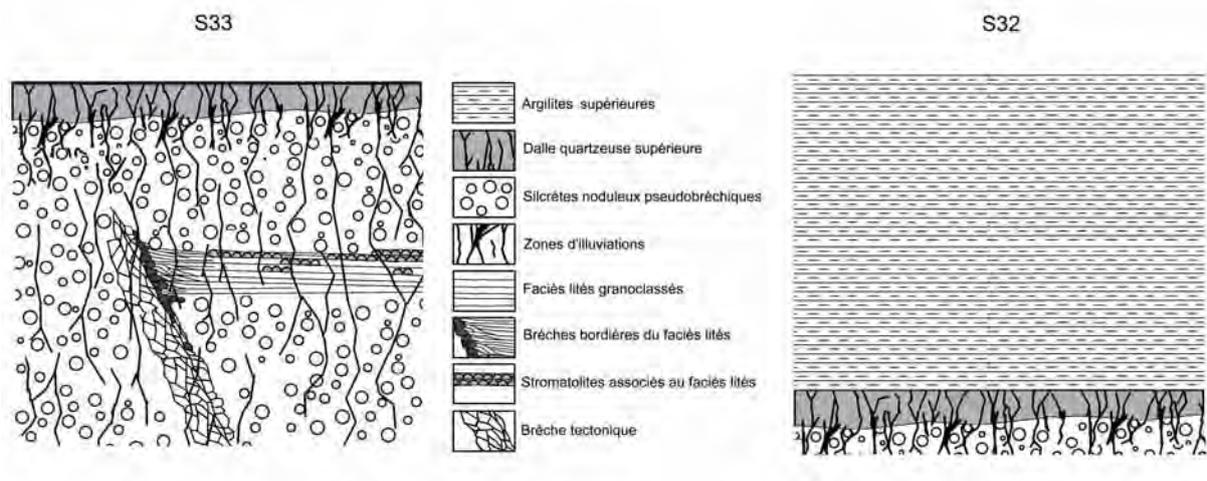


Figure 6 : Coupes schématiques sans échelle des relations structurales observées entre les différents types de silcrètes des sondages S32 et S33 (campagne 2015).

nombreux sites allant du Paléolithique moyen au Mésolithique (p. ex. l'abri Peylenc à Saint-Pierre-Eynac, l'abri Dufau à Blavoz, Sainte-Anne I et le Rond-du-Barry à Polignac, la grotte Cottier à Retournac, Baume-Vallée à Solignac-sur-Loire, le col de Claron au Cros-de-Géorand ou Tatevin II à Chanteuges parmi d'autres). Si à proximité de l'affleurement de Saint-Pierre-Eynac des silex taillés avaient été reconnus depuis longtemps sur les pentes de la colline, notamment dans le champ situé au carrefour entre la D26 et la D261, nous avons montré que l'ensemble de ces

éléments étaient pris dans des dépôts remobilisés au cours des siècles par l'action de la gravité, du gel et du ruissellement (Defive et Raynal 2014). L'opération archéologique visait donc à retrouver l'emplacement du site principal, suspecté depuis longtemps, mais dont l'emplacement exact restait inconnu jusqu'à la campagne de 2014.

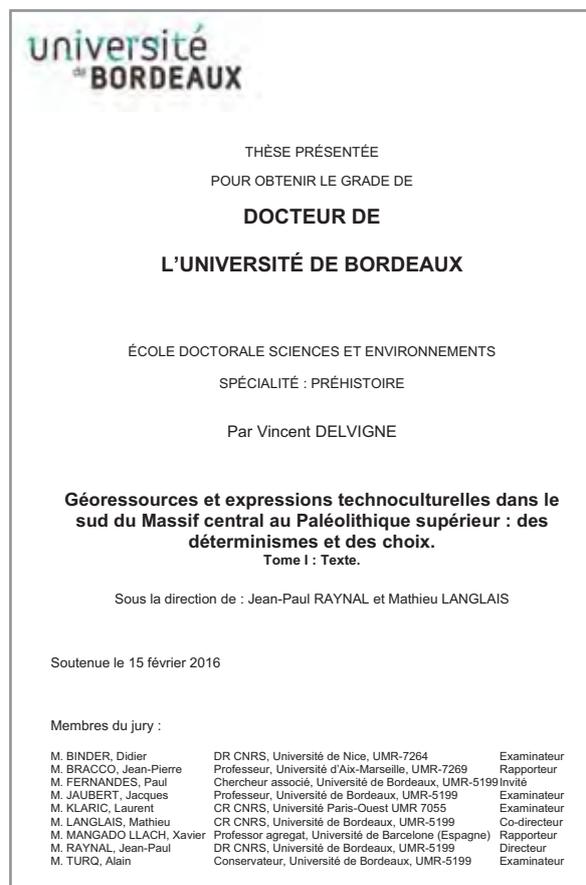
Le gîte-atelier se présente sous la forme d'un grand épandage de roches situé juste sous le sol végétal récent. Les blocs de silcrètes déjà fendus par le gel intense qui sévissait à la fin de

la Préhistoire et par les phénomènes tectoniques étaient faciles d'accès et de bonne qualité. Seules les premières étapes de la taille (le dégrossissage et la mise en forme) étaient réalisées sur place puis les blocs à peine travaillés étaient emportés plus loin, sur d'autres sites en vue de la réalisation d'activités variées. Cette segmentation des activités sur les sites explique pourquoi à Saint-Pierre-Eynac nous n'avons retrouvé que peu d'outils au profit de blocs testés et des premiers éclats de préparation. La découverte d'une « fosse d'extraction » d'environ un mètre de profondeur montre néanmoins qu'au moins pendant un temps les hommes avaient investi l'espace en creusant le substrat rocheux à la recherche de blocs plus satisfaisants à leurs critères (Figure 2c).

Bien qu'en de rares points une stratigraphie ait pu être préservée, la plupart des industries en pierre taillée, pourtant d'époques différentes, se retrouvent toutes mélangées en surface dans un même niveau. Ce phénomène résulte en fait de l'emplacement même du site qui, situé en haut de colline, est bien plus soumis à l'érosion qu'au dépôt de sédiments, empêchant la formation d'un sol qui pourrait enfouir, préserver et fossiliser l'organisation des vestiges archéologiques. Seuls les blocs de roches s'entassent les uns sur les autres, les plus petits éléments s'insinuant entre ceux plus gros amenant à la formation d'un amas ouvert de pierraille. Pour autant si nous n'avons pas établi la succession chronologique précise des occupations ni effectuer de datations par carbone 14 puisque l'acidité du sol ne permet pas la conservation des ossements, nous avons reconnus des pièces archéologiques typiques de différents moments de la Préhistoire tels des nucléus Levallois du Paléolithique moyen, de grandes lames du Paléolithique supérieur, de petits nucléus à lamelles du Mésolithique ou des « pics » du Néolithique.

Après une dizaine d'années de recherches dont deux campagnes de fouilles estivales, il s'avère donc que les connaissances scientifiques concernant le massif de Saint-Pierre-Eynac ont été bouleversées, aussi bien dans le domaine de la géologie que dans celui de l'archéologie. Si la découverte d'objets en silicrète de Saint-Pierre-Eynac dans différents sites régionaux montrait déjà la grande mobilité des groupes humains dès les débuts de la Préhistoire locale, la présence de quelques silex de Naussac (Lozère) et d'Aubenas (Ardèche) sur le gîte-atelier vient confirmer le caractère central de cette zone dans l'économie des groupes préhistoriques du Velay et de ses marges.

3.4 Géoressources et expressions technoculturelles dans le sud du Massif central : des déterminismes et des choix. Résumé de thèse. (VD)



Ce travail pétroarchéologique clôt un débat vieux d'une trentaine d'années à propos de l'origine des silex dans les sites du Paléolithique supérieur du Velay (Masson 1981a, 1982a, 1983 ; Torti 1983a, 1983c, 1985 ; Demars 1985 ; Aubry 1991). Ce résultat, déjà fait pour les sites du Paléolithique supérieur de Limagne (Surmely *et al.* 1998a), vient étendre l'aire de diffusion des silex du Turonien (inférieur et plus rarement supérieur) jusqu'au sud de l'Auvergne. Outre cet aspect quantitatif, notre réévaluation a permis de considérer le nombre important de types de silex présents dans les assemblages considérés, et ce quelque soit le domaine de collecte (local, semi local, lointain). Il s'agit d'ailleurs, pour les quatre principaux sites de cette étude (Le Blot, le Rond-du-Barry, La Roche à Tavernat et Sainte-Anne II), de la plus grande diversité jamais observée pour des gisements du Paléolithique. Outre son rôle dans l'économie préhistorique, nous pensons que cette observation résulte de notre méthode d'analyse (observation micrographique de la totalité des éléments) et que son application étendue à d'autres sites préhistoriques permettrait (au même titre que pour le Velay) d'affiner les études pétroarchéologiques disponibles à l'heure actuelle. L'intégration du

concept de chaîne évolutive des silicifications, développé ces dernières années par P. Fernandes et son équipe (Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2006a, 2010 ; Fernandes *et al.* 2007, à paraître ; Thiry *et al.* 2014), a également autorisé une meilleure caractérisation des lieux de collecte du silex, illustrant par la même, une récolte d'un même type génétique dans de nombreux gîtes distincts (types gîtologiques). Or, ne plus seulement rechercher l'origine stratigraphique d'un silex mais son dernier lieu de dépôt (c'est à dire là où il a été collecté par l'homme), permet d'approcher le degré de connaissance et la gestion du milieu minéral par les hommes. Par ailleurs, l'étude de l'origine des silex a mis en avant des relations insoupçonnées depuis les débuts du Paléolithique supérieur avec différents domaines situés dans toutes les directions de l'espace. Ce simple constat remet en cause les conclusions des travaux précédents, qui voyaient dans le Velay un espace clos et replié sur lui-même.

La phase d'acquisition de données terminée, il s'agissait d'interpréter, de modéliser et d'intégrer aux autres travaux d'archéologie préhistorique, ces nouveaux résultats. La représentation ainsi que le mode d'introduction et de consommation des différents types de matériaux sur les sites nous ont permis de distinguer les choix opérés par les hommes, autorisant dès lors l'inscription sémantique du litho-espace dans un essai de reconstruction du paléo-espace économique puis social (territoire) de chacun des groupes. Pour ce faire, nous avons proposé un nouveau mode de figuration des territoires, plus en accord avec les données de l'archéologie, de l'ethnographie et de la géographie sociale. Il se présente non plus sous une forme sito-centrée (en étoile), mais sous une forme réticulaire dans laquelle le site n'est qu'un élément du territoire parmi d'autres au même titre, par exemple, qu'un gîte de silex, une zone de chasse, un gué, une source ou un géosymbole (réseau de lieu sensu Debarbieux). Ce mode de représentation, qu'il a été possible de développer en raison de la quantité et de la qualité des données pour le Gravettien récent et le Badegoulien, est rendu possible par la pérennité des comportements de collecte à travers le temps. En effet, en tant qu'élément structurant de la société (la gestion de l'espace est inscrite dans la mémoire collective), sa modélisation reste possible malgré la rareté des sites ou l'absence de stricte contemporanéité des occupations.

L'étude diachronique des variations de l'approvisionnement en matières premières lithiques dans le sud et l'est du Massif central au cours du Paléolithique est un axe de recherche fréquemment exploré par d'autres que nous depuis une trentaine d'années (Torti 1980 ;

Masson 1981a, Bracco 1992a, 1996 et plus spécifiquement pour le Paléolithique moyen Fernandes *et al.* 2006, 2008c ; Raynal *et al.* 2007, ou la fin du Paléolithique supérieur Surmely, 1998 ; 2000 ; Angevin et Surmely 2014 ; parmi d'autres). Outre les débats ayant opposé A. Masson (1981a, 1982a, 1983) - partisane des circulations à longues distances - à C. Torti (1983a, 1983c, 1985) - en faveur de trajets plus courts atteignant au maximum la cinquantaine de kilomètres - au début des années 1980, nous devons à J.-P. Dugas et J.-P. Raynal (1989 ; Raynal et Dugas 1992) puis à J.-P. Bracco (1992a, 1996) l'établissement des modèles de peuplement du Velay au Paléolithique supérieur, encore utilisés à l'heure actuelle. Ce dernier chercheur distinguait plus particulièrement deux phases : une première, ancienne, débutant au Gravettien et s'achevant au Magdalénien supérieur, et une seconde centrée sur le Magdalénien supérieur final (i.e. l'Épipaléolithique). Dans la phase ancienne, « le Velay apparaît comme un espace à occupation discontinue, épisodique, rythmée par les fluctuations climatiques du Würm récent » (Bracco 1996 : 58) et se caractérise par l'apport en quantité de matériaux lointains probablement acquis directement lors de cycles de nomadisme. Les hommes, remontant les vallées depuis les plaines et bas plateaux du sud du Bassin parisien s'établiraient dans les moyennes montagnes du Velay au gré des interstades du Dernier glaciaire. Au contraire, les occupations de la phase récente, contemporaine des améliorations climatiques du Bølling et de l'Allerød, seraient bien ancrées dans les hautes vallées de la Loire et de l'Allier comme l'illustre la prédominance des matériaux locaux et le développement d'un faciès technique très homogène : le Magdalénien supérieur final auvergnat. Dès lors, les liens forts auparavant entretenus avec le Bassin parisien se distendent et ne se retrouveraient que sous la forme d'influences techniques.

Après un hiatus de peuplement couvrant le Châtelperronien, l'Aurignacien et le Gravettien ancien et moyen (cultures reconnues plus au nord en Allier et pour le Gravettien ancien en Limagne), les premières traces d'occupation du sud-est du Massif central apparaissent au Gravettien récent par les niveaux 35 à 52 du Blot à Cerzat. Notre étude a révélé l'existence de rares prélèvements de silex dans le domaine local, probablement engagés dans d'autres activités de subsistance, à l'avantage de ceux effectués dans les domaines semi-locaux et lointains. Les matériaux provenant du domaine semi-local illustrent des relations avec les terrains cénozoïques de la Limagne et par delà la Margeride, dans la vallée de la Truyère qui elle-même ouvre plus à l'ouest sur le bassin d'Aurillac et le bassin d'Aquitaine comme en

témoigne l'existence des types D1207 (Oligocène du bassin d'Aurillac) ; D1206 / F300 (Campanien V du Bergeracois) et D1232 / F305 (Angoumien de Fumel) dans l'assemblage. Au moins en Limagne, la récolte de silex correspond à autant de jalons sur le parcours des hommes en amont de leur arrivée au Blot.

L'absence de matériaux des hautes vallées de l'Allier et de la Loire, comme le défaut de sites subcontemporains dans l'espace régional, nous engage à considérer le Blot comme un « terminus » situé en marge d'un territoire principal prenant place plus au nord, dans le sud du Bassin parisien (Berry et Touraine), comme l'indiquerait l'origine de la plupart des matériaux lointains. Cette impression est renforcée dans l'ensemble supérieur (G2) par le délaissement des ressources minérales de la Limagne au profit des silex marins crétacés de la frange sud du Bassin parisien. Pour autant, ni la disponibilité en matériaux ni la fonction/statut du site ne semblent être modifiées durant toute l'occupation que nous interprétons comme une succession de camps temporaires sur lesquels prennent place des activités de préparation à la chasse aux rennes. La haute vallée de l'Allier serait alors considérée comme une zone de chasse, seulement fréquentée lors de raids en vue de l'acquisition de matière carnée par de petits groupes d'individus qui reviennent de façon récurrente. La modification dans la gestion des matériaux entre les deux ensembles (G1, inférieur et G2, supérieur), seule véritable rupture dans les activités de subsistance (même industrie lithique, même faune chassée, même type de site) pourrait alors traduire un changement de groupe, un abandon partiel du Velay puis un retour des groupes ou une modification du statut de la Limagne qui serait seulement traversée lors des occupations les plus récentes (G2). Outre sa probable position chronologique dans la seconde partie du Gravettien récent, la structuration techno-économique et lithologique de l'assemblage lithique du Blot dépendrait donc du type et de la durée d'occupation, eux mêmes subordonnés au statut du gisement dans la gestion du territoire.

À la suite du Gravettien récent, l'occupation de la haute vallée de l'Allier se poursuit au Gravettien final de faciès protomagdalénien identifié dans les couches 22 à 34 du Blot et au Rond-de-Saint-Arcons. L'approvisionnement en matières premières est caractérisé par l'absence d'exploitation du domaine minéral local (si ce n'est la récolte dans le lit de l'Allier de galets utilisés en tant que percuteurs) et par la rareté des roches provenant de la Limagne. Dans la droite ligne des dernières occupations du Gravettien supérieur (G2), les silex lointains du sud du Bassin

parisien (Berry et Touraine) dominant nettement l'assemblage, notamment ceux du Turonien supérieur (variété du type D0018) et inférieur (variété du type F0038). Leur quantité et leur diversité sous entendent la bonne connaissance de ce domaine très lointain et l'acquisition directe de matériaux en amont du parcours conduisant les hommes en Auvergne.

En se fondant sur les travaux de J.-P. Dugas (inédit), nous avons reconnu trois différentes phases dans les occupations du Gravettien final du Blot. Au contraire du Gravettien récent (voir supra) et comme d'autres l'avait reconnu avant nous (Masson 1981a ; Virmont 1981 ; Bosselin 1997 ; Surmely et Hays 2011), elles présentent toutes trois une grande homogénéité lithologique. Couplé à la très importante quantité de silex lointains, l'apport de blocs entiers ou à peine préformés illustre une anticipation totale des besoins, les rares silex semi-locaux présents dans l'assemblage étant probablement le fait d'un comportement opportuniste des hommes pour une utilisation ponctuelle et immédiate. Même si les matières premières lithiques accessibles régionalement sont extrêmement rares dans l'équipement, l'environnement local n'en est pas moins connu et maîtrisé comme en témoigne la réoccupation et l'aménagement du site au cours des siècles, la connaissance des parcours migratoires du renne (présence d'un gué en contrebas du site permettant de concentrer les animaux) ou la présence de plaquettes de talcschiste provenant des environs du site comme support de gravure. L'absence de matériaux locaux dans l'équipement lithique ne serait donc pas lié à une méconnaissance de l'environnement mais plutôt à un comportement prévisionnel des hommes qui choisiraient de transporter avec eux des matières premières sur de longues distances plutôt que de rechercher des matériaux aptes à la taille alors même que d'autres activités dictant leur venue mobilisent une grande partie de leur temps et de leur énergie (abattage et traitement d'une ressource abondante représentée par le renne à un temps t de l'année).

Il semble donc exister une certaine continuité dans le mode d'occupation et dans le statut de la haute vallée de l'Allier durant toute la fin du Gravettien. En effet, outre l'apport inégalé dans les autres sites régionaux de silex crétacés du sud du Bassin parisien dans les trois phases du Gravettien final et dans l'ensemble supérieur du Gravettien récent (G2), il semble que la fonction du site perdure au cours des temps.

Ces observations nous permettent d'interpréter le Blot comme un site spécialisé en lien avec l'acquisition massive de matière carnée durant toute la fin du Gravettien et installé en marge d'un espace de vie principal probablement situé

quelques 200 km plus au nord dans le sud du Bassin parisien. Comme en Limagne, l'absence de gisements contemporains dans cet espace pose toutefois la question des biais de recherche/prospection et de l'existence de sites de plein-air encore non découverts (conservés ?) ou reconnus. Cette continuité dans la gestion du territoire illustrée par l'occupation successive de deux espaces correspondant l'un à la zone principale d'habitat (sud du Bassin parisien) et l'autre à une zone de chasse exploitée lors de raid (sud est de l'Auvergne) trouve d'étranges échos avec les observations effectuées dans l'ouest du Massif central entre espaces périgourdin et quercinois (Allard *et al.* 2005 ; Klaric *et al.* 2009 ; Guillermin et Morala 2014).

Après une lacune d'occupation de deux millénaires correspondant au Solutréen, le Badegoulien marque une telle rupture dans la gestion de l'espace vellave (et de la haute vallée de l'Allier) qu'il nous incite à séparer en deux la phase ancienne de peuplement définie par J.-P. Bracco (1992a, 1996).

Le Badegoulien est à l'heure actuelle la première période du Paléolithique supérieur à présenter des occupations dans les deux vallées (Loire et Allier). L'origine des matériaux retrouvés dans les sites archéologiques montre d'une part la traversée des principaux interfluvies de l'espace régional : Margeride (déjà remarquée au Gravettien récent), Devès et Monts du Mézenc et du Vivarais en direction de la vallée du Rhône et d'autre part le franchissement dans leur partie moyenne des rivières et fleuves majeurs que sont le Cher, l'Allier et la Loire respectivement vers le Berry, la Sologne et le centre du Bassin parisien, autant d'itinéraires en partie inédits lors du retour des hommes en Velay. Ainsi, dès les débuts du Badegoulien, la reconquête du massif est rapide, les itinéraires sont déjà bien établis et l'espace, ouvert dans toutes les directions, est connu et maîtrisé. Les montagnes et les neiges éternelles, longtemps considérées comme des barrières infranchissables, sont en fait poreuses et permettent la réunion de matériaux (et d'hommes ?) provenant de tout le pourtour du Massif central. Au sein de cet espace à l'interface entre monde méditerranéen et atlantique, la grotte du Rond-du-Barry semble jouer un rôle pivot dont le caractère original serait dicté par trois principaux facteurs :

1. un temps d'occupation plus long que dans les autres sites subcontemporains,
2. une diversité des activités,
3. une diversité des influences, notamment méridionales (Lafarge 2014).

Nous remarquons ainsi qu'à l'instar de la Roche à Tavernat (Bracco 1992a), la part de matériaux locaux et semi-locaux au sein de l'assemblage augmente de façon importante dès les débuts du Badegoulien. Ils illustrent alors la souplesse d'un système technique particulièrement adapté et la bonne connaissance du milieu minéral. Les silex semi-locaux résulteraient pour une part de récoltes effectuées le long du parcours ou lors d'occupations antérieures et d'autre part de collectes à l'occasion d'expéditions logistiques aux objectifs qui restent indéterminés.

Toutes les occupations du Badegoulien d'Auvergne : la Contrée Viallet, la Roche à Tavernat, le Blot, Cottier, la Goutte Roffat et dans une moindre mesure le Rond-du-Barry et le Grange Jobin, semblent développer le même type d'occupation : des habitats de durée limitée prenant place durant la bonne saison et dans lesquels sont réalisées diverses activités. Le domaine local (notamment la faune) y est préférentiellement exploité et les campements sont établis à proximité de ressources qui abondent en certains lieux à des moments donnés de l'année ; un mode de gestion du territoire qui rappelle celui des serial specialist du nord canadien (Lee 1975 ; Binford 1980 ; Kelly 1995 ; Audouze 2006, 2007). À la différence du Gravettien, la moyenne montagne ne serait donc plus uniquement fréquentée lors de raid, dans la mesure où les occupations seraient comprises dans un vaste cycle de nomadisme ponctué d'arrêts plus ou moins longs intégrant dans un même territoire le sud du Bassin parisien (Berry) et le Velay. Lors de ce parcours, s'établissent des contacts avec les groupes des provinces voisines et permettent l'échange de biens ou d'individus. Si les espaces considérés semblaient vastes au Gravettien, intégrant aussi bien le Velay, les Limagnes le Berry que la Touraine, il semble qu'au Badegoulien leur étendue diminue et se resserre sur l'Auvergne et le Berry. Toutefois, comme le suspectent W. Banks *et al.* (2011, 2014), ce rétrécissement des territoires semble s'accompagner d'un renforcement (une intensification ?) des liens intergroupes comme l'attesterait la grande diversité de types et les éléments de parure issus de domaines parfois très lointains (centre du Bassin parisien, Touraine, Poitou) toujours présents en petite quantité.

Ces résultats diffèrent des modèles établis (Cretin 2007) sur deux points :

- l'étendue des aires d'approvisionnement, généralement réduites au Badegoulien,
- la proportion de matériaux lointains, habituellement anecdotique dans les séries de cette période.

Or en Auvergne les déplacements de matériaux sont parmi les plus longs enregistrés et les

silicifications lointaines forment une part conséquente des assemblages. Pour autant, ces matériaux ne semblent pas répondre à une économie de la matière spécifique et sont débités de façon similaire aux matériaux locaux. À ce titre, nous pensons que ni l'acquisition de silex, ni celle de matière carnée (chasse diversifiée principalement centrée sur le cheval et le bouquetin, comportement ici encore en opposition avec les périodes précédentes du Gravettien) ne peuvent justifier l'ampleur des déplacements humains sur plusieurs centaines de kilomètres entre Berry et Velay. Si au Gravettien nous postulons que les hommes entraînent dans le Velay à la poursuite des troupeaux de rennes en vue de l'établissement de stock de nourriture (supra), nous pensons qu'au Badegoulien l'un des ressorts économiques (potentiellement prétexte à des rendez-vous sociaux) expliquant la mobilité des hommes est l'acquisition de gros bois de chute de rennes mâles non disponibles dans l'espace régional. Alors qu'au Gravettien, il semble que les acquisitions de bois animal et de silex soient disjointes, il apparaît qu'au Badegoulien celles-ci sont intégrées, marquant encore la profonde fracture dans les systèmes économiques et la gestion du territoire existant entre ces deux cultures.

Suite au Badegoulien, une nouvelle lacune d'occupation correspondant au Magdalénien inférieur prend place en Auvergne (Lafarge 2014 ; Raynal *et al.* 2014). Puis, également longtemps considéré comme absent des enregistrements, le Magdalénien moyen a été récemment reconnu en Limagne (Angevin et Surmely 2014), et en Velay à l'abri du Blot à Cerzat (Angevin 2010b), à l'abri Dufau à Blavozy (Lafarge com. pers.) et au Rond-du-Barry (couche E, A. Lafarge com. pers.). Si dans le Puy-de-Dôme, R. Angevin et F. Surmely (op. cit.) constatent l'apport important de silex lointains en réponse à un impératif technique qui est la réalisation de grandes lames, il semble, à première vue, qu'il en soit tout autre en Velay. Par exemple, à l'abri Dufau, les grandes lames sont confectionnées en silcrète de Saint-Pierre-Eynac (Annexe 8) alors qu'au Rond-du-Barry elles sont fabriquées certes en silex turoniens de la frange méridionale du Bassin parisien (variété de F0038) mais également en silex bajociens de Naussac (F0140.1), en silex barrémo-bédouliens de la moyenne vallée du Rhône (F0014) et en silex cénozoïques de Laps (F0012) ou de la vallée de la Borne (F0003.1) (travail en cours). Outre la révision pétroarchéologique des collections du Magdalénien (moyen et supérieur) du Rond-du-Barry (couche E), celle des séries des niveaux supérieurs des chantiers I et III du Blot (gisement à l'interface entre Limagne et Velay) serait des plus informatives s'il existe bien un tel différentiel

dans la gestion des matériaux entre domaine vellave et basse Auvergne.

Nous possédons plus de données pour la période immédiatement suivante, le Magdalénien supérieur. L'étude du site de Sainte Anne II à Polignac a permis la mise en évidence de la plus grande diversité de matières du Velay (n = 101 types) dont les origines sont à rechercher tout autour du Massif central (sud et centre du Bassin parisien, moyenne vallée du Rhône, Provence, Bassin d'Aquitaine...), dans la lignée de ce que nous avons observé pour le Badegoulien (supra). La variété des gîtes exploités illustre un prélèvement au gré de la disponibilité des domaines minéraux, sans véritable sélection et cela quelque soit le domaine considéré. Pour autant, si comme à la fin du Dernier maximum glaciaire les matériaux semblent gérés de façon similaire sans prise en compte de leur origine (absence d'économie de la matière et finalité du débitage identique), le mode d'occupation du territoire paraît bel et bien différent. En effet, si au Badegoulien le Velay semble pleinement intégré aux parcours des hommes, au Magdalénien la moyenne montagne vellave serait considérée comme une annexe (zone de chasse ?) des sites d'habitat situés dans la vallée de l'Allier (p. ex. le complexe de Tatevin).

Au terme de ce travail, nous confirmons les conclusions de A. Masson (1981a) concernant l'origine débattue d'une grande partie des silex dits «blonds» présents dans les séries archéologiques du Velay. Un résultat qui vient renforcer l'importance et la pérennité des liens entre Bassin parisien et Auvergne déjà proposés pour le Gravettien final (Surmely et Hays 2011) et les sites de Limagne (Surmely *et al.* 1998, 2008a). Le caractère saisonnier et le type d'occupation des sites auvergnats alliés à la grande quantité, la diversité et le type d'apport des matériaux provenant de la frange méridionale du Bassin parisien indiquent la bonne connaissance de deux milieux distants de plus de 200 km et illustrent plus probablement une fréquentation discontinue de ces deux espaces par les mêmes groupes, que des échanges réguliers ou la venue de colporteurs (Surmely 2000 ; Surmely et Pasty 2003 ; Surmely *et al.* 2008a). Cette proposition permet d'esquisser les contours d'une vaste province préhistorique qui, au Paléolithique supérieur, incorporerait le Berry et l'Auvergne et dont la colonne vertébrale s'articulerait autour de la vallée de l'Allier. En fonction des périodes considérées les limites de cet espace s'étendraient plus à l'ouest vers la Touraine ou au contraire se contracteraient, mais l'existence de liens fort avec les provinces voisines semble être un phénomène qui transcende les périodes. Ainsi le Velay, considéré comme un véritable « cul de sac » (Djindjian *et al.* 1999 : 81),

semble au contraire s'ouvrir depuis les premiers temps du Paléolithique moyen (vallée du Rhône, Monts du Lyonnais in Fernandes et Raynal 2007) et plus encore au Paléolithique supérieur (Bassin d'Aquitaine, vallée du Rhône, Bourgogne, sud et centre du Bassin parisien, Poitou, ...). En ce sens, nous rejoignons les conclusions de J. Féblot-Augustin (1997) qui lie l'augmentation des distances d'approvisionnement en silex entre Paléolithique moyen et Paléolithique supérieur à un renforcement des réseaux d'échanges intergroupes et une plus grande mobilité des individus. La présence de silex crétacés du Bassin parisien et de la moyenne vallée du Rhône (Ardèche) dans le Moustérien de Champs Grand dans la Loire (Slimak 2004 ; Slimak et Giraud 2007) ou de Baume vallée en Haute-Loire (Masson 1981a, obs. pers.) tempère toutefois cette affirmation et pourrait montrer l'existence de tels réseaux ou de déplacements de grande ampleur dès la fin du Paléolithique moyen.

Nous avons également remarqué que les modalités de gestion de l'espace vellave varient de part et d'autre de la lacune d'occupation correspondant au Solutréen. En effet, au Gravettien récent et final, la vallée de l'Allier semble être considérée comme une zone de chasse en marge du territoire principal. Les occupations correspondent à une succession de raids en vue de l'établissement de stocks de viande (de renne), à l'instar de ce que P. Guillermin a pu observer dans le Quercy pour des groupes subcontemporains (Klaric *et al.* 2009). L'apport massif de silex lointains s'expliquerait ainsi par une volonté d'anticiper totalement les besoins afin de ne pas dépenser inutilement du temps et de l'énergie lors des périodes d'occupation du site essentiellement (uniquement ?) dédiées à l'acquisition de matière carnée. Il apparaît donc qu'à la fin du Gravettien, les motivations poussant à la mobilité des groupes soient intimement liées aux migrations des rennes.

Outre le Solutréen - période pour laquelle aucune trace n'est connue ni en Velay ni en Limagne puisque les hommes restent aux marges du massif -, il apparaît dans les périodes suivantes (Badegoulien et Magdalénien) que les spectres fauniques se diversifient, le renne se retrouvant bien souvent loin derrière le cheval et le bouquetin sur les tableaux de chasse. Lors de la reconquête du massif au Badegoulien, l'espace est rapidement maîtrisé et l'ensemble des occupations présente les caractéristiques d'habitats de courtes durées qui semblent se situer le long d'un itinéraire donné. Les ressources locales sont exploitées, parfois de façon importante, selon une économie que nous qualifierions de vivrière. Si au Magdalénien, l'espace vellave est également considéré dans

son intégralité, les moyennes montagnes du Velay et la vallée de la Loire semblent pourtant correspondre à des terrains de chasse en lien avec des habitats plus pérennes situés, quant à eux, dans la haute vallée de l'Allier.

En se fondant sur les modalités de gestion de l'espace, il semble donc se dégager deux périodes distinctes dans la phase de peuplement dite ancienne. La première, dans laquelle la proportion de matières premières lointaines, relativement importante, est centrée sur la fin du Gravettien. Le Velay (et plus particulièrement le Haut-Allier) y est considéré comme la marge d'un vaste territoire centré sur le sud du Bassin parisien et les occupations résultent du déplacement ponctuel d'une ressource mobile (le renne) dans cet espace (= facteur extrinsèque), seule raison de la migration d'une partie ou de la totalité du groupe. La seconde, dans laquelle la part de silicifications lointaines diminue au profit des matériaux locaux et semi-locaux, intègre pleinement le Velay dans le circuit de nomadisme et l'ensemble des ressources qu'offre l'environnement est exploité sur des périodes plus ou moins longues (= facteurs intrinsèques).

3.5 Un nouveau gîte à silcrètes dans le nord-est de la Haute-Loire. Le gîte de Navogne (Bas-en-Basset, Haute-Loire) (VD, RL, JPR)

Les travaux du PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne » étaient l'occasion d'investir de nouveaux terrains, jusqu'alors délaissés par les prospections. Si nous connaissions déjà des silicifications dans l'est du département de la Haute Loire (Le Mazet, Araules...), le bassin de Bas-en-Basset restait vierge de données. Seul un nucléus Levallois avait été retrouvé dans les années 1990 au lieu-dit les Agrevoux à Navogne, quelques kilomètres au sud de Bas-en-Basset. La présence de terrains sédimentaires éocènes (arkoses du Mercuret et de Bas-en-Basset) et fini-oligocènes (dépôts sablo-argileux grossiers) incitait à investir ces espaces (Figure 7). L'un d'entre nous (RL) a retrouvé à proximité du lieu de découverte du nucléus un grand nombre de fragments de dalles et de nodules irréguliers centimétriques de silex palustres souvent peu roulés (Figure 8). L'ensemble des échantillons géologiques analysés provient de gîtes secondaires (colluvions), le gîte primaire (probablement assez proximal) restant à ce jour inconnu. Les échantillons géologiques sont parfois fortement patinés en blanc, brûlés ou gélifractés. Aucun vestige archéologique n'a été reconnu au sein de la cinquantaine d'éléments collectés.

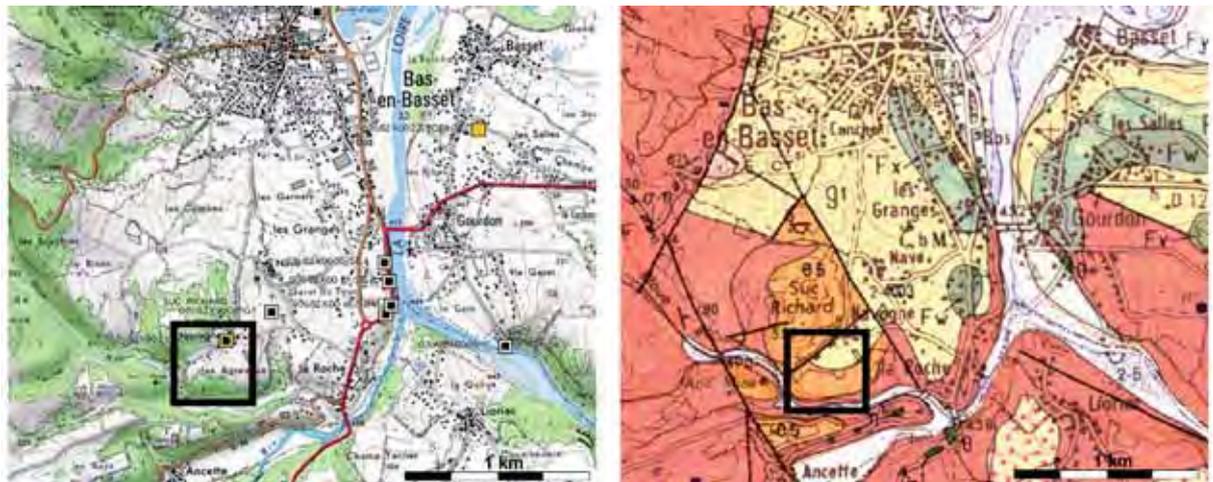


Figure 7 : Plan de situation du gîte à silcrètes de Navogne (Bas-en-Basset). Source : infoterre.fr.

Les silex (cf. Planche 1), très homogènes, se caractérisent par un cortex millimétrique, corné et irrégulier, généralement siliceux de couleur blanche à jaune. La limite entre le cortex et la matrice siliceuse est nette et régulière, parfois marquée par des invaginations correspondant à des traces de racines. La proportions en allochems est faible (généralement inférieure à 10 % du rapport allochems/orthochems) et répartie en deux catégories :

1. une composante détritique constituée de rares petits quartz roulés et de très petits fragments blancs pour lesquels des investigations futures (RAMAN, IR) permettraient de déterminer la nature ;
2. une composante biologique représentée par des fragments de végétaux, des petits débris ligneux ainsi que des traces de racines (typha) de diamètre varié. Enfin, il est possible d'observer de fréquentes sphérolithes allant

de 100 μ m à 1 mm à remplissage de quartz automorphes.

La combinaison de tous ces facteurs permettent de différencier les silex de Bas-en-Basset de ceux macroscopiquement semblables de la Collange (Lantriac, Haute-Loire), de Saint-Léger-du Malzieu (Lozère) ou des Champs d'Argentière (Vaux, Allier).

Ces travaux de terrains ne sont qu'à leurs balbutiements et la poursuite des prospections dans ce secteur est nécessaire comme le montre la découverte dans les vieilles terrasses, à 7 ou 8 km en aval le long de la Loire, de blocs plus ou moins massifs allant jusqu'à 20 cm de longueur pour une dizaine de kilogrammes d'un matériau très similaire. Il s'accompagne de blocs de grès parfois ferralisés et éolisés, de quelques « chailles » et d'un matériau siliceux de teinte sombre qui semble différent des silicifications ici décrite.



Figure 8 : Exemples d'échantillons géologiques en vue macroscopique.

Type : D0304

Dénomination : silex palustre à traces de racines de Navogne (Bas-en Basset).

Origine stratigraphique primaire : fin-Éocène / début-Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : Plio-Pléistocène.

Origine géographique primaire : Navogne (Bas-en-Basset, Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : indéterminée.

Type de silicification : silex palustre

Protolithe : indéterminé

Milieu de dépôt : milieu peu profond et peu agité.

Habitus : fragments de dalle, nodules irréguliers pluricentimétriques.

Cortex : millimétrique ; corné et irrégulier ; siliceux ; blanc à jaune ; à porosité moyenne ; ne porte pas de fossiles.

Néocortex : colluvions.

Limite cortex / zone silicifiée : nette et régulière parfois marquées par des invaginations correspondant à des traces de racines.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

% allochems / matrice : < 10 %.

Structure : homogène.

Composante détritique : rares petits (100 µm) quartz détritiques roulés (sph. 0,7 à 0,9 ; arr. 0,5 d'après Krumbein et Sloss 1961) ; rares petits (< 50 µm) fragments blancs indéterminés.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : rares petits débris ligneux ; rares fragments de végétaux (tiges) de taille variée (Ø = 100 µm et < 50 µm) ; fréquentes traces de racines de taille variée (Ø = 200 µm à 600 µm).

Minéralogie : rares petits rhomboédres ; fréquents petits quartz authigènes ; fréquentes traces de racines ; fréquentes sphérolithes (100 µm à 1 mm) à remplissage de quartz automorphes à croissance centrifuge, elles peuvent s'être développées au dépend d'oïdes carbonatées dissoutes puis remplies secondairement (sphérolithes).

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène, les traces de racines sont mieux exprimée dans la zone sous corticale.

Couleur initiale : indéterminée.

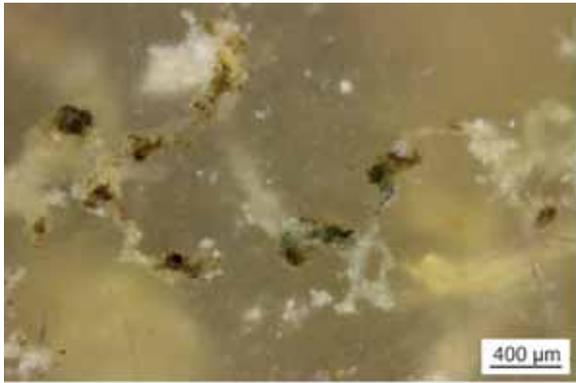
Couleur acquise : blond.

Porosité : faible à moyenne ; lumière des racines parfois colmatée par de la silice limpide.

Rugosité : nulle à faible.

Altération : oxydation de la matrice et des allochems détritiques arrondis. Les allochems sont fréquemment épigénisés.

Bibliographie : absente.



4. Perspectives pour 2016 (PF, VD)

Nous sommes aujourd'hui à un moment clé des études sur la circulation des silex. L'amélioration de la connaissance fondamentale a fait évoluer les activités de recherche appliquée. Cela nous a conduits, au sein du groupe, à associer au protocole existant des techniques novatrices qui permettent l'obtention d'informations complémentaires adaptées à la nature métastable du silex.

4.1. Interactions silex environnement. Vers une détermination précise de l'origine géographique des silex lacustres du bassin du Puy-en-velay

L'analyse des silex nécessite l'utilisation de modèles dynamiques afin de décrypter les étapes de la phase diagénétique et l'historique des processus postgénétiqes, la plupart du temps inscrits à leur surface (Knauth, 1994 ; Howard, 2002 ; Fernandes *et al.* 2007 ; Fernandes, 2012 ; Glauber et Thorson, 2012). 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 postgénétiqes qu'est fondée notre conception de la pétroarchéologie du silex. La variabilité des compositions d'origine et les évolutions acquises dans les formations secondaires apparaissent comme des traceurs. La prise en compte de toutes les variations et transformations enregistrées est une clé dans la détermination des gîtes exploités par les hommes préhistoriques.

Il s'agit d'intégrer à la chaîne analytique les nouvelles considérations concernant l'évolution minéralogique et chimique observée à la périphérie des silex (Fernandes *et al.* à paraître). Notre objectif est de lever les incertitudes en utilisant un protocole qu'il nous faudra construire au cours des trois prochaines années. Il sera fondé sur l'analyse comparative rencontrée à la surface des matériaux bruts (échantillons géologiques) et des objets archéologiques. À ce jour nous avons fait le choix des outils suivants : la microscopie de polarisation, la microscopie électronique à balayage équipée pour la microanalyse X (MEB-EDXS), la diffraction des rayons X (DRX), la spectroscopie Raman, la spectroscopie infrarouge à transformées de Fourier (IRTF), la spectroscopie par résonance paramagnétique des électrons (RPE) et le Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry (LA-ICP-MS). Cette liste reste à organiser et éventuellement compléter au cours de nos futures collaborations. L'analyse mise en place au cours des années

précédentes est corroborée par une démarche quantitative et semi quantitative, qui intègre des critères dynamiques (évolution de la minéralogie, de la composition chimique, de la microporosité et des états de surface) plus performants dans l'élucidation structurale et chimique.

Il s'agit :

1. de déterminer et de quantifier la composition minéralogique et chimique des fronts de dissolution/recristallisation de la zone corticale d'un même type de silex dans différents gîtes ;
2. d'effectuer une revue critique des méthodes de caractérisation physico-chimique des matériaux en adéquation avec le principe de chaîne évolutive des silex.

Dans un premier temps le choix s'est porté sur l'étude de l'évolution des silex oligocènes de la vallée de la Borne (variétés de type F0003) dont les différents sous-types génétiques et gîtologiques sont bien décrits. Même si, cette opération nécessite un obligatoire retour sur le terrain afin de contrôler le contexte géologique de chacune des formations, rappelons que l'échantillonnage réalisé ces dix dernières années est particulièrement précis et serré pour cette formation, permettant dès lors l'application de méthodes de caractérisation lourde.

4.2. Finaliser l'Atlas des types marqueurs recensés en Auvergne

Nous avons décidé (JPR, PF, VD, MP) au cours des dernières réunions à l'Archéo-Logis/CDERAD (Laussonne, Haute-Loire) de compléter les informations acquises sur les types marqueurs ou non spécifiques reconnus en Auvergne afin de publier un atlas des microfaciès à la fin de la triennale. Ce premier document sera l'illustration de silex issus de plusieurs systèmes à l'intérieur d'une zone géographiquement circonscrite. L'ouvrage sera divisé en autant de chapitres que de groupes étudiés (silex lacustres, silex palustres, silcrètes, silex marins...). Une partie de ces fiches, réalisées à partir des échantillons disponibles dans la lithothèque de Laussonne, est d'ores et déjà disponible (annexe 7).

4.3. Poursuivre le bilan cartographique

Dans le but d'améliorer le géoréférencement des géoressources déjà inventoriées, il a été décidé pour les années n+1 et n+2 de transposer les outils géomatiques utilisés en PACA et en Aquitaine

à l'Auvergne (annexes 4 et 5). Cette approche permettra de construire de nouvelles cartes numériques proposant un système d'informations géographiques qui permet de circonscrire la distribution naturelle des différents types de silex (cf. chap 3.1)

4.4. Rationaliser les prospections

Mettre en place de nouvelles opérations de prospection des gîtes en harmonisant et en améliorant les modes de prélèvement et d'enregistrement des échantillons. Le travail de terrain doit maintenant se concentrer sur deux points en Haute-Loire : 1) le repérage et la caractérisation fine des dépôts secondaires et 2) la recherche de silicifications dans les terrains en aval du seuil de Chaspinhac, à l'image de celles découvertes cette année (cf. chap. 4.6).

Dans le Puy-de-Dôme, le recensement et l'étude des formations secondaires alluviales (p. ex. Allier, Dore) doivent être poursuivis et intensifiés, leur potentiel n'ayant été jusqu'alors qu'effleuré. De même, comme nous l'avons constaté par nous-même, nombre de « calcaires silicifiés » décrits au début du XX^{ème} siècle (Giraud, 1902) correspondent en fait à des cherts et la connaissance du potentiel minéral de la Limagne passe impérativement par un retour sur ces affleurements.

Si les travaux sont déjà bien engagés dans le Cantal et l'Allier, les nombreux échantillons collectés restent en partie inédits ou sont en cours de caractérisation. Dans la mesure où l'un d'entre nous (VD) a montré dans son travail de thèse que les silex de l'ouest et du nord du Massif central sont transportés en Velay depuis le Gravettien récent, leur caractérisation micrographique s'inscrit, dans un avenir proche, comme une de nos priorités.

Dans le nouvel espace régional « Rhône-Alpes Auvergne », la Loire fait figure de parent pauvre de la recherche pétroarchéologique, surtout menée ces dernières années sur les alluvions anciennes de la région de Roanne. À ce titre, des travaux de prospection et de caractérisation des matériaux sont nécessaires non seulement sur les terrasses de la Loire mais également sur les terrains cénozoïques où affleurent des silicifications éo-oligocènes (p. ex. Ruffieux, Savigneux, La Pacaudière).

4.5. Améliorer la diffusion des informations

Renforcer les collaborations entre les acteurs de la recherche sur les matières premières siliceuses dans la région (géologues, archéologues, prospecteurs) en favorisant les occasions de rencontre. Si celles-ci sont maintenant bien ancrées dans deux départements de l'espace régional (Haute-Loire et Allier) une partie de ce travail reste encore à mener dans le Puy-de-Dôme et le Cantal.

Communications scientifiques en 2015

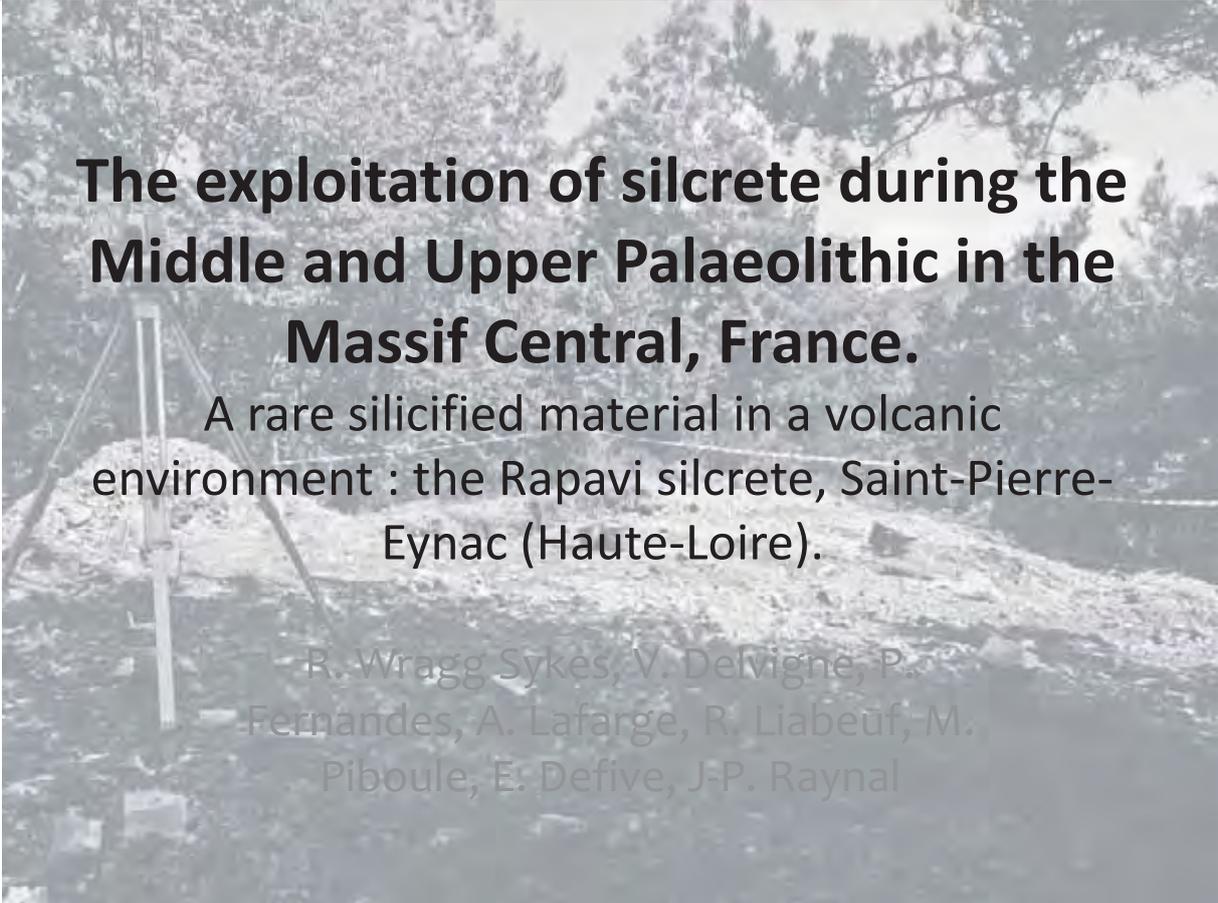


Cette partie regroupe les participations à colloques effectuées en 2015, qui découlent directement des opérations et des recherches menées dans le cadre du PCR.

Présentation à : *On the rocks', Xth International Symposium on knappable Materials. S12 Silcrete as a lithic raw material in global context: geology, sourcing and technic economics.*

R. Wragg Sykes, V. Delvigne, P. Fernandes, A. Lafarge, R. Liabeuf, M. Piboule, E. Defive, J.-P. Raynal

Du 7 au 11 septembre 2015. Université de Barcelone (Espagne).



The exploitation of silcrete during the Middle and Upper Palaeolithic in the Massif Central, France.

A rare silicified material in a volcanic environment : the Rapavi silcrete, Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire).

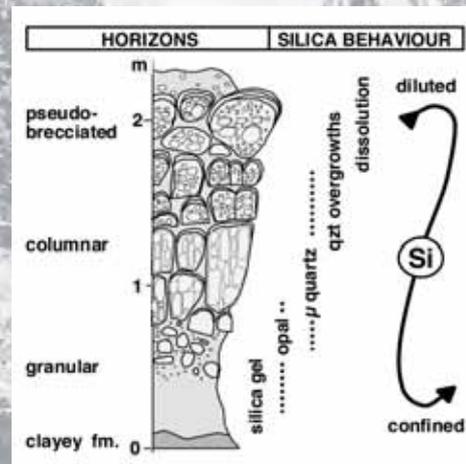
R. Wragg Sykes, V. Delvigne, P. Fernandes, A. Lafarge, R. Liabeuf, M. Piboule, E. Defive, J.-P. Raynal

Silcrete in Europe

- Geologically common
- Less widely known in archaeological literature than South Africa and Australia
- Present in numerous European countries from west, central and eastern Europe
 - Casa Montero, Spain
 - Moray, Scotland
- Exploited in some ways like flint but very often not recognized

French silcretes

- Great deal of research for geology and formation
- Fontainebleau sandstones, tertiary basins Massif central, e.g.
 - Thiry & Millot 1987
 - Fernandes 2012
- Formation variable depending on context



Example of formation for vadose silcrete, Thiry *et. al.* 2014

« Silex » in Auvergne

- Varied siliceous formations
- Very often derived alluvial, but some primary formation context (Basin du Puy, Limagne ...)
- Several silcrete sources known in departments of Auvergne (Allier, Puy-de-Dôme, Haute-Loire, Cantal) and Lozère.
 - North to south : Domeyrat-Montluçon, Saint-Bonnet de Four, Madriat, Arlanc, Le Malzieu Le Mazet-Saint-Voy, Lantriac (La Collange), Araules ... and the Rapavi locale at Saint-Pierre-Eynac.

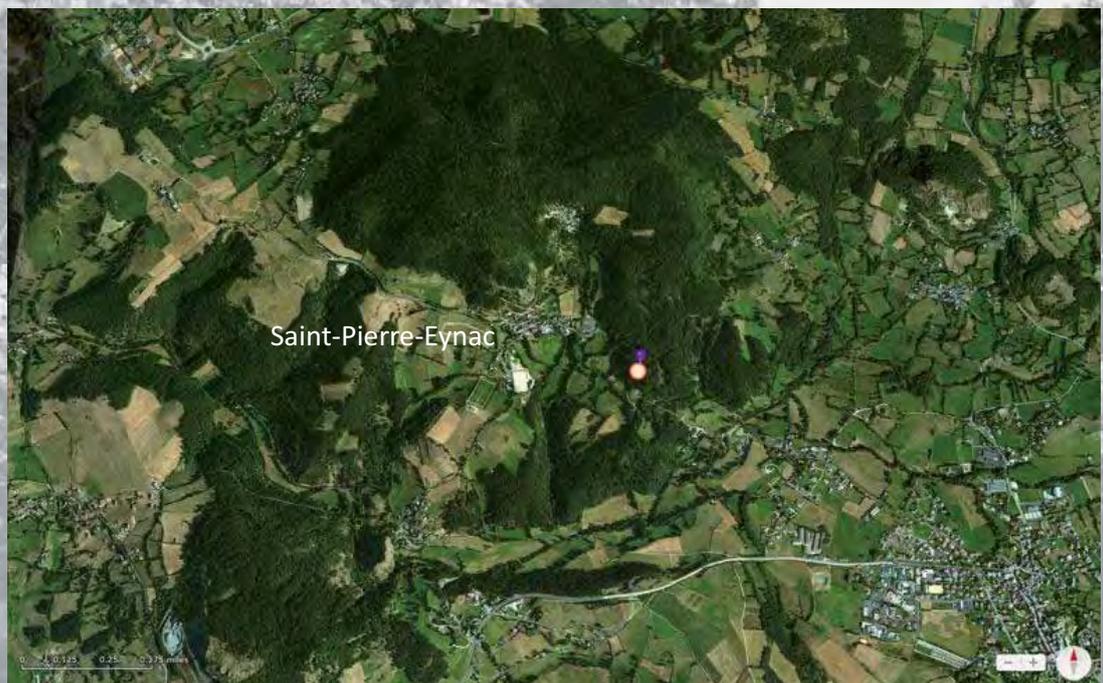
The Rapavi silcrete : location and geological context



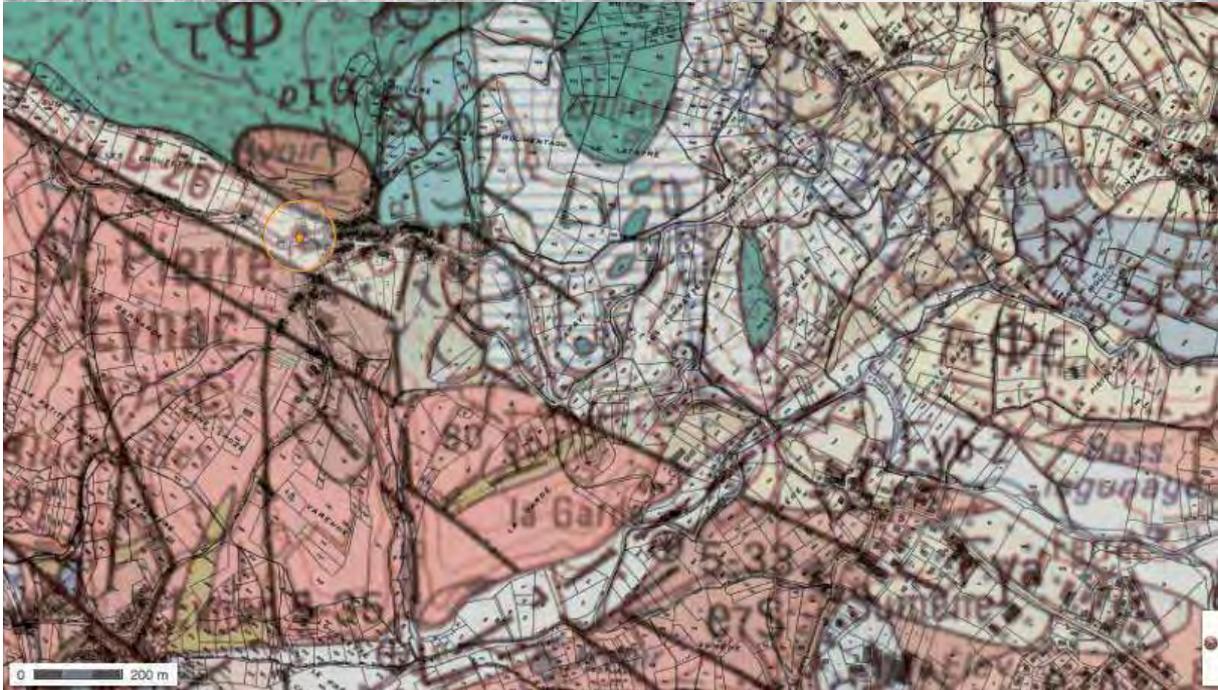
The Rapavi silcrete : location and geological context II



The Rapavi silcrete : location and geological context III



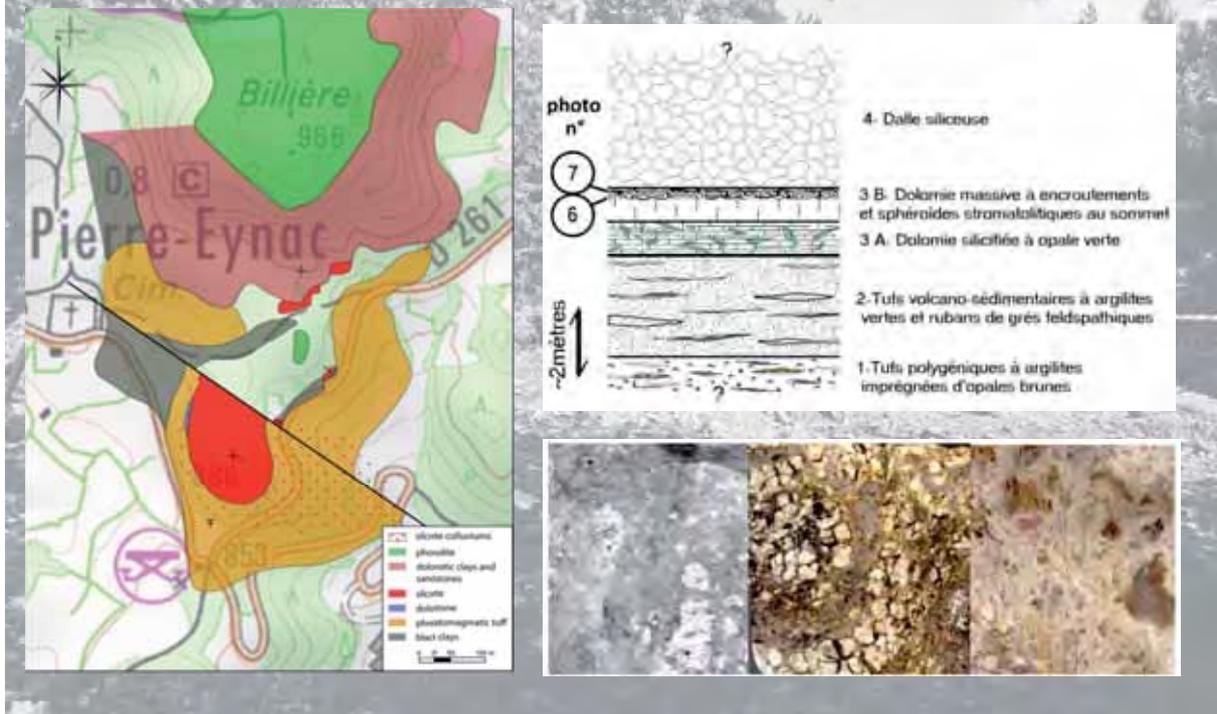
The Rapavi silcrete : location and geological context IV



The Rapavi silcrete

- C. 15 km east from Le Puy-en-Velay
- Known since 1823 (Bertrand-Roux)
- Hill with several silcrete outcrops
 - Single massive (8 m deep at least) outcrop has been exploited
- Recognised previously in regional prehistoric assemblages but not fully identified
- Recent work characterised as silcrete ; more accurate identification in regional Middle and Upper palaeolithic sites
- Project (2014-2015) examines all aspects of this resource (geological and archaeological)
 - Mechanical and manual excavation tranches, test pits, and controlled surface collection

Geological interpretation (ongoing)



Field Results: geological

- Re-evaluation of the resource depth and variability of facies





Field Results

- Possible pit cut into section of geological trench- Neolithic?
 - Section cut back and 2 lithic samples taken
 - Apparent strong blade focus including large core fragments



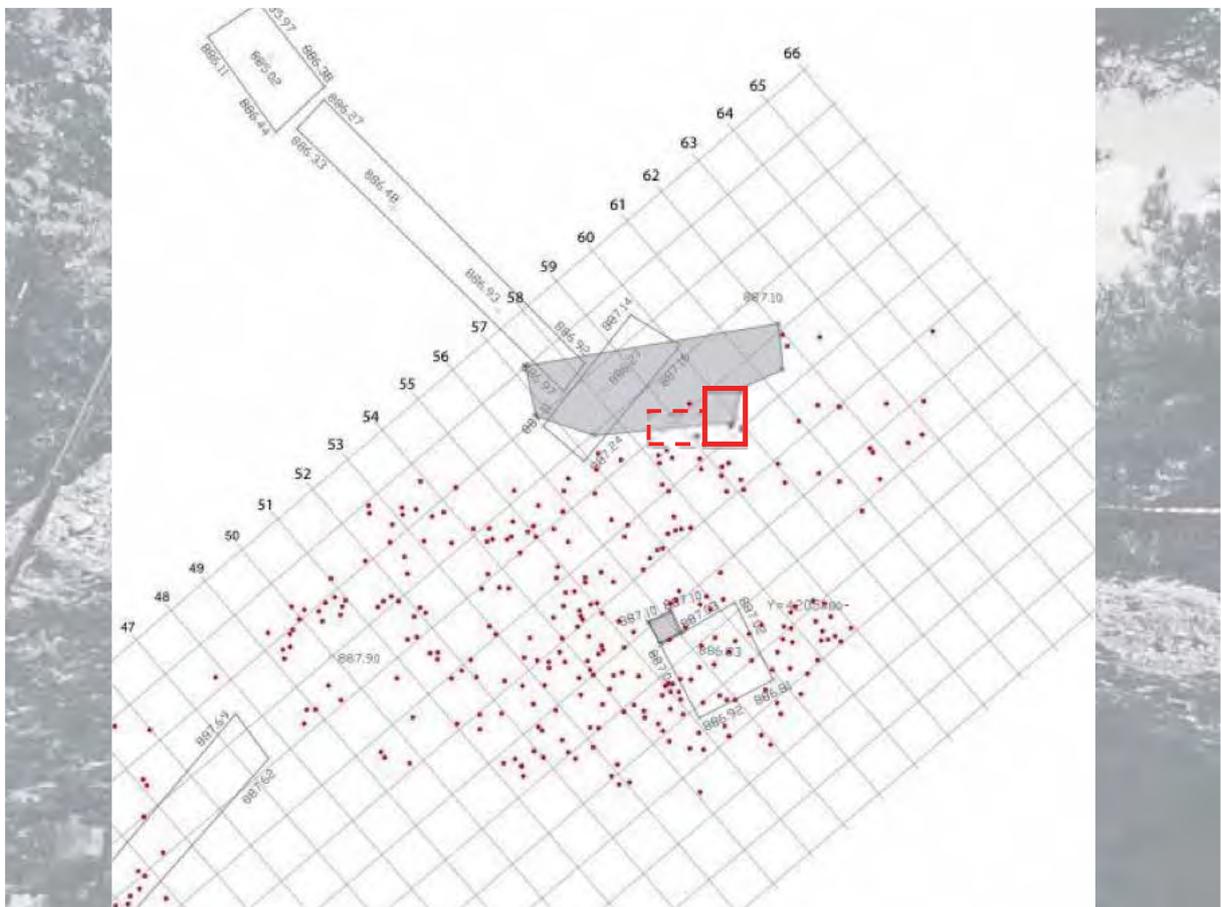
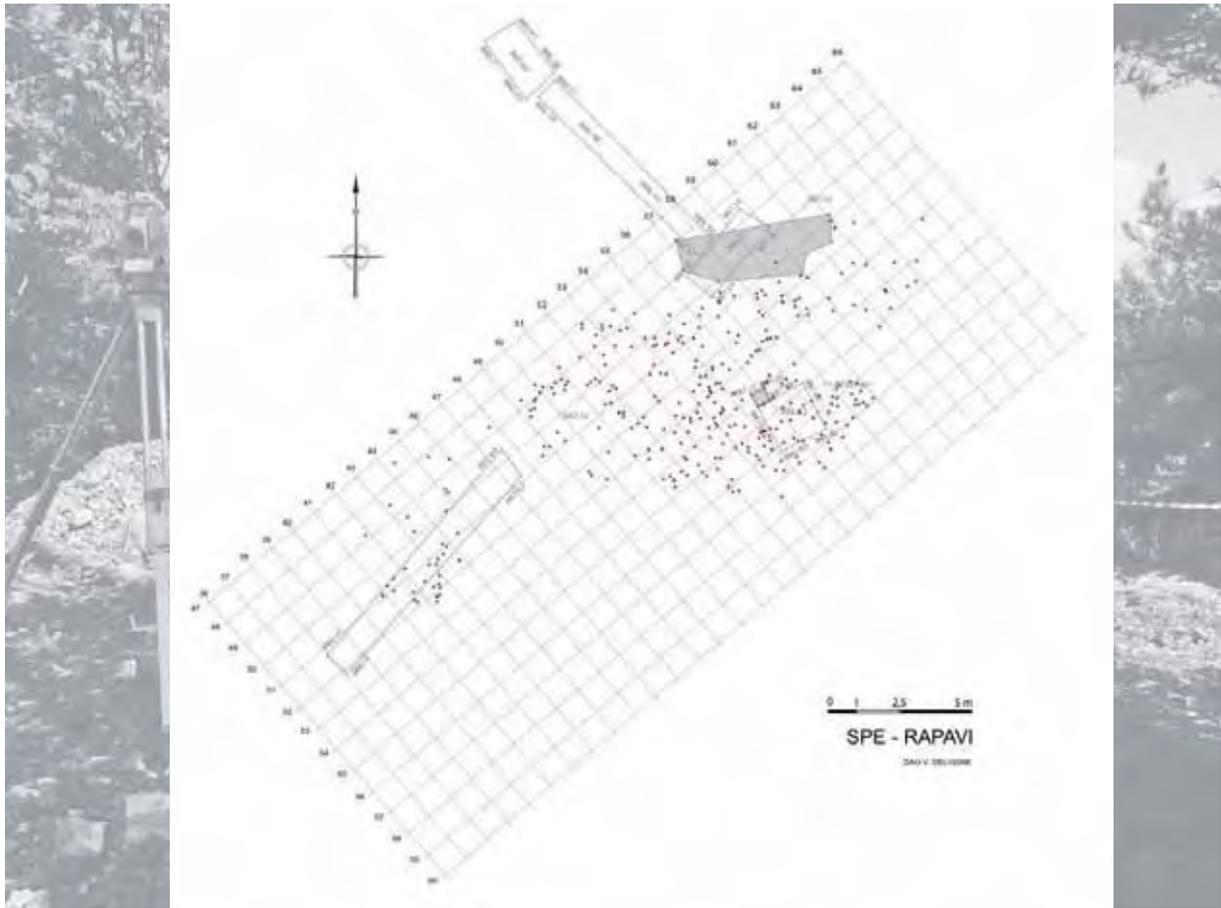




Field Results: surface survey

- Surface survey of large part of the workshop
- To gain understanding of gross spatial variation
 - Following quarry study methodology by Doelman
 - Focus on cores and technologically distinctive pieces
 - 320 plotted; yet to study in detail
 - Burnt pieces





Field Results: surface survey

- Majority of 'cores' very minimally worked; testing of material ?
 - Unipolar, single or migrating platforms
 - Rarer alternate reduction
 - Mesolithic bladelet cores: imported raw materials



Field Results: deep test pit

- 50 x 50 cm test pit from 2014 extended for stratigraphy
- Depth c. 70 cm
- Change in soil colour c. 60-70 cm
- Lithic samples being processed and studied
 - Very rich in debitage (almost as much as 2014)
 - Deepest sample 60-70 cm
 - Few technologically-distinctive pieces
 - Small number of centripetal flakes
 - Very little blade technology



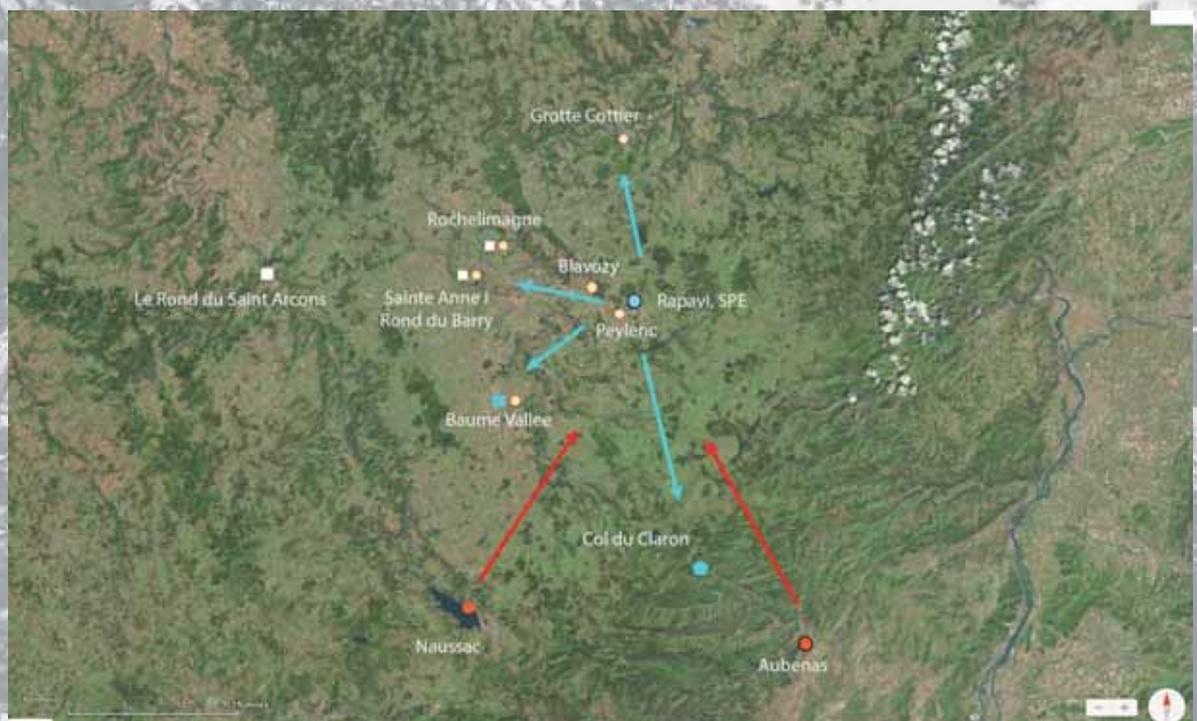


Archaeological overview

- Project 2013 -2015
- Many cores not intensively or formally worked
 - unipolar/ bipolar most frequent
 - rare discoidal and Levallois cores rare = Middle Palaeolithic?
- Small blades and bladelets productions = Upper Palaeolithic, Mesolithic
- Picks = Neolithic?
- Very few retouched pieces
- Burning- natural or heat treatment?
- Imported raw materials
 - Upper Palaeolithic or Mesolithic bladelet, Naussac, c. 40 km
 - Mesolithic cores, Allenian flint, Aubenas, > 50 km
 - Jurassic flint, location not yet identified



Export and import from Rapavi silcrete location



Regional connections

- Middle Palaeolithic: very small cores including Levallois recurrent centripetal, end-products (Levallois point; Mousterian point)
- Mid-stage reduction site elsewhere?



Regional connections

- Upper Palaeolithic sites
- (Badegoulian/Magdalenian)
- all stages of laminar production sequence
- crested blades, cores, cores tablets, large blades, neocrested blades
- Few tools: burins, scrapers, denticulates.



Regional connections

- Mesolithic: Le Col de Claron (le Cros de Georand)
- Unretouched flakes
- Blade fragments



Some conclusions

- Utilised regionally since early Middle Palaeolithic
- Extraction site at hilltop; also quarry?
 - Little clear Middle Palaeolithic evidence
 - Different site, or depth issue?
 - Mainly Upper Palaeolithic and later at hilltop?
- Generic character – raw material or reduction stage?
 - High degree of fractures, sires
 - Knapping experiments
 - Cave assemblages
 - But less distinct than other Middle Palaeolithic raw material source sites e.g. Clos du Charnier, Ardeche
 - Combination: export of minimally worked pieces & some debitage?

Acknowledgements

- The Rapavi project is part of the PCR « Espaces et subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central » directed by J.-P. Raynal and M.-H. Moncel, financed by the French Ministry of culture, Conseil général de la Haute-Loire, communauté de communes Mézenc Loire sauvage, commune de Laussonne
- R. Wragg Sykes supported by a Marie Curie Intra-European Fellowship funded by the European Commission 7th Framework
- Thanks to conference organisers

Affiliations

- Université de Bordeaux - PACEA : V. Delvigne, P. Fernandes, J.-P. Raynal, R. Wragg Sykes
- Université Paul Valéry Montpellier III – UMR 5140 : A. Lafarge
- Université Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Géolab : E. Defive
- DRAC Auvergne : R. Liabeuf
- Max Planck Institute for Human Evolution: J.-P. Raynal
- Without affiliation : M. Piboule



Présentation à : *On the rocks', Xth International Symposium on Knappable Materials. S12 Silcrete as a lithic raw material in global context: geology, sourcing and technic economics.*

**P. Fernandes, M. Thiry, M. Piboule, C. Léandri, V. Delvigne, P. Tallet,
J.-P. Raynal**

Du 7 au 11 septembre 2015. Université de Barcelone (Espagne).

Flint in its diverse natural occurrences

Flint in its natural occurrences : geo-tools for a better definition of the sourcing of secondary outrops

Paul Fernandes

SARL Paléotime, Villard-de-Lans & Université Bordeaux-1

Médard Thiry

Mines-ParisTech, Fontainebleau

Michel Piboule

21 rue General Ferrié. 38100 Grenoble

Céline Leandri

Aix Marseille Université & DRAC de Corse, Ajaccio

Vincent Delvigne

Université Bordeaux-1

Pascal Tallet

SARL Paléotime, Villard-de-Lans

Jean-Paul Raynal

Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Leipzig.

University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

evolutionary chain of flints

sourcing	history	evolution stages		mechanisms	
↑↑↑	archeological deposit	post-genetic	post-deposition	centri-petal	secondary patina abrasion - wear knapping
	reworking		ante-deposition		patina abrasion disruption
	outcropping	initial	-fugal	re-crystallisation dissolution	
	sedimentary	diag-		lithification	crystallisation compaction

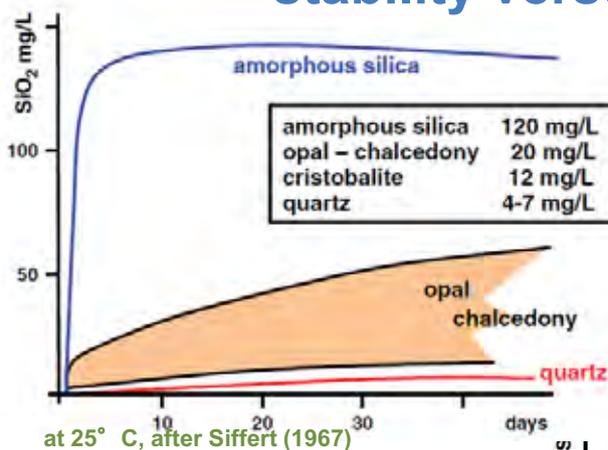
silica (flint, silcrete, chert, hydrothermal silica) are metastable materials in superficial environments.

their internal structures evolve as a function of the various environments in which they exist.

each step of their travel to a secondary position is recorded by a particular physico-chemical signature.

University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

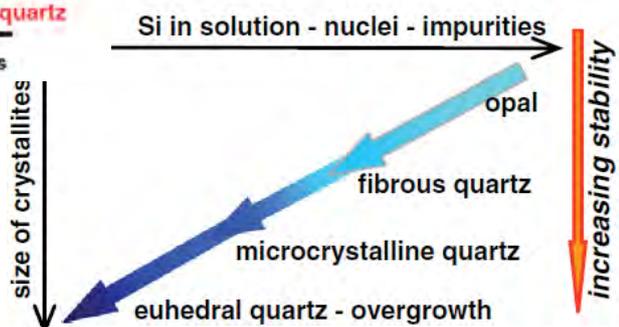
solubility of different silica varieties, stability versus crystallinity



the most soluble phases may feed the less soluble ones

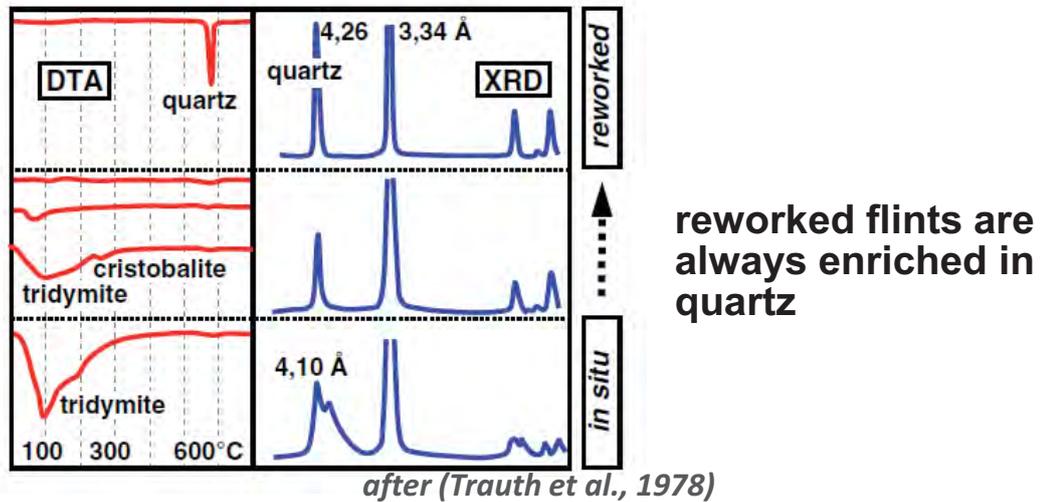
the reverse is not possible

evolution and recrystallisation always go towards less soluble (more stable) silica phases



University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

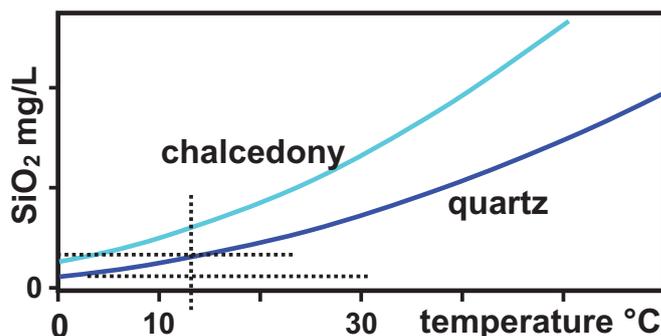
mineralogical composition



University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

two ways to precipitate silica

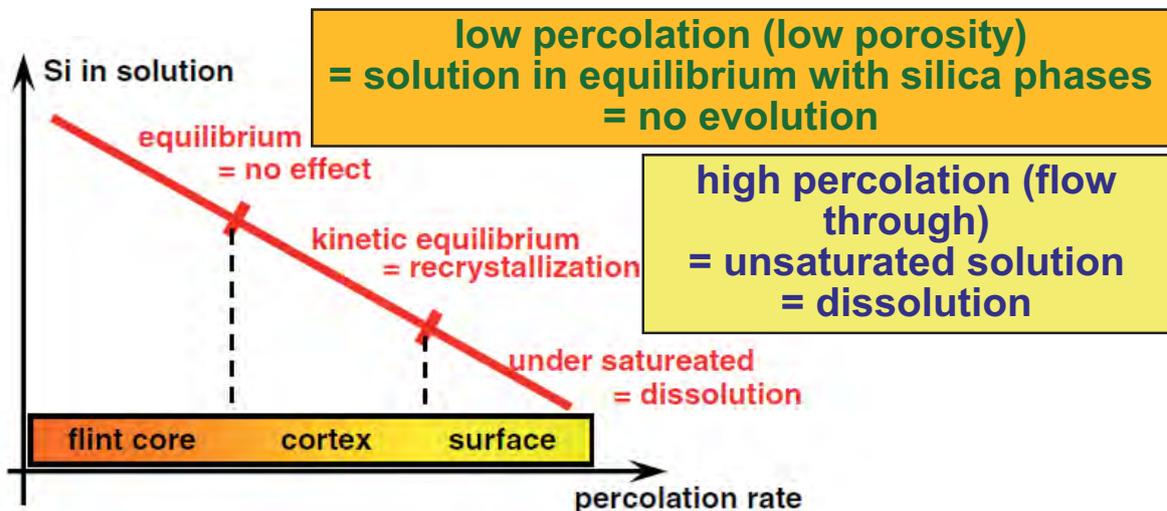
- ① it is classically admitted that the most common mechanism of silica precipitation results from solution concentration by evaporation ... this is one path ...
- ② another very efficient mechanism is solution cooling ... silica solubility decreases with temperature ...



during glacial stages ... groundwater reaching cold soils will cool down and may precipitate silica ...

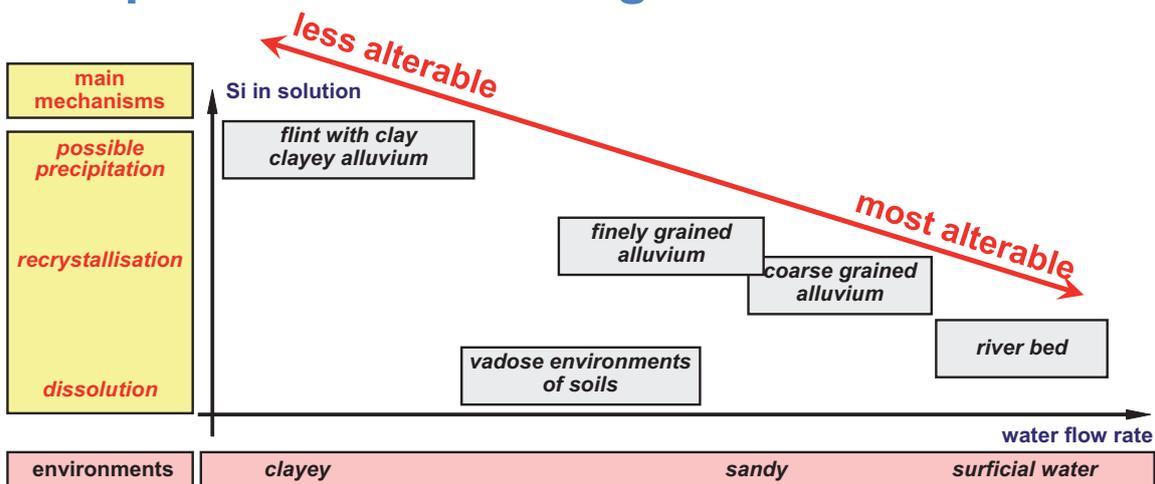
University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

percolation rate controls Si concentration



University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

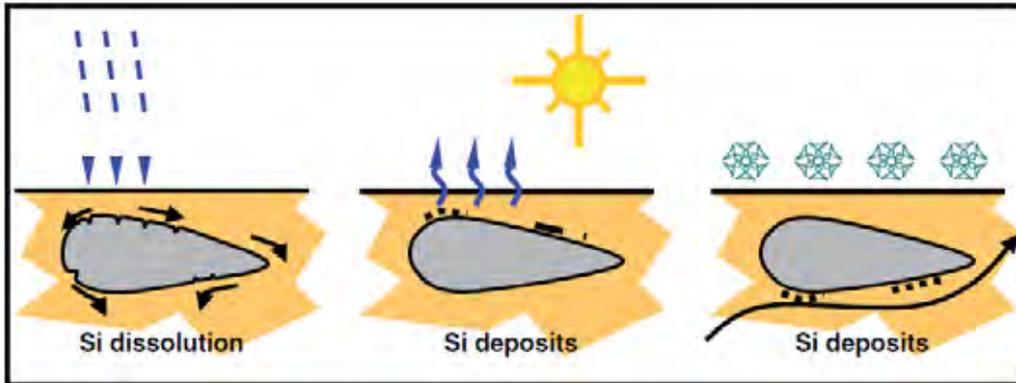
potential weathering vs environments



coarse grained host material favours weathering and dissolution
whereas
fine grained and clayey host material preserve flint from weathering

University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

potential weathering vs paleoclimate



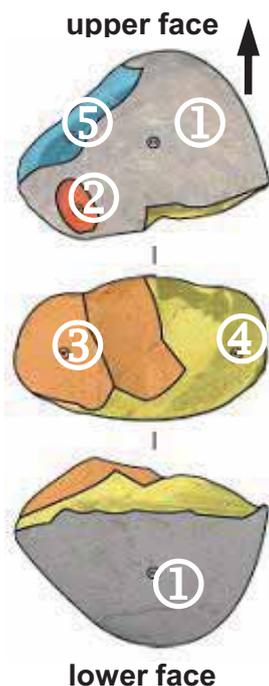
reworked flints or artefacts may undergo:

- 1) dissolution by vadose water,
- 2) silica deposition in warm and dry environments,
- 3) silica deposition in cold environments as well.

polarity is also a parameter that has to be kept in mind

University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

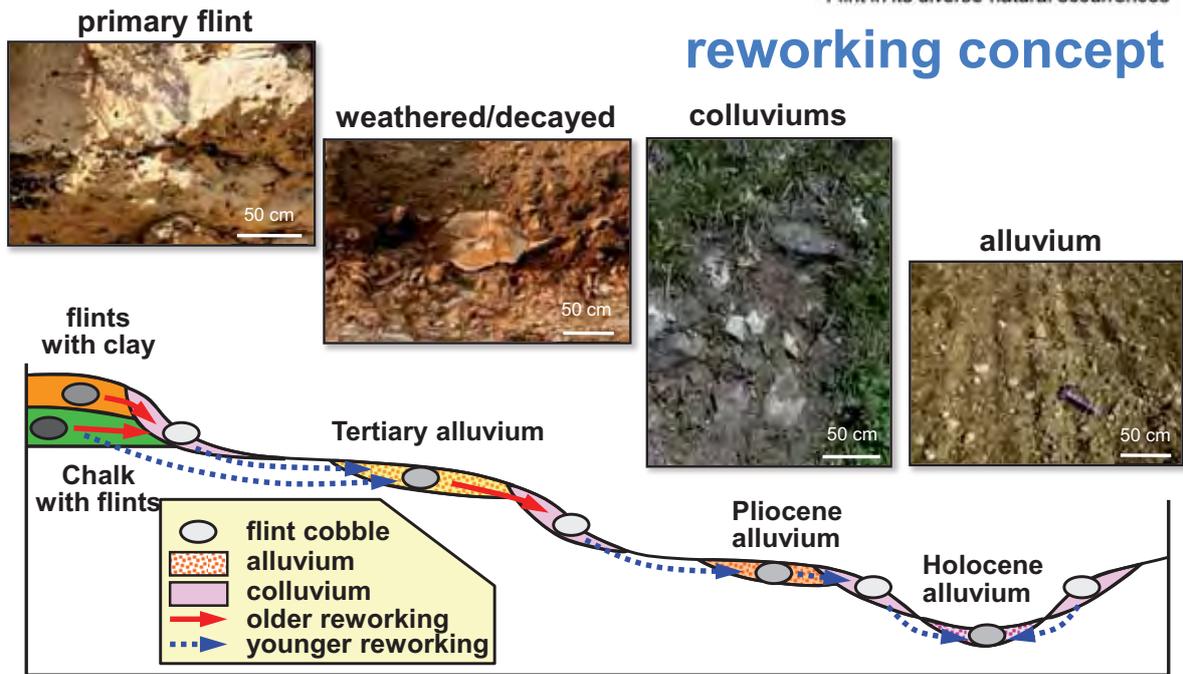
chronology of the successive surfaces is a major key



spatial arrangement of the surfaces is the key to decipher chronology of surfaces and from there the successive environments that experienced the flint

looking upon edges, ledges, flat surfaces, depressions ...

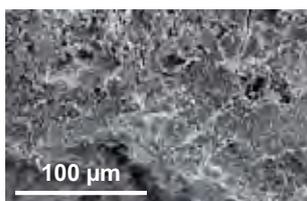
University of Barcelona 8-10 September 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials



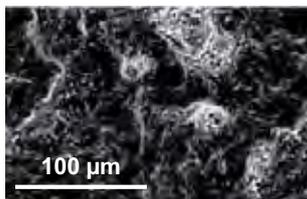
the primary flint may experience different geological pathways and travel through very different environments

University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

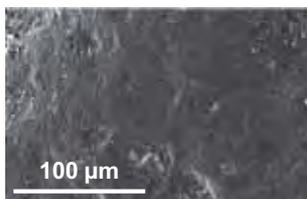
our characterization is mainly based upon micromorphology and textures ...



micromorphology (electronic and optical microscopy) allows to recognise several petrographic facies and textures, often within a single flint cobble, and even within the flint cortex;



textures are interpreted in term of geochemistry with particularly attention to the equilibrium of the different silica phases;

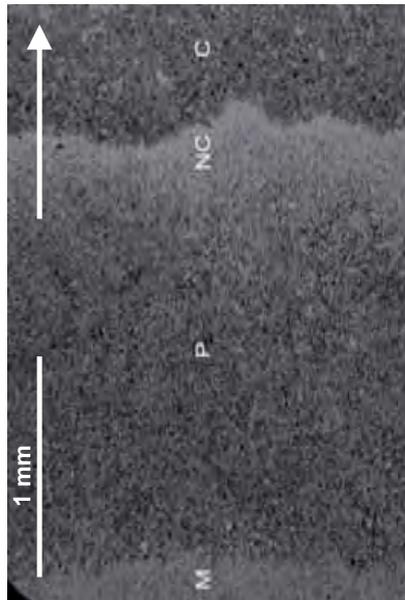


textures are matched against pedological and sedimentological environments in which they went through, **building up a referential of characteristic facies**;

these characteristic elements are used to interpret the textures bound to the successive split stigma.

University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

... and spatial arrangement of the textures



C - highly interconnected porosity

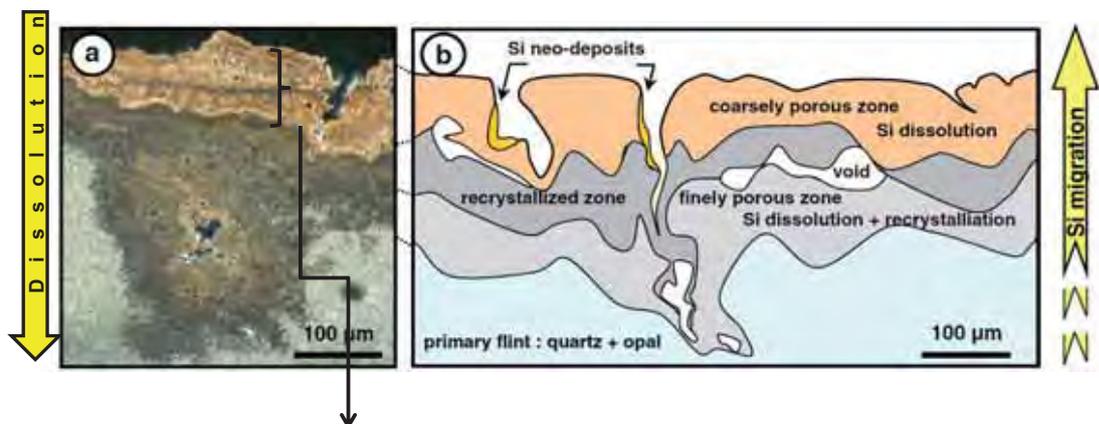
NC - recrystallised zone

P - limited interconnected porosity

M - flint core: fibrous texture of chalcedony

University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

changes in sub-cortical weathering rind of flint



recrystallized zones indicate a polychronic and polygenetic geochemical history

University of Barcelona 8-10 september 2015, Xth International Symposium on Knappable Materials

In summary

in near-surface environments flints undergo several recrystallizations and texture changes that allow to trace their provenance

mineralogical and petrographical characteristics (recrystallization, dissolution, deposition and the spatial arrangement of surfaces) are related to specific and identifiable weathering environments

further research are needed to strengthen the reference table between the petrographic textures and geological environments

according to this, alteration characteristics of flint cortices will be able to determine the accurate provenance of artefacts, not only with regard to primary sources, but also taking in account the regional secondary sources resulting from successive reworking flint deposits.



Conclusion

On peut déjà avancer les points positifs suivants :

1. le nombre des publications témoigne du dynamisme de l'activité ;
2. les innovations mettent l'accent sur le fait qu'il est important de maintenir cette synergie. Le PCR « Réseau de lithothèques en Auvergne » est la fois bien positionné sur une démarche novatrice et en interaction forte avec des thématiques portées par différents laboratoires représentant plusieurs disciplines. Son originalité est de présenter des qualités dans les domaines de l'expérimentation et de la théorie des processus supergènes adaptés à la préhistoire.

Grâce à nos contributions à l'échelle régionale et nos collaborations au niveau multirégional, la pétroarchéologie bénéficie d'une avancée significative fondée sur l'étude des transformations des matériaux siliceux. L'analyse des processus mécaniques et physico-chimiques responsables de l'altération des silex devrait permettre d'affiner la détermination des origines stratigraphiques et gîtologiques des silex auvergnats. Les séries lithiques déjà observées ou en cours d'étude participent 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. Nous allons 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 l'altération des silex en position naturelles et des objets archéologiques. On a ainsi commencé à constituer un procédé de quantification de la transformation de la structure et de la composition initiale. Les données acquises en 2015 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.

La mission 2016 s'insère dans la dynamique actuelle d'optimisation des connaissances de nos territoires et de nos patrimoines. Elle est directement liée à une volonté des directions des Instituts du CNRS concernées (InEE et InSHS), de la Sous-direction de l'Archéologie et de l'INRAP de contribuer à une structuration nationale des recherches sur les géomatériaux. La démarche est courageuse et innovante, car elle dépasse les pratiques scientifiques généralement répandues. Nous sommes convaincus qu'elle accroîtra nos connaissances à l'échelle régionale et ouvrira la porte à une meilleure détermination des matériaux et de leur circulation. Notre approche conduit à une meilleure caractérisation des types déjà reconnus et à une définition des lieux de collecte plus précise. Cette démarche collaborative fournit désormais les bases indispensables au développement d'études nationales sur la caractérisation des stratégies territoriales des sociétés préhistoriques.

Bibliographie

- AFFOLTER, J. (1999) – Caractérisation pétrographique et utilisation préhistorique de quelques matériaux siliceux alpins. In : P. Della Casa (Dir.), *Prehistoric alpine environment, society, and economy*. Comptes rendus du colloque international PAESE 97 (Zurich). Bonn : R. Habelt (Ed.), pp. 253-256.
- AFFOLTER, J. et BRESSY, C. (2009) – Les matières premières siliceuses : méthodes d'études et ressources. In : G. Pion (Dir.), *La fin du Paléolithique supérieur dans les Alpes du nord françaises et le Jura méridional. Approches culturelles et environnementales*. Paris : Société préhistorique française, pp. 143-160 (Mémoire 50).
- ALCAYDÉ, G., CADET, J.-P., GIGOUT, M., LORENZ, J., BROSSÉ, R., DEBRAND-PASSARD, S., LORENZ, C., RAMPNOUX, J.-P. (1976) – *Val de Loire : Anjou, Touraine, Orléanais, Berry*. Paris : Masson, 191 p. (Guides géologiques régionaux).
- ALLARD, M., CHALARD, P., MARTIN, H. (2005) – Témoins de mobilité humaine aux Peyrugues (Orniac, Lot) durant le Paléolithique supérieur, signification spatio-temporelle. In : J. Jaubert et M. Barbaza (Dir.), *Territoires, déplacements, mobilités, échanges durant la Préhistoire. Terres et Hommes du Sud*. Actes des 126^{ème} congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques (Toulouse, 2001). Paris : CTHS, pp. 219-231
- ANGEVIN, R. (2010) – Les lamelles à dos magdaléniennes du Blot (Cerzat, Haute-Loire). Observations liminaires sur la production, le statut et la fonction des microlithes dans les industries lithiques du Sud de la France entre 15 000 BP et 13 500 BP. *Bulletin de Préhistoire du Sud-Ouest*, 18 (2), 171-191.
- ANGEVIN, R. (2013) - Contribution à un inventaire des ressources siliceuses du département de l'Allier (Auvergne, France). L'ouest du Bourbonnais et la moyenne vallée du Cher. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 76, 53-64.
- ANGEVIN, R. et SURMELY, F. (2014) – Les temps du Magdalénien dans le Massif central et ses marges septentrionales : structures paléohistoriques, mutations culturelles et expressions techniques entre 15000 BP et 11500 BP. In : J. Jaubert, N. Fourment et P. Depaepe (Dir.), *Transitions, ruptures et continuité en Préhistoire*. Actes du XXVII^{ème} Congrès préhistorique de France (Bordeaux – Les Eyzies, 31 mai au 5 juin 2010), Paris : Société préhistorique française, pp. 449-462.
- AUBERT, M., BATARD, F., BOUILLER, R., GIOT, D., GAGNIERE, G., JEAMBRUN, M., SAINT-JOANIS, R., TRICOT, B. (1982) – *Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), Issoire (718)*. Orléans : BRGM, 53 p.

- 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.
- AUDOUZE, F. (2006) – Essai de modélisation du cycle annuel de nomadisation des Magdaléniens du Bassin parisien. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 103 (4), 683-694.
- AUDOUZE, F. (2007) – Mobilité résidentielle et stratégie de subsistance dans le Magdalénien du Bassin parisien. In : P. Rouillar, C. Perlès, E. Grimaud (Dir.), *Mobilités, immobilisme : l'emprunt et son refus*. Actes du colloque de Nanterre (Nanterre, 8-9 juin 2006). Paris : de Boccard, pp. 27-44.
- AYMARD, A. (1921) – Contribution à l'étude du silex des terrains tertiaires des environs d'Aurillac. In : *Association Française pour l'Avancement des Sciences*, Comptes rendus de la 44ème session (Paris, 1921), pp. 422-425.
- BANKS, W., AUBRY, T., D'ERICCO, F., ZILHAO, J., LIRA-NORIEGA, A., PETERSON, A.T. (2011) – Eco-cultural niches of the Badegoulian: Unraveling links between cultural adaptation and ecology during the Last Glacial Maximum in France. *Journal of Anthropological Archaeology*, 30, 359-374.
- BANKS, W., AUBRY, T., D'ERICCO, F., ZILHAO, J., LIRA-NORIEGA, A., PETERSON, A.T. (2014) – Paléoenvironnements et adaptations humaines au Dernier Maximum Glaciaire : le cas du Badegoulien. In : J. Jaubert, N. Fourment et P. Depaepe (Dir.), *Transitions, ruptures et continuité en Préhistoire*. Actes du XXVIIème Congrès préhistorique de France (Bordeaux – Les Eyzies, 31 mai au 5 juin 2010), Paris : Société préhistorique française, pp. 341-354.
- BARRIER, P. (1995) – *Expertise microfaciologique de silex d'intérêt archéologique (SRA Auvergne), rapport REIG n° 95-146*. Direction régionale des affaires culturelles d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 13 p. (diffusion restreinte).
- de BAYLE DES HERMENS, R. (1966) – La grotte du Rond du Barry à Sinzelles, commune de Polignac, Haute-Loire. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 63 (9), 294.
- de BAYLE DES HERMENS, R. et CHOMETTE, D., (1990) – *Sites d'occupations préhistoriques dans la commune de Mazet-Saint-Voy (Haute-Loire)*. Mazet-Saint-Voy : Tarmeye, 15 p.
- de BAYLE DES HERMENS R. et 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.
- 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., 240 p.
- BIELAWSKI, J.-B. (1888) – *Récits d'un touriste auvergnat*. Issoire : Claudius Caffard, 480p.
- BINFORD, L.R. (1980) – Willow smoke and dog's tail : hunter gatherer settlement systems and archeological site formation. *American Antiquity*, 45 (1), 4-20.
- BOISSE DE BLACK, Y. (1933) – Le détroit de Rodez et ses bordures cristallines (étude géologique et morphologique). *Bulletin de la carte géologique de la France*, 188 (38), 1-310
- BORDES, F. et 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.
- BOSSSELIN, B. (1997) – *Le protomagdalénien du Blot. Les industries lithiques dans le contexte culturel du Gravettien français*. Liège : ERAUL, 329 p.

- BOULE, M. (1892) – *Description géologique du Velay*. Thèse de doctorat, Université de Paris, 261 p.
- BOUT, P. (1953) – L'érosion des reliefs phonolithiques et basaltiques de la Haute-Loire depuis le dernier glaciaire. *In : Mélanges géographiques offerts à Ph. Arbos*. Clermont-Ferrand : Institut de Géographie de la Faculté des Lettres de Clermont-Ferrand, pp. 91-102.
- BRACCO, J.-P. (1992a) – *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*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille-1, 229 p.
- BRACCO, J.-P. (1994) – Colonisation et peuplement en moyenne montagne volcanique au Würm récent : le campement badegoulien de la roche à Tavernat (Massif central). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 91 (2), 113-118.
- BRACCO, J.-P. (1995a) – 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 : R. Chenorkian (Dir.), L'homme méditerranéen*. Aix-en-Provence, Publication de l'Université de Provence, 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.
- BRESSY, C. (2009) – Approvisionnements en silex à l'Azilien récent : le site de Gerbaix (Saint-Christophe, Savoie). *In : G. Pion (Dir.), La fin du Paléolithique supérieur dans les Alpes du nord françaises et le Jura méridional. Approches culturelles et environnementales*. Paris : Société préhistorique française, pp. 183-194 (Mémoire 50).
- BROUSSE, R., BOËSSÉ, J.-M., PEYRONNET, P., TEMPIER, P., SEVIN, M.-A., VEYRET, Y., BELKESSA, R., (1980) – *Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), Loches (515)*. Orléans : BRGM, 32 p.
- 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.
- BRUNET, M., HUGUENEY, M., JEHENNE ; Y., (1977) - Première découverte d'une faune de petits mammifères dans le Paléogène de bassin d'Aurillac (Cantal) : implications stratigraphiques. *Géobios*, 10 (5), 749-752.
- CHAILLOU, D. (1967) – *La série cristallophyllienne du socle oriental du Cézaillier (Massif central français). Etudes géologique et structurale*. Thèse de 3ème Cycle, Université de Clermont-Ferrand, 218 p.
- de CHASTEIGNIER, A. (1868) - L'Âge de pierre dans les landes de la Gironde, découverte des ateliers de fabrication des pointes de flèches et de l'origine du silex employé. *Revue archéologique*, 95-99.
- CHARLY, N. (1993) – *Ressources en matériaux siliceux du Cantal : un exemple d'exploitation du site de Cors au Magdalénien final*. Mémoire de DEA, Université de Paris I.
- COLIN, J.-P. (1973) – *Etude stratigraphique et minéralogique de Crétacé supérieur de la région de Saint-Cyprien*. Thèse 3^{ème} cycle, Université Paris VI, 285 p.
- CRETIN, C. (2007) – « Arrêt sur » le Badegoulien. Historique, état de la question et perspectives. *In : J. Evin (Dir.), Un siècle de construction du discours scientifique en Préhistoire*, Actes du XXVIème Congrès préhistorique de France (Avignon 21-25 septembre 2004). Paris : Société Préhistorique Française, pp. 367-378.

- DALPHINET, D. (2014) – *Pour une représentation dynamique des formations à silex*. Mémoire d'ingénieur, École supérieure des géomètres et topographes du Mans, 124 p.
- DAMOUR, A. (1865). Sur la composition des haches en pierres trouvées dans les monuments celtiques et chez les sauvages. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 61, 1-13.
- DAUGAS, J.-P. et RAYNAL, J.-P. (1979) – Remarques sur le milieu physique et le peuplement humain en Auvergne à la fin des temps glaciaires. In : D. de Sonneville-Bordes (Dir.), *La fin des temps glaciaires en Europe. Chronologie et écologie des cultures du Paléolithique final*, Comptes rendus (Talence, 24-28 mai 1977). Paris : CNRS, pp. 545-562.
- DEFIVE, E. (1996) – *L'encaissement du réseau hydrographique dans le bassin supérieur de la Loire : contribution à l'étude des systèmes d'évolution en moyenne montagne volcanisée*. Thèse de doctorat, Université Paris-1 Panthéon-Sorbonne, 572 p.
- DEFIVE, E. et RAYNAL, J.-P. (2014) – Cadre géomorphologique et datations. In : R. WRAGG-SYKES, D. CHOMETTE, E. DEFIVE, V. DELVIGNE A. LAFARGE, P. FERNANDES, R. LIABEU, M. PIBOULE, J.-P. RAYNAL (2014) – *Sondages sur le gîte-atelier de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire) et son environnement géologique. Rapport d'opération programmée*. Direction régionale des affaires culturelles d'Auvergne, Clermont-Ferrand, pp. 15-17 (Diffusion restreinte).
- DEFIVE, E., MEINARD, Y., COURRIOUX, G., LEDRU, P., POIRAUD, A., PROGNON, C., BERTIN, C. (2011) – *Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), Le Monastier-sur-Gazeille (816)*. Orléans : BRGM, 196 p.
- DEFLANDRE, G. (1934). Sur les microfossiles d'origine planctonique conservés à l'état de matière organique dans les silex de la craie. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 199, 966-968.
- DEFLANDRE, G. (1935). Techniques micropaléontologiques appliquées à l'étude des silex. *Bulletin de la Société française de microscopie*, 4, 104-111.
- DEFLANDRE, G. (1966). Annexe III - Étude micropaléontologique des silex du site de Pincevent. *Gallia préhistoire*, 9 (2), 381-381.
- DELAUNAY, G. (1870) – Atelier de l'âge de la pierre à Saint-Léger-du-Malzieu (Lozère). *Matériaux pour l'histoire primitive et naturelle de l'homme*, 34-36.
- DELPORTE, H. (1966) – Informations archéologiques. Circonscription d'Auvergne et Limousin. *Gallia Préhistoire*, 9 (2), 505-531.
- DELPORTE, H. (1976) – Les civilisations du Paléolithique supérieur en Auvergne. In : H. de Lumley (Dir), *La Préhistoire française. Tome 1 : civilisations paléolithiques et mésolithiques*. Paris : CNRS, volume 2, pp. 1297-1304.
- DELVIGNE, V. (2010) – *Étude des matières premières lithiques du Magdalénien «ancien» de l'unité archéostratigraphique F2 de la grotte du Rond du Barry (Haute-Loire)*. Mémoire de Master 2, Université de Bordeaux-1.
- DELVIGNE, V. (2012) – Etude pétroarchéologique de l'unité archéo-stratigraphique F2 de la grotte du Rond du Barry (Polignac, Haute-Loire), premiers résultats. *Comptes rendus Palevol*, 11 (4), 293-304.
- DELVIGNE, V. (prévu 2016) - *Géoressources et expressions techno-culturelles dans le sud du Massif central au Paléolithique supérieur : des déterminismes et des choix*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 1287 p.

- DELVIGNE, V., LAFARGE, A., PIBOULE, M. (2013) – Évaluation gîtologique. In : R. Angevin (Dir.), *Rapport de prospection thématique et sondage archéologique. Communes de Quincy, Preuilley et Sainte-Thorette (Cher, Centre). L'occupation humaine de la vallée du Cher au Paléolithique supérieur. Site magdalénien des Venesmes, Drevant (Cher)*. Direction régionale des affaires culturelles du Centre, Orléans, pp. 85-104 (diffusion restreinte).
- DELVIGNE, V., LAFARGE, A., FERNANDES, P., PIBOULE, M., RAYNAL, J.-P. (2014a) – Un exemple de gestion des géo-ressources au Paléolithique supérieur en moyenne montagne : le Badegoulien de la grotte du Rond-du-Barry (Sinzelles, Polignac, Haute-Loire). *L'Anthropologie*, 118 (3), 328-346.
- DELVIGNE, V., FERNANDES, P., PIBOULE, M., LAFARGE, A., GENESTE, J.-M., MONCEL, M.-H., RAYNAL, J.-P. (2014b) – Ressources en silex au Paléolithique supérieur dans le Massif central : réseaux locaux et approvisionnements lointains revisités. In : M. Otte et F. Le Brun Ricalens (Dir.), *Modes de contacts et de déplacements au Paléolithique eurasiatique*, Actes du colloque international de la commission 8 de l'UISPP (Liège, 28–31 mai 2012). Liège : ERAUL, et Luxembourg : Musée National d'Histoire et d'Art, pp. 403–435
- DEMARS, P.-Y. (1980) - *Les matières premières siliceuses utilisées au Paléolithique supérieur dans le bassin de Brive*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Bordeaux 1, 173 p.
- DEMARS, P.-Y. (1982) - *L'utilisation du silex au Paléolithique supérieur: choix, approvisionnement, circulation : l'exemple du bassin de Brive*. Paris : CNRS, 253 p.
- DEMARS, P.-Y. (1985) – Sur les problèmes de territoires (?) et de circulation des silex (?). *Bulletin de la Société linnéenne de Lyon*, 54 (8), 8, 113-114.
- 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.
- DEUBERGUE, A. (1985) – *Transformations post-sédimentaires sur la bordure nord du Massif central : les formations ferrugineuses du bassin de Chaillac ; les quartz cariés des environs de la Châtre ; les altérites siliceuses du bassin de Cosne d'Allier*. Orléans : BRGM, 179 p. (Documents du BRGM 88)
- DJINDJIAN F., KOSLOWSKI, J., OTTE, M. (1999) – *Le Paléolithique supérieur en Europe*. Paris : Armand Colin, 474 p.
- DUBREUILH, J. (1989) – *Synthèse paléogéographique et structurale de dépôts fluviatiles et tertiaires du Nord du bassin Aquitain, passage aux formations palustres, lacustres et marines*. Orléans : BRGM, 462 p. (Documents du BRGM 172)
- DUCHADEAU-KERVAZO, C. (1982) - *Recherches sur l'occupation paléolithique dans le bassin de la Dronne*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Bordeaux I, 1755 p.
- EISENACK, A. (1931) - Neue Mikrofossilien des baltischen Silurs. I. *Palaeontologische Zeitschrift*, 13 (1-2), 74-118.
- ESTEVE, N. (1942) – Étude des accidents siliceux des calcaires tertiaires de la Limagne. *Revue des sciences naturelles d'Auvergne*, 8, 30-56.
- FABRE, G. (1893) – Compte rendu de l'excursion du samedi 23 septembre à Langogne. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3 (21), 631-640.
- FABRE, G. et RESSOUCHE, J. (1911) – Chailles jurassiques des environs de Langogne (Lozère). *Bulletin de la Société géologique de France*, 10 (1-2), 1-3.
- FÉBLOT-AUGUSTINS, J. (1997) – *La circulation des matières premières au Paléolithique*. Liège : Eraul, 2 volumes, 275 p. et 247 p.

- FERNANDES, P. (2006) – *Pétraarchéologie 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 de Toulouse, 197 p.
- FERNANDES, P. (2012) – *Itinéraires et transformations du silex : une pétraarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 623 p.
- FERNANDES, P. et RAYNAL, J.-P. (2006) – Pétraarchéologie du silex : un retour aux sources. *Comptes rendus Palevol*, 5, 829-837.
- FERNANDES, P. et RAYNAL, J.-P. (2007) – Les matières premières siliceuse (hors roche tenace) du niveau J1 de la grotte Sainte Anne 1 (Polignac, Haute-Loire). In : Raynal, J.-P. (Dir.), *La grotte de Sainte Anne I. Le paléolithique moyen de l'unité J1*. Lausanne : Archéo-Logis (Ed.), pp. 59-98 (Dossier de l'Archéo-logis n°3).
- FERNANDES, P. et RAYNAL, J.-P. (2010) – Silex : une pétraarchéologie refondée. *Les cahiers de Géopré*, 1, 68-81. Édition numérique.
- FERNANDES, P., RAYNAL, J.-P., MONCEL, M.-H. (2006) – L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : premiers résultats pétraarchéologiques. *Comptes rendus 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. *Comptes rendus Palevol*, 6, 557-568.
- FERNANDES, P., RAYNAL, J.-P., PIBOULE, M. (2008a) – *L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Massif central (volet Auvergne). Synthèse 2006-2008. Rapport d'opération*. Direction régionale des affaires culturelles d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 73 p. (diffusion restreinte).
- FERNANDES, P., PIBOULE, M., RAYNAL, J.-P., TUFFERY, C. (2008b) – *L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central (volet Lozère), synthèse 2006-2008. Rapport d'opération*. Direction régionale des affaires culturelles de Languedoc-Roussillon, Montpellier, 43 p. (diffusion restreinte).
- FERNANDES, P., RAYNAL, J.-P., MONCEL, M.-H. (2008c) – 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.
- FERNANDES, P., PIBOULE, M., RAYNAL, J.-P., TUFFERY, C. (2009) – *L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central (volet Lozère), Rapport d'opération*. Direction régionale des affaires culturelles de Languedoc-Roussillon, Montpellier, 45 p. (diffusion restreinte).
- 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. (2014a) - Une carte et une base de données pour les formations à silex du sud de la France : un outil pour la pétraarchéologie. *Paléo*, 24, 219-228.
- FERNANDES, P., DELVIGNE, V., PIBOULE, M., TALLET, P., TURQ, A., MORALA, A. (2014c) – Étude pétraarchéologique des silex de Petit-Beaulieu et de Puy Long. In : E. Thirault (Dir.), *Petit Beaulieu, Clermont-Ferrand (Puy-de-dôme), Un grand habitat de l'âge du Bronze ancien (1900-1700 avant J.-C.) et sa nécropole. Rapport final d'opération d'archéologie préventive, Villard-de-Lans, Paléotime*. Direction régionale des affaires culturelles d'Auvergne, Clermont-Ferrand (diffusion restreinte).

- 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, carte géologique de la France (1/50 000), Feuille de Yssingeaux (792)*. Orléans : BRGM, 145 p.
- de GÖER de HERVE, A. (1972) – *La planèze de Saint-Flour (Massif volcanique du Cantal, France), volume 1- Structure et stratigraphie*. Clermont-Ferrand : Presse universitaire de Clermont-Ferrand, 254 p. (Annales scientifiques de l'Université de Clermont-Ferrand 47).
- FOUCHER, J.-C. (1971) – Étude micropaléontologique des silex coniaciens du puits 19 de Lens-Liévin (Pas-de-Calais). *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle, 3ème série*, 21 (5), 77-128.
- de GÖER de HERVE, A. (1980) – *Les « sables à chailles » infra cantaliens recherche d'un aquifère sous la planèze de Saint-Flour. Rapport d'expertise*. Direction régionale des affaires culturelles d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 73 p. (diffusion restreinte).
- FOUCHER, J.-C. (1974) – Microfossiles des silex du Turonien supérieur de Ruyaulcourt (Pas-de-Calais). *Annales de paléontologie (invertébrés)*, 60 (2), 113-164.
- de GÖER de HERVE, A. et ETIENNE, R. (1991) – Le contact Margeride Cézallier Cantal, les incidences de la tectonique et du volcanisme sur la sédimentation et l'hydrographie. *Bulletin du Laboratoire Rhodanien de Géomorphologie*, 27-28, 3-21.
- FRANKLIN, J. et SURMELY, F. (2012) – Le site magdalénien de Blassac (Haute-Loire, France), bilan des recherches anciennes et récentes. *Bulletin de Préhistoire du Sud-Ouest*, 20 (2), 115-123.
- GRÜNER, M.L. (1870) – Communication à propos des couches à chailles de l'Herm. *Bulletin de la Société géologique française*, 26, 1089-1089.
- FRERICHMANN, U. (1977) – *Le volcanisme dans les environs de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire). Étude géologique et pétrographique*. Mémoire de DESS, Université de Clermont-Ferrand.
- GUILLERMIN, P. et MORALA, A. (2014) – Les « Périgodiens » étaient-ils quercinois ? In : M. Jarry, J.-P. Brugalet C. Ferrier (Dir.), *Modalité d'occupation et exploitation des milieux au Paléolithique dans le Sud-Ouest de la France : l'exemple du Quercy*, Actes de la session C67, XVème congrès mondial de l'UISPP, (Lisbonne, septembre 2006). Les Eyzies-de-Tayac : Musée national de Préhistoire, pp. 311-342 (Paléo supplément 4).
- GIBERT, J.-P. (1972) – *Géologie de la basse vallée de l'authre (Cantal) et des plateaux environnants*. Thèse de 3ème Cycle, Université Paris 11, 238 p.
- GIRAUD, J. (1902) – Études géologiques sur la Limagne (Auvergne). *Bulletin de la carte géologique de la France*, 87 (13), 1-410 p.
- HOWARD, C.D. (2002) - The Gloss Patination of Flint Artifacts. *Plains Anthropologist* 47, 283-287.
- GLANGEAUD, P. (1916) – Le cratère-lac du Pavin et le volcan de Montchalm. *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 162, 428-430.
- JULIEN, P.-A. (1880) – La Limagne et les bassins tertiaires du Plateau Central. Structure géologique. Architecture. Climat. Faune. Flore. *Annales du Club alpin français*, 7, 1-37.
- 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.
- JUNG, J. (1936) – *Itinéraire géologique à travers la Basse Auvergne et la Montagne bourbonnaise*. Clermont Ferrand : Paul Vallier, 44p.

- KELLY, R.L. (1995) – *The foraging spectrum : diversity in Hunter Gatherer Lifeway*. Washington : Smithsonian institution Press, 446 p.
- KIEFFER, G. (1962) – *Un essai de reconstitution de l'évolution du relief dans les bassins volcanisés du Massif central et sur leurs bordures par les enseignements des coulées de lave*. Thèse de 3ème cycle, Université de Clermont-Ferrand, 295 p.
- KLARIC L., GUILLERMIN, P., AUBRY, T. (2009) – Des armatures variées et des modes de production variables. Réflexions à partir de quelques exemples issus du Gravettien d'Europe occidentale (France, Portugal, Allemagne). *Gallia Préhistoire*, 51, 113-154
- KNAUTH, L.P. (1994) – Petrogenesis of chert. In : P.J. Heaney, C.T. Prewitt et G.V.Gibbs (Dir.), *Silica Physical behavior, geochemistry and Materials applications*. Washington D.C. : Mineralogical society of America, pp. 233-258 (Reviews Mineralogy 29).
- KOWALSKI, S. et KOZLOWSKI, J.K. (1959). De l'emploi du jaspe à l'époque épipaléolithique en Pologne du Sud. *Folia Quaternary*, 1, 1-12.
- KOZLOWSKI, J.K. et KACZANOWSKA, M., (1972). Studies on Raj Cave near Kielce (Poland) and its deposits. *Folia Quaternary*, 41, 61-64.
- KRUKOWSKI, S. (1939). *Paleolit Polski*. Cracovie : P.A.U., 117 p.
- LABORDE, A. (1972) – Le gisement de Beaume-Vallée, Solognac-sur-Loire (Haute-Loire). In : H. Delporte (Dir.), *XIXème session du Congrès préhistorique de France*, Comptes rendus (Auvergne, 06–14 juillet 1969). Paris : Société préhistorique de France, pp. 242-245.
- 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, 685 p.
- LARTET, E. et CHRISTY, H. (1864). *Objets gravés et sculptés des temps pré-historiques dans l'Europe occidentale*. Paris : Librairie académique, 37 p.
- LASNIER, B., MARCHAND, J., BAMBIER, A., BATARD, F., BONIFAY, E., BOUILLER, R., BURG, J.-P., CORNEN, G., FORESTIER, F.-H., GAGNIÈRE, G., GRENIER, E., LEYRELOUP, A. (1982) – *Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), Brioude (766)*. Orléans : BRGM, 68 p.
- LAVOCAT, R. (1945) – Sur l'âge des dépôts lacustres du bassin de Saint-Flour et du bassin de Brioude. *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 221, 583-585.
- LE RIBAUT, L. (1975) – *L'exoscopie méthode et application*. Paris : Compagnie Française des Pétroles, Service Géologique D.C.E.P, 230 p.
- LECOQ, H. (1867) – *Les époques géologiques de l'Auvergne, tomes I et II*. Paris : Baillière, 581 p.
- LEE, R.B. (1975) – What Hunters Do for a Living or, How to Make Out on Scarce Resources ? In : R.B. Lee and I. Devore (Dir.), *Man the Hunter*. Chicago : Aldine Publishing Company, pp.30-48.
- LORY, C. (1870) – Courses des 16 et 17 septembre à l'Herm, Monastier, le Mézenc. *Bulletin de la Société géologique française, 2ème série*, 26, 1089-1098.
- MALISSEN, B. (1977). Élaboration d'une fiche de recensement des gîtes potentiels de matières premières siliceuses. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 74 (7), 203-205.

- MARTY, P. (1937) – Contribution à l'étude géologique du Cantal méridional. *Bulletin de la carte géologique de la France*, 193 (29), 1-29.
- MASSON, A. (1981) – *Pétraarchéologie des roches siliceuses, intérêt en Préhistoire*. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 101 p.
- MASSON, A. (1982) – Circulations paléolithiques : une question de longueur. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 79 (7), p. 197
- MASSON, A. (1983) – Les territoires et la circulation des silex au Paléolithique supérieur. *Bulletin mensuel de la société linéenne de Lyon*, 7, 207-219.
- MAUGER, M. (1985) – *Les matériaux siliceux utilisés au Paléolithique supérieur en Île-de-France*. Thèse de doctorat, Université Paris 1 Panthéon – La Sorbonne, 406 p.
- MERGOIL, J. et BOIVIN, P. (1993) – Le Velay. Son volcanisme et les formes associées. Notice de la carte au 1/100000. *Géologie de la France*, 93, 3-96.
- MERGOIL, J., FRERICHMANN, U., MERGOIL, D. (1979) – Nouvelle interprétation des tufs phonolithiques de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire, Massif central français). In : *Problèmes du volcanisme explosif*, Comptes rendus du 4ème colloque de géomorphologie volcanique (Clermont-Ferrand, 14-15 octobre 1978). Aubière : Clermont-Reproduction, pp. 17-23.
- MONCEL, M.-H. (2008) - *Le site de Payre : occupations humaines dans la vallée du Rhône à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur*. Paris : Société préhistorique française, 336 p. (Mémoire 46).
- MORALA, A. (1979) - Étude préliminaire de la station aurignacienne des Ardailloux (commune de Soturac, Lot). *Bulletin de la Société des études littéraires, scientifiques et artistiques du Lot*, 100 (3), 185-201.
- MURATET, B. (1983) – *Géodynamique du Paléogène continental en Quercy-Rouergue. Analyse de la sédimentation polycyclique des bassins d'Aspières (Aveyron), Maurs (Cantal) et Varen (Tarn et Garonne)*. Thèse 3ème cycle, Université Paul Sabatier de Toulouse, 188 p.
- PARK, F. (1973) – *Contribution à l'étude du Cantal. Dolomies et trachy-andésites dans la région d'Aurillac*. Thèse de 3ème cycle, Université d'Orsay, 204 p.
- PASTY, J.-F., SURMELY, F., TZORTZIS, S. (1999) – Contribution à un inventaire des ressources en silex : le département du Cantal (Massif central, France). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 99 (1), 7-13.
- PELLETIER, H. (1977) – Étude des opales de mirefleurs. *Revue des sciences d'Auvergne*, 43, 49-52.
- PERPÈRE, M. (1984) – Un atelier de débitage Moustérien près de Madriat (Puy-de-Dôme). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 81 (7), 207-211.
- PETERLONGO, J.M. et de GOER DE HERVE, A. (1978) – *Massif central : guide géologique régional*. Paris : Masson, 223 p. (Guides géologiques régionaux).
- PEYRONY, D. (1946) – Les gisements préhistoriques du bassin supérieur de l'Allier. *Gallia Préhistoire*, 4, 291-294.
- PHILIBERT, M. et QUINQUETON, A. (1981) - le site moustérien de Chanceaux Rochelimaque, commune de Polignac (Haute-Loire). *Nouvelles archives du Muséum d'histoire naturelle de Lyon*, 19, 53-58.

- 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 : R. WRAGG-SYKES, D. CHOMETTE, E. DEFIVE, V. DELVIGNE A. LAFARGE, P. FERNANDES, R. LIABEU, M. PIBOULE, J.-P. RAYNAL (2014) – *Sondages sur le gîte-atelier de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire) et son environnement géologique. Rapport d'opération programmée.* Direction régionale des affaires culturelle d'Auvergne, Clermont-Ferrand, pp. 18-30 (Diffusion restreinte).
- POMEROL, F. (1888) – L'abri sous roche de Blanzat. In : *Association Française pour l'Avancement des Sciences*, Compte rendus de la 18^{ème} Session (Paris, 1888). Paris : Masson, pp. 637-640.
- RAMES, J.B. (1873) – *Géogénie du Cantal*. Aurillac : Bouygues, 108 p.
- RAYNAL, J.-P. et DAUGAS, J.-P. (1992) – L'homme et les volcans : occupation de l'espace régional à la fin des temps glaciaires dans le Massif central français. In : J.-P. Rigaud, H. Delporte et B. Vandermeersch (Dir.), *Le peuplement magdalénien, paléogéographie physique et humaine*, Actes du colloque de Chancelade (Chancelade, 10-15 octobre 1988). Paris : CTHS, pp. 111-120.
- RAYNAL J.-P., LAFARGE, A., RÉMY, D., DELVIGNE, V., GUADELLI, J.-L., COSTAMAGNO, S., LE GALL, O., DAUJEARD, C., VIVENT, D., FERNANDES, P., LE CORRE-LE-BEUX, M., VERNET, G., BAZILE, F., LEFÈVRE, D. (2014) – Datations SMA et nouveaux regards sur l'archéo-séquence du Rond-du-Barry (Polignac, Haute-Loire). *Comptes rendus Palevol*, 13, 623-636.
- REY, R. (1949) – Stratigraphie des bassins tertiaires de Saint-Alban, le Malzieu, Saint-Flour et Neussargues. *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 229, 1-63.
- REY, R. (1971) – Biostratigraphie des bassins tertiaires du Massif central. In : E. Wegmann (Dir.), *Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif central français*, Comptes rendus du symposium en l'honneur du professeur J. Jung (Clermont-Ferrand, 1971). Clermont-Ferrand : Plein air service, pp. 309-330.
- REY, R. (1973) – Biostratigraphie des formations sédimentaires du Cantal. *Revue Scientifique du Bourbonnais*, 77-128.
- RICORDEL-PROGNON, C., LAGROIX, F., MOREAU, M.-G., THIRY, M. (2010) – Lateritic paleoweathering profiles in French Massif Central: Paleomagnetic datings. *Journal of Geophysical Research*, 115, [Doi:10.1029/2010JB007419](https://doi.org/10.1029/2010JB007419).
- RIGAUD, J.-P. (1982) – *Le Paléolithique en Périgord : Les données du sud-ouest sarladais et leurs implications*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 494 p.
- RUDEL, A. (1966) – *Richesse minéralogiques de l'Auvergne*. Clermont-Ferrand : Volcans, 180 p.
- RUDEL, A. et ESTÈVE, N. (1942) – Un nouveau gisement d'opale résinite. *Revue des Sciences naturelles d'Auvergne*, 8 (1), 57-59.
- SERONIE-VIVIEN, M. et SERONIE-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, 136 p. (Supplément au Tome 15).
- SERONIE-VIVIEN, M.-R. et LE TENSORER, J.-M. (1979). Données récentes sur l'Azilien du Lot : la grotte de Pégourie à Caniac-du-Causse (Lot). In : D. de Sonneville-Bordes (Dir.), *La fin des temps glaciaires en Europe. Chronologie et écologie des cultures du Paléolithique final*, Comptes rendus (Talence, 24-28 mai 1977). Paris : CNRS, pp. 471-482.

- SIMON-COINÇON, R., THIRY, M., SCHMITT, J.-M., LEGENDRE, S., ASTRUC, J.-G. (1995) – From inland paleosurfaces towards sedimentary basins: the example of southwestern French Massif Central. *In* : IAS-16th regional meeting of Sedimentology - 5ème congrès français de sédimentologie-ASF, livret d'excursion. Paris : ASF, pp. 3-64.
- SLIMAK, L. (2004) – *Les dernières expressions du Moustérien entre Loire et Rhône*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Aix-Marseille, 770 p.
- SLIMAK, L. et GIRAUD, Y. (2007) – Circulations sur plusieurs centaines de kilomètres durant le Paléolithique moyen. Contribution à la connaissance des sociétés néandertaliennes. *Comptes rendus Palevol*, 6, 359-368.
- STELCL, J. et MALINA, J. (1970) - Anwendung der Petrographie in der Archäologie. *Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis Geologia*, 11, 5-111.
- SURMELY, F. (1998) – *Le peuplement de la moyenne montagne auvergnate, des origines à la fin du Mésolithique*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux-1, 239 p.
- SURMELY, F. (2000) – *In* : G. Pion (Dir.), *Le Paléolithique supérieur récent : Nouvelles données sur le peuplement et l'environnement*, Actes de la table ronde de Chambéry (Chambéry, 1999). Paris : Société préhistorique de France, pp. 165-175 (Mémoires 28).
- SURMELY, F. et COSTAMAGNO, S. (2006) – *Rapport de fouille. Le Sire à Mirefleurs, Puy de Dôme*. Direction régionale des affaires culturelles d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 49 p. (Diffusion restreinte).
- SURMELY, F. et HAYS, M.A. (2011) – Nouvelles données sur les industries lithiques des niveaux protomagdaléniens du site du Blot (Cerzat, Haute-Loire). *In* : N. Goutas, L. Klaric, D. Pesesse et P. Guillermin (Dir.), *À la recherche des identités gravettiennes*. Comptes rendus de la table ronde sur le Gravettien en France et dans les pays limitrophes (Aix-en-Provence, 6-8 octobre 2008). Paris : Société préhistorique française, pp. 111-127 (Mémoire 52).
- SURMELY, F. et PASTY, J.-F. (2003) – L'importation de silex en Auvergne durant la Préhistoire. *In* : F. Surmely (Dir.), *Les matières premières lithiques en Préhistoire*, Actes de la table ronde internationale (Aurillac, Juin 2002). Cressensac: Association de préhistoire du Sud-Ouest, pp. 327-336 (Supplément au bulletin de Préhistoire du Sud-Ouest 5).
- SURMELY, F., BARRIER, P., BRACCO, J.-P., CHARLY, N., LIABEU, R. (1998) – Caractérisation des matières premières siliceuses par l'étude des microfaciès et application à la connaissance du peuplement préhistorique de l'Auvergne. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Sciences de la Terre et des planètes*, 326, 595-601.
- SURMELY, F., PASTY, J.-F., ALIX, P., DUFRESNE, N., LIABEU, R., MURAT, R. (2002) – Le gisement magdalénien du Pont-de-Longues (Les-Martres-de-Veyre, Puy-de-dôme). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 99 (1), 13-38.
- SURMELY F., BOUDON, P., BRIOT, D., PIN, C. (2008) – La diffusion des silex créacés dans le centre du Massif central durant la Préhistoire (Paléolithique, Mésolithique, Néolithique). Contribution à l'étude de la circulation des matières premières sur de longues distance. *Paléo*, 20, 115-144.
- TALEC, D. (2015) – *Des formations à silex à la visualisation des itinéraires : vers les cartes des gîtes potentiels*. Mémoire d'ingénieur, École supérieure des géomètres et topographes du Mans, 55 p.

- TAPSOBA, P. (1967) – *Paléosols ferrugineux du Lembron (Puy de Dôme). Étude pétrographique et géochimique*. Thèse 3ème cycle, Université Clermont II, 130 p.
- TORTI, C. (1980) – *Recherches sur l'implantation humaine en Limagne au Paléolithique moyen et supérieur*. Thèse de 3ème Cycle, Université de Bordeaux-1, 270 p.
- TAVOSO, A. (1984). Réflexion sur l'économie des matières premières au Moustérien. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 81 (3), 79-82.
- TORTI, C. (1983a) – Contribution à l'étude paléogéographique du Massif central au Paléolithique moyen. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 80 (10-12), 300-307.
- THIRY, M. et MILLOT, G. (1987) – Mineralogical forms of silica and their sequence of formation in silcretes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57, 343-352.
- TORTI, C. (1983b) – 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.
- THIRY, M., SCHMITT, J.-M., TRAUTH, N., COJEAN, R., TURLAND, M. (1983b) – Formations rouges « sidérolithiques » et silicifications sur la bordure nord du Massif Central. *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, 24 (5), 381-395.
- TORTI, 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
- THIRY, M., SIMON-COINÇON, R., RICORDEL, C., PARCERISA, D., BRUXELLES, L. (2006) – *Paléosurfaces et paléoreliefs mésozoïques et cénozoïques du Massif central : décryptage d'un transect Nord-Sud*. Rapport technique N°R060529MTHI, Centre de Géosciences, École des Mines de Paris, Fontainebleau, France, 102 p. (Diffusion restreinte).
- TOURNAIRE, L.M. (1871) – Note sur la constitution géologique de la Haute-Loire. *Réunion extraordinaire de la Société Géologique de France*, 26, 1106-1106.
- TURQ, A. (1977). Le complexe d'habitat paléolithique du Plateau Cabrol. *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux*, 74 (2), 489-504.
- 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.
- TURLAND, M., HOTTIN, A.-M., FEYS, R. (1989) – *Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), Montluçon (619)*. Orléans : BRGM, 116 p.
- THIRY, M., THÉVENIAULT, H., SIMON-COINÇON, R., RICORDEL-PROGNON, C., LENOIR, F., LAGROIX, F. (2014) – Persistent paleosurfaces in the basement of French Massif Central: geodynamic implications. In : *Diagenèse : avancées récentes et perspectives, Journée thématique ASF, Livre des résumés* (Orsay, 4 Juillet 2014). Paris : ASF, pp. 113-117.
- TURLAND, M., HOTTIN, A.M., COJEAN, R., DUCREUX, J.-L., DÉBÉGLIA, N., D'ARCY, D., MATHIS, V., CARROUÉ, J.-P., PIBOULE, M. (1991) – *Notice explicative, carte géologique de la France (1/50000), Hérisson (596)*. Orléans : BRGM, 118 p.

- TURLAND, M., MARTEAU P., JOUVAL, J., MONCIARDINI, C. (1994) – Découverte d'un épisode marin oligocène inférieur dans la série paléogène lacustre à fluviatile du bassin du Puy-en-Velay (Haute-Loire). *Géologie de la France*, 4, 63-66.
- VALENSI, L. (1953) – *Microfossiles des silex du Jurassique moyen. Remarques pétrographiques*. Paris : Société géologique de France, 100p. (Mémoire 32).
- VALENSI, L. (1954) – Sur une meulière sphérolithique du calcaire lacustre du Berry. *Bulletin de la Société géologique de France*, 6 (3), 300-307.
- VALENSI, L. (1955) – Sur quelques microorganismes des silex crétacés du Magdalénine de Saint-Amand (Cher). *Bulletin de la Société géologique de France*, 6 (5), 35-40.
- VALENSI, L. (1957) – Micropaléontologie des silex du Grand-Pressigny. *Bulletin de la Société géologique française*, 7, 1083-1090.
- VINAY, H. (1867) – Découverte de coquilles marines fossiles dans un gisement de sables et galets à l'Herm, près de Le Monastier (Haute-Loire). *Société académique du Puy-en-Velay*, 28, 193-194 & 341-348.
- VIRMONT, J. (1981) – *Le Bassin de l'Allier au Paléolithique supérieur. Industrie et phases de peuplement*. Thèse de 3ème cycle, Université Aix-Marseille, 378 p.
- 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) – 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*, 1, 55-59.
- WERTH, F. (1992b) – 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.
- WETZEL, O. (1943) – Die Mikropaläontologie des norddeutschen Kreide-Feuersteins. *Natur Volk*, 73, 309-331.
- WETZEL, O. (1953) – Resume of microfossils from Upper Cretaceous flints and chalks of Europe. *Journal of Paleontology*, 800-804.
- WRAGG-SYKES, R., CHOMETTE, D., DEFIVE, E., DELVIGNE, V., LAFARGE, A., FERNANDES, P., LIABEU, R., PIBOULE, M., RAYNAL, J.-P. (2014) – *Sondages sur le gîte-atelier de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire) et son environnement géologique. Rapport d'opération programmée*. Direction régionale des affaires culturelles d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 52 p. (Diffusion restreinte).

Table des illustrations



Figure 1 : Carte des formations à silex du sud de la Dordogne (Talec, 2015).	21
Figure 2 : Schéma théorique des déplacements de surface des nodules de silex entre formations géologiques.	22
Figure 3 : Exemple de résultat sur une zone du bassin-versant de la Manaurie.	22
Figure 4 : Carte de situation de l'opération.	35
Figure 5 : Saint-Pierre-Eynac.....	36
Figure 6 : Coupes schématiques sans échelle des relations structurales observées entre les différents types de silcrètes des sondages S32 et S33 (campagne 2015).	36
Figure 7 : Plan de situation du gîte à silcrètes de Navogne (Bas-en-Basset).	43
Figure 8 : Exemples d'échantillons géologiques en vue macroscopique.	43

Table des matières

Sommaire	7
Documentation administrative.....	11
Remerciements	15
Rapport d'opération :	17
1. Présentation de l'opération (PF, VD).....	17
1.1. Historique de la discipline	17
1.2. Etat de l'art sur la provenance des silex en Auvergne	18
2. Bilan d'activité du PCR Réseau de Lithothèques (PF et VD).....	19
2.1. Historique (PF, VD).....	19
2.2. Missions et moyens d'y parvenir.....	23
3. Principaux résultats de la campagne 2015	24
3.1 Listing des gîtes à silicifications présents dans la lithothèque de l'Archéo-Logis à Laussonne (VD, PF, DC, ED, AL, RL, MP, JPR).....	24
3.2 Un point sur les silicifications d'Auvergne. Haute-Loire, Puy-de-Dôme, ouest de l'Allier (VD, PF, AD, MP, AL, RL, JPR).....	24
3.2.1 La Haute-Loire	24
3.2.2 Le Puy-de-Dôme	26
3.2.2.1 Les silicifications oligocènes (?) de Cournon et de Dallet	26
3.2.2.2 Les silicifications oligocènes du Crest et de la Roche Blanche en rive gauche de l'Allier.....	27
3.2.2.3 Les galets des alluvions plio-pléistocènes de l'Allier (types F0021)	27
3.2.2.4 Les galets des sables à chailles miocènes (types F0021)	27
3.2.2.5 Les opales de Mezel, Gergovie, Ceyrat, du Puy Giroux ou de Vertaizon et des environs de Laps ou de Pignols.....	27

3.2.2.6 Les silex de la Comté	27
3.2.2.7 Les silex lacustres oligocènes de Grosmesniers (type D0303 ; la Sauvetat, Puy-de-Dôme)	29
3.2.2.8 Les silicifications miocènes (?) de Saint-Hippolyte (commune de Châtelguyon, Puy-de-Dôme)	30
3.2.2.9 Les silicifications de Madriat (F0007.2 ; Puy-de-Dôme)	30
3.2.3. Les bassins tertiaires du nord ouest de l'Allier et du sud du Cher	30
3.2.3.1 Le bassin de Montluçon-Domérat	30
3.2.3.2 Vaux et Champs d'Argentières	31
3.2.3.3 Rive droite du Cher : La Châtre ; Saint-Angel ; Saint-Bonnet-de-Four ; Vallon-en-Sully	31
3.2.3.4 Vallon du Ruisseau de Chadet et secteur d'Urçay : Les Pics (03), la Perche (18), La Célette (18)	32
3.2.3.5 Frange occidentale du bassin de Saulzais-le-Potier : Faverdines (18) et Saulzais-le-Potier (18).....	33
3.2.3.6 « Chailles » jurassiques de la vallée du Cher (D0201.1, D0201.2)	34
3.3. Fouilles archéologiques à Saint-Pierre-Eynac (MP, VD, PF, JPR, PF, ED, AL, RWS, DC).....	34
3.4 Géoressources et expressions technoculturelles dans le sud du Massif central : des déterminismes et des choix. Résumé de thèse. (VD)	37
3.5 Un nouveau gîte à silcrètes dans le nord-est de la Haute-Loire. Le gîte de Navogne (Bas-en-Basset, Haute-Loire) (VD, RL, JPR).....	42
4. Perspectives pour 2016 (PF, VD).....	46
4.1. Interactions silex environnement. Vers une détermination précise de l'origine géographique des silex lacustres du bassin du Puy-en-velay	46
4.2. Finaliser l'Atlas des types marqueurs recensés en Auvergne	46
4.3. Poursuivre le bilan cartographique	46
4.4. Rationaliser les prospections.....	47
4.5. Améliorer la diffusion des informations	47
Communications scientifiques en 2015.....	49
Présentation à : <i>On the rocks', Xth International Symposium on knappable Materials. S12 Silcrete as a lithic raw material in global context: geology, sourcing and technic economics</i>	51
Présentation à : <i>On the rocks', Xth International Symposium on knappable Materials. S12 Silcrete as a lithic raw material in global context: geology, sourcing and technic economics</i>	69
Conclusion	79
Bibliographie	81
Table des illustrations.....	95
Table des matières.....	97

Projet Collectif de Recherche Rapport d'activité 2015



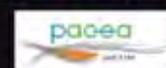
Réseau de lithothèques en Auvergne

Coordination : Paul Fernandes

Contributions : Vincent Delvigne (référént)

Daniel Chomette, Emmanuelle Defive, Audrey Lafarge,
René Liabeuf, Michel Piboule, Pascal Tallet, Christophe Tuffery,
Rebecca Wragg-Sykes, Jean-Paul Raynal

PALEOTIME
archéologie préventive



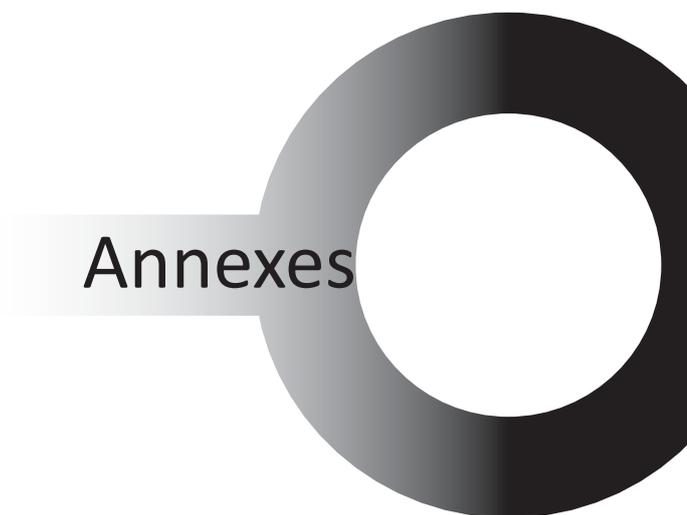
Volume 2

Villard de Lans et Coutras, décembre 2015

Légende des illustrations de la page de couverture :

Vue depuis la Croix des Boutières aux Estables (Haute-Loire).Photo A. Lafarge.

DAO : A. Lafarge.



Annexes

Annexe 1 : Compte-rendu de la réunion Réseau Lithothèques, sous-direction de l'Archéologie, à Paris le 14 avril 2014.

Annexe 2 : Compte rendu de la réunion «Réseau de lithothèque», Sous direction de l'Archéologie, à Paris, le 16 septembre 2014.

Annexe 3 : Lettre d'appel à collaboration entre le CNRS, le MCC et l'INRAP en date du 17 novembre 2015.

Annexe 4 : DALPHINET, D. (2015) – Pour une représentation dynamique des formations à silex. Mémoire d'ingénieur, École supérieur des géomètres et topographes du Mans, 124 p.

Annexe 5 : TALEC, D. (2015) - Des formations à silex à la visualisation des itinéraires : vers les cartes de gîtes potentiels. Mémoire d'ingénieur, École supérieur des géomètres et topographes du Mans, 55 p.

Annexe 6 : Cartes des formations à silex de Haute-Loire, du Puy-de-Dôme et de la vallée du Cher (Allier, Cher, Loir-et-Cher).

Annexe 7 : Exemples de fiches finalisées.

Annexe 8 : Lithothèque de Laussonne (Haute-Loire) - Listing des gîtes à silex d'Auvergne.

Compte-rendu de la réunion RÉSEAU LITHOTHÈQUES
Sous-direction de l'archéologie
le 14 avril 2014 à Paris aux Bons Enfants

<u>Participants</u> :	<i>MCC</i> Marc Drouet, sous-directeur de l'archéologie Bernard Randoïn, SDA Jean-Michel Geneste, SDA/CNP Geneviève Pinçon, SDA/B1 Charlotte Périn, SDA/B2 Céline Bressy-Leandri, DRAC Corse/SRA <i>CNRS</i> Françoise Le Mort, INSHS Didier Binder, UMR 7264 + INEE Jean-Paul Raynal, UMR 5199 Cécile Callou, MNHN UMS 3468 Paul Fernandes, UMR 5199
<u>Excusés</u>	Catherine Cretin, SDA Stéphanie Thiébault, CNRS/INEE, représentée Patrice Bourdelais, CNRS/INSHS, représenté Marie-Françoise André, CNRS Alain Turq, MNP

En introduction, Geneviève Pinçon rappelle le contexte de cette réunion organisée par la SDA suite au courrier du 3 février 2014 de Didier Binder et Jean-Paul Raynal à l'attention de Marc Drouet, sous-directeur de l'archéologie, Stéphanie Thiébault, directrice de l'INEE /CNRS, Patrice Bourdelais, directeur de l'INSHS ayant comme objet la constitution d'un réseau national des lithothèques.

Après un tour de table, il est proposé de suivre les points suivants :

- Présentation de l'état de l'art du sujet
- Discussion et compléments d'information
- Proposition d'organisation
- Perspectives et calendrier

Présentation de l'état de l'art du sujet

Céline Bressy-Leandri fait une présentation synthétique du sujet (cf. présentation ci-jointe) et de l'intérêt de fédérer les travaux sur la thématique des lithothèques à l'échelle nationale.

La mise en place de ce réseau constitue une étape nécessaire afin d'étudier les modes d'exploitation des ressources environnementales, la territorialité des groupes humains, appréhender les transferts, les systèmes de mobilités et les interculturalités à différentes échelles, en particulier sur de longues distances.

Un groupe de travail informel, rassemblant des agents de plusieurs UMR, a été constitué. Ce groupe est à l'initiative de ce projet sur un réseau des lithothèques. Après plusieurs réunions, ses objectifs sont de :

1. Cartographier les formations à silex de l'ensemble du territoire national en élaborant un SIG intégrant la notion de chaîne évolutive du silex ;
2. Diffuser une version simplifiée de cette couche d'information géographique dans l'Atlas des patrimoines ;
3. Mettre en synergie l'ensemble des acteurs en associant les bases de données individuelles ou d'équipes pour regrouper les ressources qui sont très éparées ;
4. Harmoniser les méthodes de caractérisation du silex, notamment sous la forme d'une école thématique, et développer de nouveaux protocoles ;
5. Exploiter les données pour des applications paléontologiques et paléocologiques en alimentant une base de données dédiées.
6. Associer les bases de données individuelles ou d'équipes

Le débat pose :

- la question du périmètre du sujet :

Le réseau a été initié par des acteurs du Sud de la France (CEPAM, PACEA, LAMPEA, TRACES, etc.). Un rééquilibrage géographique est visé, en intégrant au réseau les chercheurs du Nord de la France pour de couvrir le territoire national et à terme la zone géographique la plus large possible (Europe).

Le réseau concerne en premier lieu le silex. Il pourrait s'élargir à d'autres matériaux à terme (rhyolite, roches vertes, ...).

- la question de la méthodologie :

Les acteurs se sont accordés sur la nécessité de partager les protocoles d'analyse et les ressources (inventaires) entre institutions. De cela découle la question du partage des données (bases de données, structure des données et thésaurus doivent être partagés) et de la formation.

- la question de la forme que pourrait prendre la gestion de ce réseau thématique pluridisciplinaire, de sa gouvernance et de son animation. Il est rappelé un PCR sur cette thématique en Rhône-Alpes était doté de financement de l'État (2500€) et des collectivités (8000€) en 2014. Cette dotation est sans rapport avec le travail réalisé et ce qui est visé, c'est-à-dire le traitement du territoire national.

Pour conclure, il est acté que :

1/ La couche Atlas avec ses métadonnées (zone test) peut être publiée dès à présent dans l'Atlas des patrimoines (Céline Bressy-Leandri et Geneviève Pinçon sur la base du SIG coordonné par Paul Fernandes).

2/ Une liste des différentes structures existantes au CNRS qui permettent d'associer le MCC sera élaborée afin de pouvoir débattre puis choisir la forme juridique que pourrait prendre ce réseau inter-institutionnel (Françoise Le Mort et Didier Binder).

3/ Une analyse technique des bases de données référentes et des données saisies sera réalisée par Paul Fernandes et Céline Bressy-Leandri avec l'expertise de Cécile Callou afin de pouvoir disposer d'une description pertinente sur la structure des données à partager, le poids des données disponibles, les principes à retenir pour un cahier des charges adapté aux contraintes techniques, etc.

4/ Une école thématique ou université d'été est envisagée en 2015 avec un partenariat entre CNRS (INEE, INSHS et MNHN), BRGM (à solliciter) et MCC (INRAP). Le contenu et l'organisation de ce sujet sera à l'ordre du jour de la prochaine réunion.

La prochaine réunion est prévue de 10h à 13h
au ministère de la culture et de la communication à Paris,
le 16 septembre 2014

RESEAU LITHOTHEQUE
Réunion du 16 septembre 2014
MCC/DG1/Sous-direction de l'archéologie

ORDRE DU JOUR

- (1) - état d'avancement de la publication dans l'Atlas des patrimoine (C. Leandri et G. Pinçon) ;
- (2) - présentation des formes juridiques d'association du MCC déjà existantes au CNRS (F. Le Mort et D. Binder) ;
- (3) - analyse comparée des bases de données existantes : état d'avancement de la question (P. Fernandes, C. Bressy-Leandri et C. Callou) ;
- (4) - programmation d'une école thématique pour 2015

Personnes présentes :

Didier Binder (UMR 7264 + INEE)	Elena Man-Estier (SDA/B2)
Céline Leandri (DRAC Corse/SRA)	Sylvie Max-Colinart (MCC/DESRT)
Cécile Callou (MNHN UMS 3468)	Geneviève Pinçon (MCC/SDA/CNP)
Catherine Cretin (SDA/CNP)	Bernard Randoïn (MCC/SDA)
Paul Fernandes (UMR 5199 + Paléotime)	Jean-Paul Raynal (UMR 5199)
Françoise Le Mort (INSHS)	Alain Turq (MNP + UMR 5199)

Personnes excusées :

Marie-Françoise André
Jean-Michel Geneste
Charlotte Perin, *représentée par* E. Man-Estier

Après le mot d'introduction de Bernard Randoïn, la réunion commence par un tour de table de présentation.

(1) Concernant la publication dans l'Atlas des patrimoines, C. Leandri et G. Pinçon proposent un modèle de couche pour les formations à silex.

Il est envisagé de faire un test sur une partie de la région Rhône-Alpes, très bien documentée grâce à de nombreuses années de recherche, notamment dans le cadre d'un Programme Collectif de Recherche (PCR). Ce test sera peut-être étendu à une deuxième micro-région. Il devra comporter des informations complètes (cartographie des formations, lien vers les lithofaciès et photographies). Cet Atlas sera testé en tant qu'outil de diffusion auprès du large public et comme point d'entrée et de contact vers le « groupe silex ». Il doit permettre d'aboutir à deux niveaux de communication, grand public et chercheurs.

Cette première étape-test devrait pouvoir être opérationnelle à la fin de l'année 2014.

Discussions :

P. Fernandes s'interroge sur le système et les moyens techniques. B. Randoïn répond que cette question est liée au point (2), celui de la forme juridique d'association entre le MCC et le CNRS.

S. Max-Colinart demande quelles seront les modalités d'accès à la couche spécialiste. Dans un premier temps, elle serait accessible sur demande. A l'heure actuelle, elle est effective sur Arcgis on

line pour les données concernant la région PACA (*via* équipement personnel).

C. Callou attire l'attention sur la gestion des droits afférents aux bases de données. Il est précisé que ces questions ont déjà été débattues entre les spécialistes et qu'il est prévu de clairement mentionner les inventeurs des données.

(2) Formes juridiques d'association MCC/CNRS

Selon D. Binder et F. Le Mort, le réseau lithothèque peut s'adosser sur l'inter-institutionnalité assumée de la Convention-cadre MCC / CNRS, le rattachement des chercheurs se faisant par le biais de leurs UMR. Dans un premier temps il s'agit de mettre en place et de structurer la communauté, puis de veiller à l'équipement du réseau lithothèque.

Deux formes juridiques sont envisageables, le Réseau Thématique Pluri-disciplinaire (RTP) et le Groupement de Recherche (GDR). Le premier semble préférable par sa souplesse (pas de calendrier par exemple). Il peut être porté par le CNRS et ses deux instituts, en association avec le MCC.

Il s'agit de disposer d'un état des lieux de ce domaine et d'évaluer les besoins pour le bon fonctionnement de ce réseau national (équipement, analyses, ateliers d'approfondissement, ressources humaines...). Parmi les actions à mener au sein du réseau lithothèque il est prévu de mener des ateliers d'approfondissement (études de cas, confrontation et échanges scientifiques, y compris sur le terrain). Quant à la question des ressources humaines, elle est cruciale selon D. Binder et P. Fernandes (*cf. infra, discussions*).

D. Binder ajoute que ce projet est également destiné à devenir une référence méthodologique au niveau européen.

Discussions

P. Fernandes souligne l'effort important de Paleotime dans ce réseau ainsi que la nécessité de continuer à trouver les moyens humains de fonctionnement de ce réseau (actuellement 4 personnes, 3 à Paléotime et 1 à l'Inrap alimentent les bases, créent des cartes dynamiques, vérifient les lithothèques, etc.). C. Leandri souligne par ailleurs le fait qu'il n'y a pas de pétroarchéologue qui soit employé pour sa spécialité scientifique au niveau institutionnel.

Des solutions alternatives de financement de salaire sont évoquées par C. Leandri et F. Le Mort (crédits impôt-recherche, Ciffre, mise à disposition du CNRS spécifique aux agents de l'archéologie préventive...).

S. Max-Colinart, puis F. Le Mort précisent que quelle que soit la forme juridique sélectionnée, celle-ci ne résoudra pas la question des moyens de fonctionnement. Il s'agit, dans un premier temps, de formaliser l'existence du groupe réseau lithothèque. C'est une première étape de construction, qui n'exclut pas les autres formes d'organisation de la recherche existantes ni les autres moyens de financement (UMR, PCR, etc.).

J.-P. Raynal rappelle que l'idée du réseau lithothèque répondait à un double objectif : (a) faire une sorte de PCR national ou multirégional destiné à unifier les méthodes, mettre en réseau les lithothèques, et (b) trouver les moyens de réalisation de la base.

B. Randoïn précise que les PCR peuvent constituer un mode d'action concret, fédéré à un niveau national par le RTP. Il propose d'en faire une information lors d'une conférence des Conservateurs Régionaux de l'Archéologie (le financement des opérations archéologiques, dont les PCR, se faisant à l'échelle régionale).

F. Le Mort et C. Callou évoquent le défi MASTODONS du CNRS, sur les « big data ». Lancé en 2012, il ne semble pas avoir prévu d'appel à projet ultérieur (<http://www.cnrs.fr/mi/spip.php?article53>).

C. Callou évoque ensuite les différentes structures de sauvegarde des données (TGIR Huma-Num, Sires, etc.), dont le métier est de sauvegarder les données, de suivre et faire évoluer les technologies. A voir par rapport à l'accord-cadre MCC / CNRS également.

G. Pinçon pose ensuite la question de la structure porteuse de ce RTP et propose les services du CNP. Une discussion s'engage sur le profil du porteur de projet.

F. Le Mort se renseigne sur la possibilité pour le MCC de porter le projet.

Quant à l'insertion et l'implication des UMR, il peut être envisagé, dans la mesure du possible, de prévoir un représentant par UMR dans le bureau. Enfin, tous les efforts seront faits pour attirer les unités qui ne sont pas encore fermement impliquées.

(3) Analyse comparée des bases de données existantes

Le travail concernant ce point n'a pas pu être avancé. Il s'agit toutefois d'un axe fort du projet du réseau lithothèque qui nécessite le recours à une personne ressource qui fera des passerelles, des comparaisons, etc.

(4) Ecole thématique

Elle sera à programmer pour 2016, le calendrier pour 2015 étant trop court. Le souci d'harmonisation, à la base du projet, préside également l'école thématique, qui permettrait de transcrire la méthodologie mise au point.

Cette école thématique doit permettre d'accueillir 15/20 personnes et être renouvelable. Il faut définir le contenu, les enseignants, chercher les locaux équipés et/ou les instruments nécessaires, etc. Cela peut aussi être une université d'été...

Si une telle école ne peut être envisagée pour 2015, il importe de tout de même prévoir des petits ateliers méthodologiques, qui permettraient d'uniformiser les pratiques du noyau dur du réseau et de former les futurs formateurs de l'école thématique. Ils pourraient prendre la forme des Actions Nationale de Formation (ANF) du CNRS.

Pour conclure, il est acté que :

(1) Un test de publication de la couche « formation à silex » soit publié dans l'Atlas pour la fin de l'année 2014 (C. Leandri, G. Pinçon et P. Fernandes)

(2) Un projet de RTP, inséré dans l'accord-cadre MCC/CNRS, est envisagé pour fin 2014 / début 2015. Le groupe de travail lithothèque à l'origine du projet, piloté par C. Leandri prépare une première proposition de texte. Le CNP se tient à leur disposition pour faciliter la mise en œuvre du RTP.

(3) Une personne ressource sera recherchée pour effectuer la comparaison des bases de données

(4) Une École thématique, ou université d'été est programmée pour 2016, sa pré-programmation et l'organisation de petits ateliers méthodologiques prévus en 2015.

Pas de prochaine réunion fixée. Travail par échange de mails (texte RTP notamment). Un point d'avancement sera effectué par courriel début décembre 2014.



17 NOV. 2015

Mesdames et Messieurs les Directeurs d'unités mixtes de recherche du CNRS

Mesdames et Messieurs les conservateurs régionaux de l'archéologie

Objet : appel à collaboration pour meilleure structuration, diffusion et matérialisation outre les acteurs en archéologie sur les matériaux d'origine géologique (notamment le silex)

Au cours de ces derniers mois, les directions d'Instituts du CNRS les plus directement concernés par la recherche archéologique (InEE et InSHS), la sous-direction de l'Archéologie du ministère de la Culture et de la Communication et la direction de l'Inrap se sont concertées pour contribuer à une structuration nationale des recherches sur les géomatériaux d'intérêt pour l'archéologie, et plus particulièrement les silex.

Leur caractérisation constitue en effet un enjeu fondamental pour l'identification des comportements et des systèmes techniques, des mobilités et des transferts, au cours des temps préhistoriques.

La maîtrise des méthodes de caractérisation à différentes échelles, l'accès aux collections de référence et l'interopérabilité des systèmes de bases de données constituent donc des enjeux importants pour le développement des connaissances sur les sociétés et les environnements du passé.

Afin de contribuer à une meilleure structuration de la communauté concernée, à une meilleure diffusion des méthodes et à une mutualisation des bases de connaissance, dans une perspective nationale et européenne, les partenaires ont envisagé d'agir de façon graduelle.

Dans un premier temps, ils apportent leur soutien à un projet d'école thématique dédiée aux méthodes nouvelles de caractérisation des silex et leur articulation avec les méthodes plus traditionnelles.

.../...

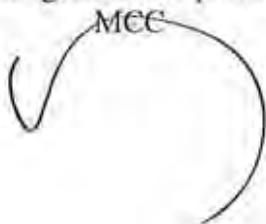
La lettre d'intention relative à ce projet a passé avec succès la première étape d'évaluation (mai 2015) et le projet proprement dit, déposé courant juin, devrait être évalué à l'automne par le CNRS. Si elle était acceptée, cette école thématique serait organisée en juin 2016 à Nice.

Parallèlement, nous souhaitons lancer une enquête concernant les acteurs et les outils de la pétro-archéologie des roches taillables en France.

C'est dans cette perspective que nous nous adressons à vous, en vous priant de bien vouloir nous indiquer les coordonnées d'une ou deux personnes au sein de votre unité ou de votre service, susceptibles de jouer le rôle de correspondants. Nous souhaitons que cette dernière puisse être complétée dans le courant de l'automne 2016 pour donner lieu le plus rapidement possible à une note de synthèse. En effet, cette démarche est conçue comme préalable à la construction d'un projet de recherche collectif de grande ampleur qui pourrait prendre la forme d'un Groupement de recherche international (GDRI).

Espérant une réponse rapide de votre part.

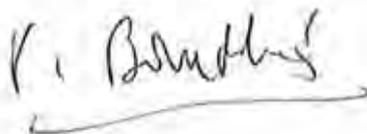
Vincent BERJOT
Directeur général des patrimoines

MCC


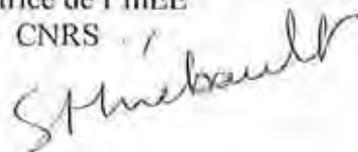
Dominique GARCIA
Président de l'Inrap



Patrice BORDELAIS
Directeur de l'InSHS
CNRS



Stéphanie THIEBAULT
Directrice de l'InEE
CNRS



Contact :

MCC : G. Pinçon (genevieve.pincon@culture.gouv.fr)
INRAP : F. Bostyn (francoise.bostyn@inrap.fr)
CNRS : D. Binder (didier.binder@cepam.cnrs.fr)

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le **DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM**

Spécialité : **Géomètre et Topographe**

par

Denis DALPHINET

Pour une représentation dynamique des formations à silex

Soutenu le 07 juillet 2014

JURY

PRÉSIDENT : M. Mathieu BONNEFOND

MEMBRES : M. Jean-Baptiste CAVERNE, maître de stage
Mme Véronique MERRIEN-SOUKATCHOFF, professeur référent
M. Denis Blumstein
M. Jean-Pierre Dedieu
Mme Joëlle Duroy
M. Frédéric Frappart
M. Fabrice Papa
M. Laurent Polidori

Avant-propos

Le TFE (Travail de Fin d'Études) correspond à la conclusion des trois années d'études à l'ESGT (École Supérieure des Géomètres et Topographes). Il s'agit d'un projet à caractère professionnel effectué au sein d'un cabinet, d'une entreprise ou d'une collectivité, sur une longue durée, intégrant recherche et innovation.

Mon projet, d'une durée de cinq mois, s'est déroulé au sein de la SARL Paléotime, entreprise d'*archéologie préventive*¹, dont le siège social est situé à Villard-de-Lans, dans le Vercors, en Isère. Ce mémoire présente les travaux réalisés lors de mon stage. Après avoir numérisé les formations à silex à une précision au 1/10 000 depuis les cartes du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) au 1/50 000 et les avoir inventoriées, j'ai tenté d'établir des liens entre ces différentes données afin de circonscrire les zones de dispersions propres à chaque silex.

Remerciements

J'exprime tout d'abord ma gratitude aux membres du Jury qui me font l'honneur d'évaluer ce travail.

Je remercie tout particulièrement Jean-Baptiste Caverne, mon maître de stage, pour avoir accepté ma candidature pour réaliser cette étude. Je le remercie aussi pour les conseils judicieux qu'il m'a prodigués tout au long de ces cinq mois et pour son aide lors de la finalisation de mon mémoire.

L'idée de ce mémoire n'aurait jamais vu le jour sans le travail formidable de Paul Fernandes, le coordinateur du projet. Il est l'inventeur du concept de dynamique et de diffusion des silex. Je voudrais lui exprimer ma profonde et respectueuse reconnaissance.

Je remercie Véronique Merrien-Soukatchov, mon professeur référent, pour son écoute et son soutien lors de nos échanges à distance.

Je remercie aussi Pascal Tallet, impliqué dans ce projet. Il fait partie de mes superviseurs. Son travail préalable m'a été d'une grande aide ainsi que ses recommandations tout au long de la numérisation et de l'inventaire des zones de formation à silex.

Je remercie Christophe Tuffery de l'INRAP à Paris. Il est venu spécialement dans le Vercors pour me donner des pistes et m'aider dans mon travail de recherche.

Je remercie Gourguen Davtian du CEPAM de Nice pour sa vérification de mon travail de numérisation.

J'exprime maintenant ma gratitude envers Jean-Michel Follin et Vincent Habchi, professeurs de SIG à l'ESGT, et aux internautes des forums georezo.net et developpez.com. Chacun d'eux m'a apporté une aide considérable lors de l'analyse cartographique depuis les logiciels ArcGIS et PostgreSQL. Sans eux, ce travail n'aurait pu aboutir dans le temps imparti.

Je voudrais aussi remercier Jean-Louis Schuh, Régis Picavet, Arnaud Roy et Sébastien Bernard-Guelle, dirigeants de Paléotime pour leur chaleureux accueil au sein de leur entreprise.

Je remercie Anne Hauzeur, Mathieu Rué, Guillaume Varenne, Aurélie Ajas, Julia Patouret, Laurene Chesnaux et Xavier Deparnay de Paléotime qui ont partagés la résidence de l'Origan avec moi. Je remercie enfin Sophie et Charlotte Chamberlan, Perrine Tacussel, Éric Thirault, Marion Dousse, Virginie Ropiot et Marie Laroche de Paléotime, entreprise ô combien enthousiasmante !

¹ Voir glossaire page ...

Table des matières

Avant-propos.....	- 1 -
Remerciements.....	- 1 -
Table des matières.....	- 2 -
Introduction.....	- 3 -
I Cartographie des zones de formation à silex	- 5 -
I.1 Le silex et sa genèse	- 5 -
I.2 L'intérêt pétrologique du silex	- 5 -
I.3 Zone d'étude de ce projet	- 6 -
I.3.1 Le sud de la France	- 6 -
I.3.2 Le choix du Mont Ventoux	- 6 -
I.4 Les critères et contraintes de cette cartographie	- 7 -
I.4.1 Le support, l'échelle et la précision	- 7 -
I.4.2 La provenance de la carte du BRGM et son système de coordonnées	- 8 -
I.5 Le choix des couches pour la numérisation.....	- 9 -
I.5.1 Introduction au choix du logiciel ArcGIS	- 9 -
I.5.2 La couche des zones de formation à silex	- 9 -
I.5.3 Les couches WMS utilisées	- 10 -
I.6 La méthodologie de la numérisation	- 12 -
I.6.1 Introduction.....	- 12 -
I.6.2 Dessiner un polygone sur ArcGIS.....	- 12 -
I.6.3 Dessiner des polygones strictement jointifs	- 12 -
I.6.4 Dissocier un polygone multi-partie	- 13 -
I.6.5 Référentiel de numérisation	- 13 -
I.6.6 Dénomination des polygones	- 14 -
II Inventaire des zones de formation à silex.....	- 16 -
II.1 Introduction à l'inventaire.....	- 16 -
II.2 Application de l'inventaire au projet.....	- 16 -
II.2.1 Choix des nouveaux champs.....	- 16 -
II.2.2 Méthodologie de l'inventaire.....	- 17 -
II.3 Méthodologie d'auto-vérification de la numérisation et de l'inventaire	- 19 -
II.4 Bilan de la numérisation et de l'inventaire.....	- 20 -
II.4.1 Volumétrie du travail.....	- 20 -
II.4.2 Cartes thématiques.....	- 21 -
II.5 Diffusion de la carte sur ArcGIS Online	- 22 -
III Analyse des zones et représentation de la diffusion du silex dans son environnement.....	- 24 -
III.1 Introduction	- 24 -
III.1.1 La problématique de l'analyse.....	- 24 -
III.1.2 Les moyens utilisés	- 24 -
III.2 L'analyse de la diffusion des silex.....	- 26 -
III.3 La représentation de la diffusion du silex	- 43 -
Conclusion	- 44 -
Glossaire	- 47 -
Liste des Abréviations.....	- 48 -
Bibliographie.....	- 48 -
Table des figures	- 49 -

Introduction

Le comportement de l'homme préhistorique est un sujet passionnant. Il intéresse tous les archéologues. Comprendre le passé, le fonctionnement des premières civilisations entraîne une réflexion sur soi et sur le monde dans lequel nous vivons.

Pour la préhistoire, la recherche de la provenance des matériaux *lithiques*² et notamment le silex est souvent le seul moyen d'y parvenir. Les méthodes renouvelées permettent aujourd'hui d'assigner à l'objet un emplacement *paléogéographique*³. Cette démarche *pétoarchéologique*⁴ dynamique est un outil adéquat pour la détermination des lieux de collectes.

Ce projet vient compléter cette approche archéologique sur les formations à silex par le moyen d'un outil cartographique raisonné.

Cet outil permet aux chercheurs concernés (géologues, *pétrologues*⁵, archéologues) de cartographier la diffusion des silex des gîtes de formation aux zones secondaires les plus distales⁶. Pour cela, plusieurs données sont regroupées :

- Les résultats des prospections archéologiques effectuées sur le terrain : ils donnent la localisation des types silex.
- L'inventaire des types des silex : il en donne la caractérisation.

Le travail d'analyse cartographique permet la création de cartes de diffusion des types de silex.

La localisation des différents types de silex s'effectue, actuellement, avec un niveau stratigraphique : localisation par ensemble géologique. Grâce à cet outil, elle peut dorénavant être connue avec un point de vue géographique selon des zones précisément délimitées (à plus ou moins 100 mètres).

Ce projet est le fruit d'une collaboration étroite entre l'archéologie et le monde des SIG. Il propose de nombreuses fonctions d'analyses cartographiques qui aident la recherche scientifique archéologique à repousser ses limites.

Le but de ce mémoire est donc d'établir un protocole d'analyse cartographique de la diffusion des silex des gîtes de formation aux formations secondaires les plus distales.

La démarche de ce mémoire s'articule sur quatre objectifs :

- Numériser les zones de formation à silex depuis les cartes du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) au 1/50 000 grâce au logiciel ArcGIS.
- Inventorier ces zones sur un tableur avec des champs de données qui seront définis dans la deuxième partie, intégrer ce tableau à la carte précédemment réalisée et diffuser des cartes thématiques selon les différents attributs des zones de formation (série / étage et position du silex).
- Analyser ces zones pour cartographier la diffusion du silex depuis les différentes zones de formation grâce aux logiciels ArcGIS et PostgreSQL.
- Diffuser le travail obtenu auprès des professionnels intéressés grâce au réseau internet, par ArcGIS Online qui permet de rendre public les projets effectués avec le logiciel ArcGIS.

² Voir glossaire page ...

³ Voir glossaire page ...

⁴ Voir glossaire page ...

⁵ Voir glossaire page ...

⁶ Voir glossaire page ...

Ce travail, intitulé « *Pour une représentation dynamique des formations à silex* » présente les résultats de cette démarche.

Pour réaliser ce travail, je suis entouré d'une équipe de géologues, de pétrologues, d'archéologues, de topographes et d'informaticiens : MM. Paul Fernandes, Pascal Tallet et Jean-Baptiste Caverne de l'entreprise Paléotime, M. Gourguen Davtian, de l'Université de Nice Sophia Antipolis, UMR 7264 CEPAM (Cultures et Environnements Préhistoire, Antiquité, Moyen-âge) et M. Christophe Tuffery, de l'INRAP (Institut National de Recherches Archéologiques Préventives).

Les compétences en cartographie sont primordiales pour ce projet, car elles permettent de concrétiser une nouvelle approche pour établir la diffusion du silex à travers les différents gîtes. En effet, grâce aux logiciels SIG (Système d'Information Géographique) et notamment à ArcGIS, nous allons pouvoir tester un certain nombre de modélisations pour connecter ces gîtes entre eux par les bassins versants, les cours d'eau et les points hydrographiques de *la BD_Carthage*⁷,... Nous utiliserons aussi le logiciel de gestion de base de données PostgreSQL pour aller au-delà des limites d'ArcGIS.

Plan du mémoire :

La première partie renseigne les caractéristiques du silex, le choix de la zone d'étude et le protocole de numérisation des zones de formation à silex.

La deuxième partie explique la façon de créer l'inventaire des zones de formation à silex depuis le travail de cartographie préalablement réalisé par les archéologues et de le lier au résultat de la numérisation. Ainsi, une carte des zones de formation à silex avec leurs caractéristiques est obtenue. Elle donne aussi une évaluation du temps de travail de la numérisation des zones de formation à silex selon leur densité départementale, surfacique et périmétrique.

La troisième partie présente la démarche d'analyse cartographique qui mène de la carte des zones de formation à silex à la carte de diffusion des types de silex en intégrant aux données des zones de formation à silex les données IGN du réseau hydrographique local et la table de caractérisation des types de silex remplie par les archéologues .

La quatrième partie fournit le moyen de diffuser le projet à travers ArcGIS Online et ses applications. Ceci dans le but de le partager instantanément avec les professionnels intéressés et le grand public.

⁷ Voir glossaire page ...

I Cartographie des zones de formation à silex

I.1 Le silex et sa genèse

En latin, silex signifie « pierre dure ».

« C'est un terme général qu'il est utile d'employer avant toute caractérisation précise. Il désigne alors, toutes les roches siliceuses développées lors de la phase d'enfouissement ou à l'interface eau/sédiment dans les formations marines, lacustres (lacs) et palustres (marais). Il est dissocié du sédiment d'origine et constitué d'au moins 90 % de silice. » (Fernandes, 2012)

La phase d'enfouissement correspond à l'éloignement de la silice de l'interface eau/sédiment. La pression, la température et d'autres phénomènes chimiques et biochimiques changent alors et les sédiments siliceux se transforment en roche siliceuse, le silex (ce phénomène se nomme diagenèse).

Le silex se forme en plusieurs étapes :

- la silice, dissoute dans l'eau, précipite dans les vides du sédiment calcaire.
- la silice cristallise et prend la place ou enrobe des carbonates.

Le silex forme le plus souvent des habitus dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres.

I.2 L'intérêt pétrologique du silex

Après quelques millions d'années et l'exondation (la sortie hors de l'eau) des couches sédimentaires, le phénomène d'érosion se met en place et les silex affleurent. Lorsqu'ils se détachent de la roche encaissante, les silex se déplacent selon leur bassin versant, puis sont transportés par les différents cours d'eau jusqu'à atteindre la mer ou l'océan.

Le silex est une roche capable d'enregistrer les événements géologiques, *pédologiques*⁸ et climatiques : éboulements, déplacements dans un réseau hydrographique, abandon de surface,... Cela se traduit par des transformations visibles à la fois dans sa composition, sa texture et sa *morphologie*⁹ (Fernandes, 2012). Ainsi, par son étude, à la fois macroscopique (à l'œil nu), microscopique et ultramicroscopique avec le MEB (Microscope Électronique à Balayage), on peut déterminer l'état d'évolution du silex et retracer théoriquement son parcours.

Chacun des lieux où se trouve cette roche constitue ce qu'on appelle un gîte. Il en existe plusieurs types :

- le gîte primaire : lieu de formation du silex. Il est toujours physiquement rattaché au calcaire encaissant, sa roche mère.
- le gîte sub-primaire : les silex se sont détachés du calcaire encaissant, mais ils sont ramassés au voisinage. Il n'y a pas d'espace entre les dépôts superficiels et la roche mère.
- le gîte secondaire : le silex n'a plus de contact avec son encaissant d'origine. Ce gîte contient des silex provenant d'un même gîte primaire. Ils s'en sont éloignés par l'action d'un ou de plusieurs mécanismes géologiques qui ont affecté le gîte primaire (cours d'eau).
- le gîte secondaire multiple : le silex n'a plus de contact avec son encaissant d'origine. Ce gîte contient des silex provenant de plusieurs gîtes primaires. Ils s'en sont éloignés par l'action de plusieurs phénomènes géologiques qui ont affecté les gîtes primaires.

L'homme préhistorique a donc pu collecter le même silex sous différentes apparences tout au long des itinéraires entre ces quatre étapes.

⁸ Voir glossaire page ...

⁹ Voir glossaire page ...

I.3 Zone d'étude de ce projet

I.3.1 Le sud de la France

Ce projet de réalisation d'une carte des zones de formation à silex est le fruit d'une collaboration entre les acteurs impliqués dans la caractérisation de la provenance des silex du sud de la France (Fernandes *et al*, 2013). Ainsi, la carte aboutie regroupera le résultat de leurs prospections dans six régions : Aquitaine, Auvergne, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Provence-Alpes-Côte-D'azur, Rhône-Alpes.

Cette carte est le résultat d'un grand nombre de documents archéologiques et géologiques :

- Les articles et thèses traitant des formations à silex du sud de la France.
- 200 fiches issues de la base de données du sous-sol BSS (Banque du Sous-Sol) du BRGM. Il s'agit des données sur les forages et les ouvrages souterrains du territoire. Elles indiquent, entre autres, la présence ou non de silex dans les formations géologiques.
- 530 cartes géologiques du BRGM au 1/50 000 sur ces régions avec leurs notices.

Il faut noter qu'une illustration de la carte a été réalisée, par M. Pascal Tallet de Paléotime (voir annexe n°...) sur Adobe Illustrator au 1/1 000 000 (Fernandes *et al*, 2012). Si la précision n'est pas celle escomptée, il s'agit là d'un travail préalable qui a permis de gagner du temps.

Cette carte s'étend au sud d'une ligne allant de La Rochelle à Bourg-en-Bresse. De grandes zones de formation à silex apparaissent clairement : le bassin aquitain, l'ouest des Pyrénées, PACA, le massif du Vercors, ...

Devant l'étendue du travail à effectuer, potentiellement plusieurs années de numérisation pour une personne à plein temps, nous avons dans le cadre de ce mémoire restreint la zone d'étude à une partie de la région PACA.

I.3.2 Le choix du Mont Ventoux

Une des zones les plus importantes pour la majorité des acteurs géologues, pétrologues et archéologues a été sélectionné : le mont Ventoux.

D'évidence, ce choix s'impose. Le Mont Ventoux est une des régions de France les plus riches en silex et les plus étudiées.

Il s'impose aussi pour l'importance de ce massif pendant la préhistoire. La période d'exploitation la plus importante est en particulier la fin de la préhistoire.

En effet, le Mont Ventoux a été régulièrement fréquenté au cours du *Néolithique*¹⁰.

Entre - 4 200 et - 3 500 ans, on observe une diffusion du silex *barrémo*¹¹-*bédoulien*¹² du Vaucluse, dit silex « blond bédoulien », issu des territoires occupés par les sociétés chasséennes¹³ du midi de la France (Binder, 1998), bien au-delà de leurs limites. A partir de ce phénomène comportemental, on tente de mesurer trois éléments :

- l'étendue de sa diffusion : tout le Midi de la France, le Piémont, la Ligurie et la Toscane en Italie, notamment sur le site de Lagozza, Barcelone en Espagne, avec le site de Sépulcres de Fosa où il est présent parmi les plus riches offrandes funéraires (Léa, 2005) et en Suisse.

¹⁰ Voir glossaire page ...

¹¹ Voir glossaire page ...

¹² Voir glossaire page ...

¹³ Voir glossaire page ...

- les quantités de matières premières exportées
- la diversité des productions exportées : préformes chauffées prêtes à être débitées, produits finis dont des lames robustes en silex non chauffé, éclats, ... (Léa, 2004)

Depuis 1950, plus d'un millier de sites chasséens utilisateurs de ce type de silex a été découvert. Certains de ces sites avaient une production de silex bédouliens vaclusiens approchant 99 % de tous les outils (Léa *et al.*, 2007). Cette production quasi industrielle pendant ces 700 années est remarquable.

Cet intérêt des hommes préhistoriques pour ce silex s'explique par trois éléments :

- Le silex bédoulien vaclusien est particulièrement propice à la taille : *débitage lamellaire par pression, débitage laminaire*¹⁴, traitement thermique. Ce critère pouvant être intégré à la base de données a posteriori.
- Il est différent des autres silex des Alpes, notamment par sa couleur qui lui a donné le surnom de silex « blond bédoulien ». De plus, taillées par traitement thermique, les surfaces débitées passent d'un teint mat avant la chauffe à des reflets plus brillants lui apportant une impression de vitrification (Milot, 2010-2011). Sa beauté et donc son attrait en sortent renforcés.
- Sa localisation dans un lieu unique, le Mont Ventoux, lui confère un caractère particulier.

L'annexe n°1 représente notre zone d'étude.

I.4 Les critères et contraintes de cette cartographie

I.4.1 Le support, l'échelle et la précision

La carte géologique au 1/50 000 du BRGM (figure 1) est choisie pour la numérisation des zones de formation à silex. C'est elle qui offre la plus grande échelle et donc le maximum de précision.



Figure 1 : Extrait de la carte n° 915 du BRGM au 1/50 000

Pour fournir un travail plus précis des contours des zones de formation, une échelle au 1/10 000 sur le logiciel ArcGIS (figure 2) est choisie. Par rapport à l'échelle d'origine, une pixellisation peut être observée, mais elle reste limitée. Ce choix s'impose comme compromis entre la pixellisation et la lecture sans ambiguïté.

¹⁴ Voir glossaire page ...



Figure 2 : Extrait de la carte n°915 du BRGM au 1/50 000 projetée au 1/10 000 sur le logiciel ArcGIS

I.4.2 La provenance de la carte du BRGM et son système de coordonnées

Le système de coordonnées officielles actuellement sur l'ensemble du territoire français est le Lambert 93¹⁵.

Les cartes du BRGM disponibles pour cette étude se présentent sous deux formats informatiques :

- une série de DVD contenant toutes les cartes géologiques de France en Lambert 2¹⁶ au format .tif a été rendue disponible par des laboratoires du CNRS partenaires.
- le WMS¹⁷ (Web Map Service), directement en Lambert 93 de ces cartes, accessibles sur le site du BRGM.

Après superposition de ces deux séries de cartes et conversion des cartes du Lambert 2 au Lambert 93, grâce à l'outil de conversion d'ArcGIS, un léger décalage est observable (figure 3).

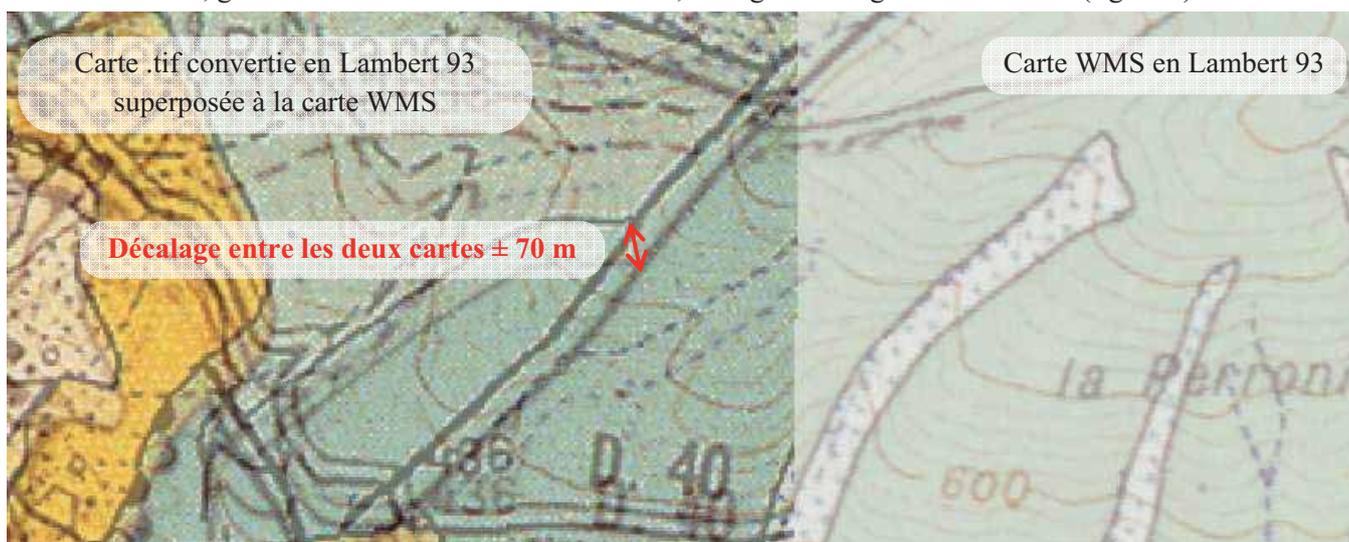


Figure 3 : Exemple de superposition d'une carte .tif convertie en Lambert 93 au 1/50 000 avec la carte WMS en Lambert 93 au 1/50 000 projetée sur le logiciel ArcGIS au 1/10 000

¹⁵ Voir glossaire page ...

¹⁶ Voir glossaire page ...

¹⁷ Voir glossaire page ...

Le décalage observé, ici de 70 m, n'est pas constant sur l'ensemble de la zone étudiée. A certains endroits, il est nul, tandis qu'à d'autres il est plus important. De plus, il peut être présent dans toutes les directions. En observant attentivement, le décalage se révèle constant pour chacune des cartes géologiques en Lambert 2. Ces cartes ont été numérisées à partir de cartes papiers et le décalage observé s'explique par les petites erreurs inhérentes à une digitalisation : erreur de calage, défaut interne au scanner,... Cette méthode d'obtention de données géologiques a été utilisée par certains préhistoriens.

Néanmoins, la carte issue du WMS du BRGM est sélectionnée pour effectuer la numérisation. Elle a été établie directement en Lambert 93, de plus, elle est cohérente avec les limites communales et départementales issues de la base de données BD_TOPO¹⁸ de l'IGN. Et surtout, elle est compatible avec tous les supports cartographiques en ligne, un atout non négligeable pour la diffusion ultérieure de ce travail.

I.5 Le choix des couches pour la numérisation

I.5.1 Introduction au choix du logiciel ArcGIS

Pour mener à bien les travaux cartographiques, il a été décidé par différents intervenants du projet de se porter vers le logiciel ArcGIS réputé pour sa stabilité, sa puissance de calcul et les développements qui l'entourent. Ce logiciel étant propriétaire, une licence nous a été fournie par un laboratoire associé au projet.

Ce logiciel permet d'effectuer la numérisation, la caractérisation, une partie des analyses (l'autre partie sera faite par le logiciel PostgreSQL) des zones de formation à silex et la diffusion du projet sur internet, soit à un public large, soit à certains professionnels partenaires.

Un intérêt supplémentaire de ce logiciel réside dans le format des couches créées. Elles sont directement compatibles avec d'autres logiciels de SIG, notamment le logiciel libre QGIS, utilisé par une communauté importante de chercheurs.

I.5.2 La couche des zones de formation à silex

Une fois le logiciel lancé, l'accès à un catalogue de données nommé ArcCatalog est rendu possible. Il est lié aux dossiers de l'ordinateur et permet de s'y connecter. Le logiciel gère donc des couches indépendantes par le biais de connexion. Ces couches sont créées par la méthode décrite dans l'annexe n°2.

La couche des zones de formation à silex est créée au fur et à mesure (figure 4). Elle est issue de la numérisation des cartes géologiques images de la France au 1/50 000 décrites dans la prochaine partie. Sa réalisation est détaillée dans la partie I.6. Une transparence est appliquée afin de pouvoir numériser directement les cartes géologiques situées juste en-dessous.

¹⁸ Voir glossaire page ...

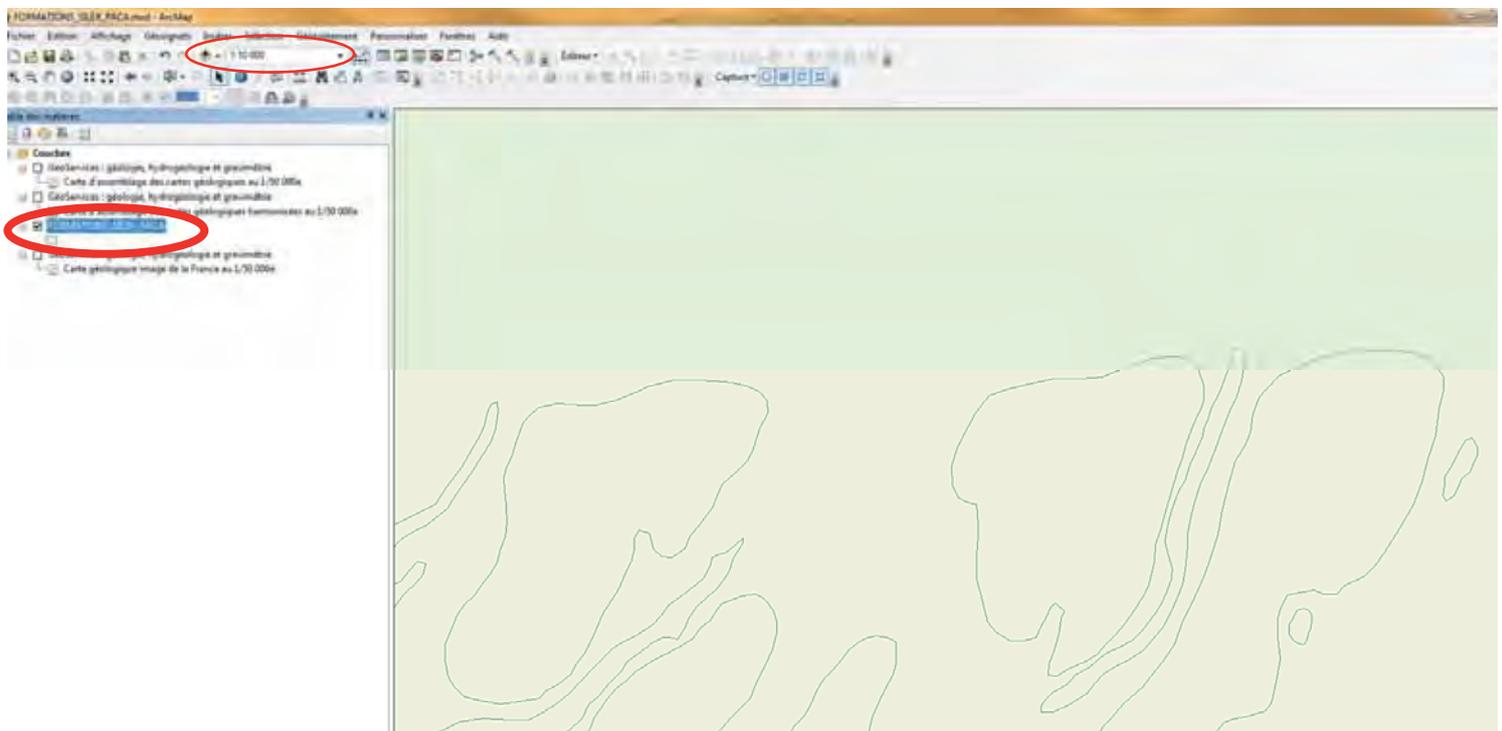


Figure 4 : Schéma de la couche des zones de formation à silex sur ArcGIS

I.5.3 Les couches WMS utilisées

La provenance et la méthode d'intégration des WMS dans ArcGIS sont expliquées en annexe n°3.

Les couches utilisées pour la réalisation de la numérisation sont les suivantes :

- La carte d'assemblage des cartes géologiques au 1/50 000 issue du WMS du BRGM (figure 5) : elle n'apparaît qu'à partir du 1/80 000 et pour les échelles plus petites (1/200 000, 1/500 000, ...). Cette couche permet de savoir dans quelle carte géologique est réalisée la numérisation.

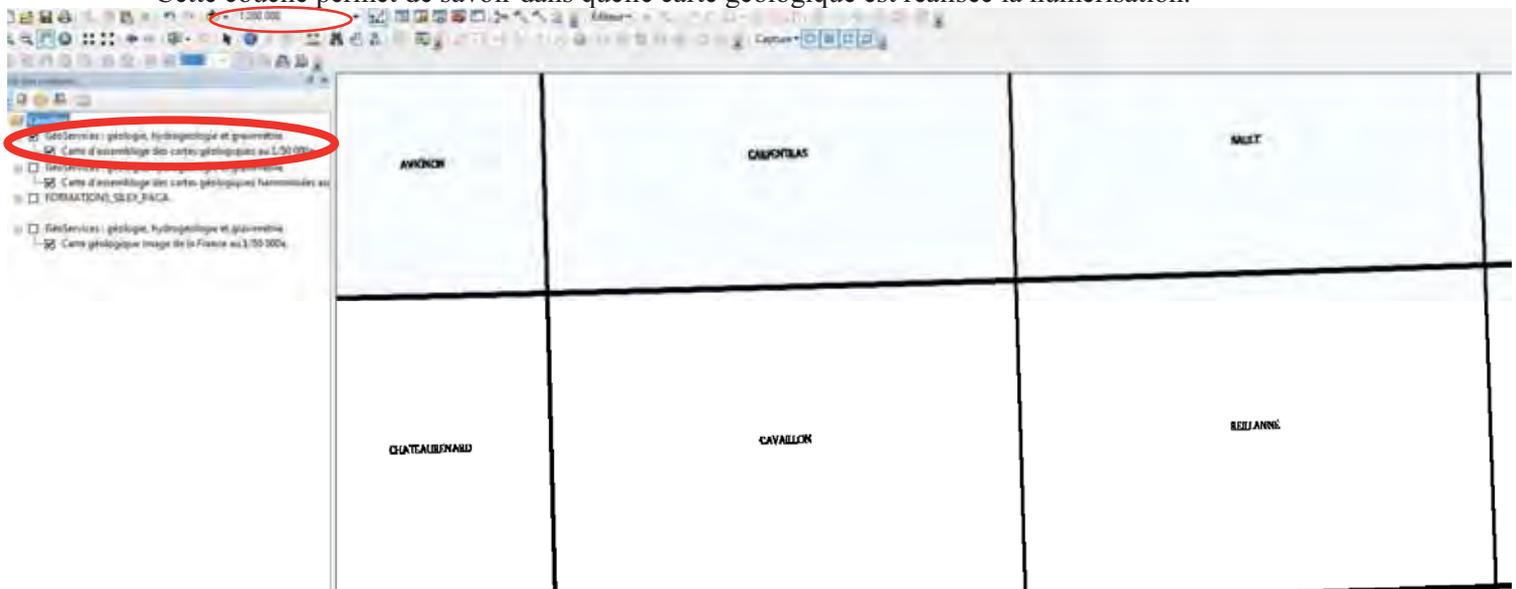


Figure 5 : Schéma de la carte d'assemblage des cartes géologiques au 1/50 000 issue du WMS du BRGM sur ArcGIS

- La carte d'assemblage des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000 issue du WMS du BRGM (figure 6) : il s'agit d'une vectorisation déjà effectuée par les services du BRGM. Si des décalages sont observés par rapport aux cartes géologiques, son intérêt est qu'elle propose une harmonisation des formations géologiques, notamment aux frontières entre deux cartes. Pour mener à bien la numérisation, elle a été mise en partie en transparence.

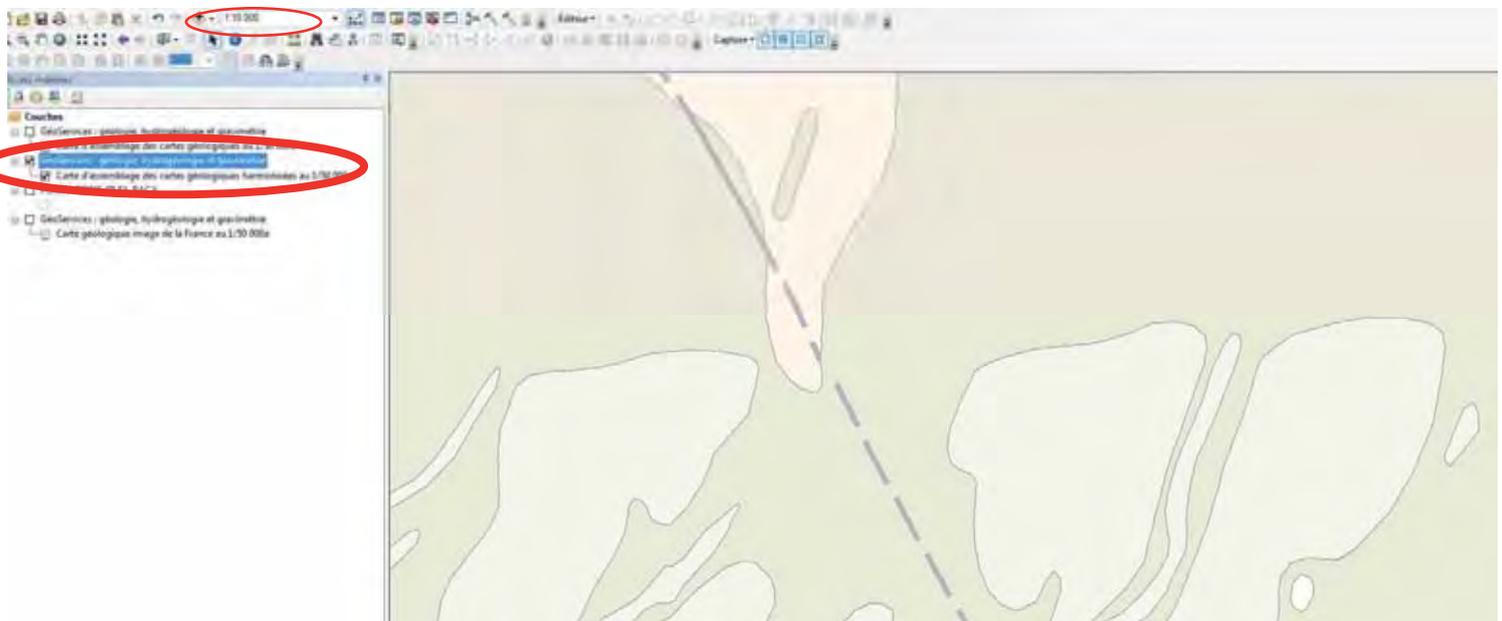


Figure 6 : Schéma de la carte d'assemblage des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000 issue du WMS du BRGM sur ArcGIS

- La carte géologique image de la France au 1/50 000 issue du WMS du BRGM (figure 7) compile l'ensemble des cartes géologiques de la France au 1/50 000. La couche des zones de formation à silex est numérisée directement dessus. Cette couche est à la base de la numérisation. Les contours des formations géologiques sont à différencier à partir des codes couleurs et des acronymes.

On observe, sur cette couche, que les zones sont coupées par un trait horizontal. Il représente la limite entre deux cartes géologiques. Les informations ne sont pas exactement cohérentes de part et d'autre. C'est ici que la carte d'assemblage des cartes géologiques harmonisées (figure 6) prend tout son sens.

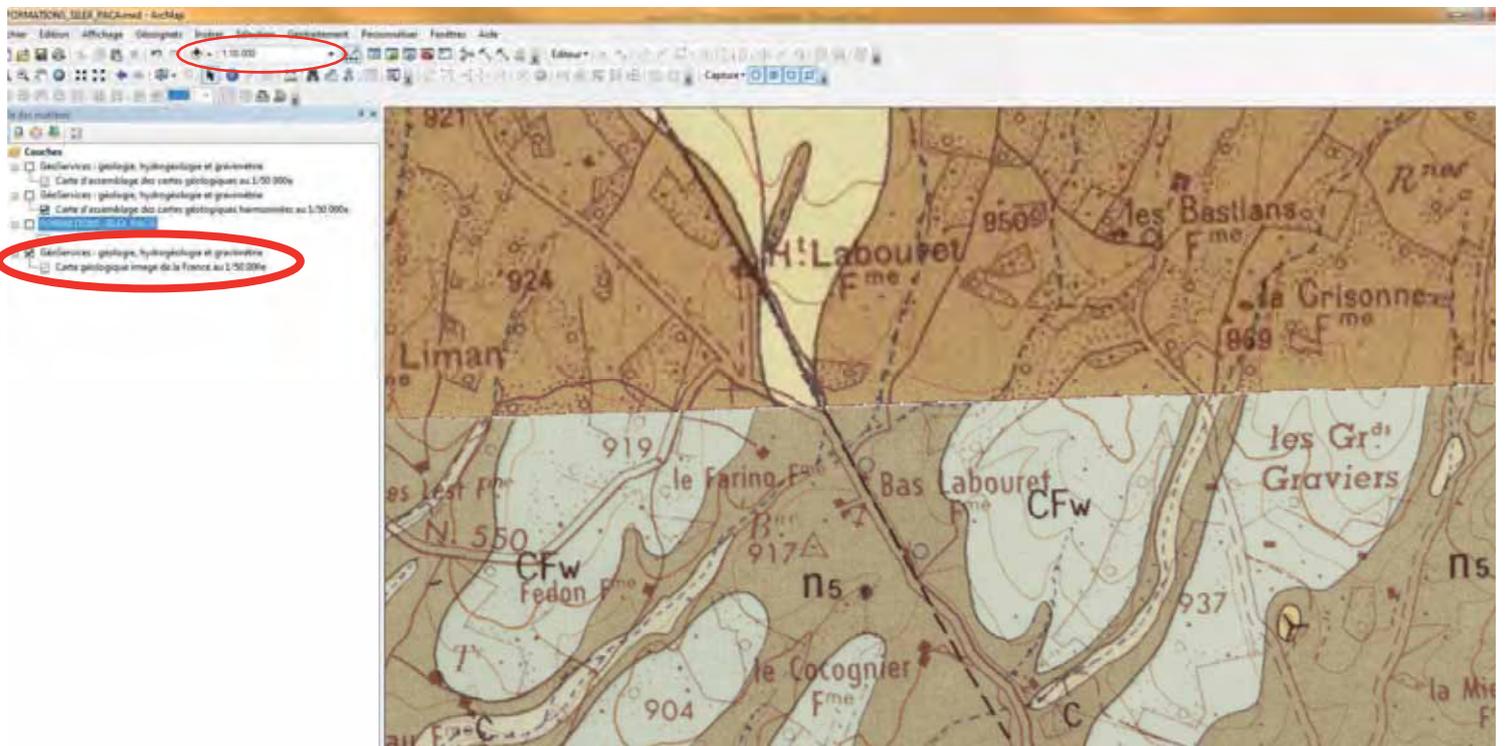


Figure 7 : Schéma de la carte géologique image de la France au 1/50 000 issue du WMS du BRGM sur ArcGIS

Cas particulier de l'éboulement :

Sur la carte géologique de la figure 7, on observe, au nord, une zone jaune qui est aussi représentée sur la carte d'assemblage, mais pas sur la couche des zones de formation à silex. Il s'agit en réalité d'une zone dont l'acronyme géologique est E (figure 8) signifiant la présence d'un éboulement. Ce phénomène géologique n'étant pas le nom d'un type de roche, sa composition prend le nom de la formation géologique qui en est à l'origine, ici, l'éboulis prend l'acronyme n5. Toutefois, si l'éboulis avait été entouré de plusieurs formations, il faudrait le partager au mieux en fonction des caractéristiques du relief du terrain.



Figure 8 : extrait d'une carte géologique image de la France au 1/50 000 issue du WMS du BRGM sur ArcGIS

I.6 La méthodologie de la numérisation

I.6.1 Introduction

La numérisation sur ArcGIS crée deux éléments :

- Une entité géométrique : il s'agit du point, de la polyligne ou du polygone créé lors de la numérisation
- Une ligne dans la table attributaire de la couche : cette table renseigne la caractérisation de la couche. A chaque fois qu'une entité est créée, une ligne est ajoutée à cette table.

I.6.2 Dessiner un polygone sur ArcGIS

Dans ArcGIS, deux notions primordiales, intimement liées, sont à connaître avant de numériser une entité : l'édition et la session de mise à jour.

ArcGIS est un logiciel d'analyse figé. Les couches ne sont pas modifiables naturellement. Pour le faire, il est nécessaire d'ouvrir une session de mise à jour puis de débloquer une et une seule couche afin de travailler dessus. L'édition permet d'effectuer des actions pour modifier cette couche. L'une d'entre elle est le dessin de polygones.

Contrairement aux logiciels de DAO centrés sur le graphisme, les traits dessinés ne sont pas continus et modifiables sur des tablettes graphiques. ArcGIS crée des points à chaque clic de souris. Leurs coordonnées sont enregistrées dans la géométrie de l'entité. La méthode de dessin d'un polygone est expliquée en annexe n°4.

I.6.3 Dessiner des polygones strictement jointifs

L'un des impératifs de ce travail de numérisation impose que les zones de formation jointives ne se chevauchent pas et n'aient pas d'espace entre elles. L'« édition » d'ArcGIS propose à cet effet plusieurs outils :

- L'extraction d'une surface à l'intérieur d'un polygone (annexe n°5).
- La façon de dessiner deux polygones côte-à-côte (annexe n°6).
- Les outils d'accrochage aux objets (annexe n°7).

I.6.4 Dissocier un polygone multi-partie

Il peut arriver, souvent à la suite d'erreurs de manipulation, lorsque deux polygones en partie superposés sont découpés, que le premier se retrouve coupé en deux parties distinctes. A ce moment-là, le logiciel ne renseigne pas deux nouveaux polygones, mais toujours un seul dans la table attributaire. L'outil de dissociation d'entités multi-parties est alors utilisé (annexe n°8).

I.6.5 Référentiel de numérisation

A partir des couches précédemment décrites et de l'illustration de M. Pascal Tallet sur les zones de formation à silex, l'identification des zones à numériser se fait automatiquement (Fernandes et al, 2012).

Cette référence est accompagnée d'une notice écrite par MM. Pascal Tallet et Paul Fernandes (figure 9) à partir des notices techniques des cartes géologiques et d'informations venant de prospections sur le terrain.

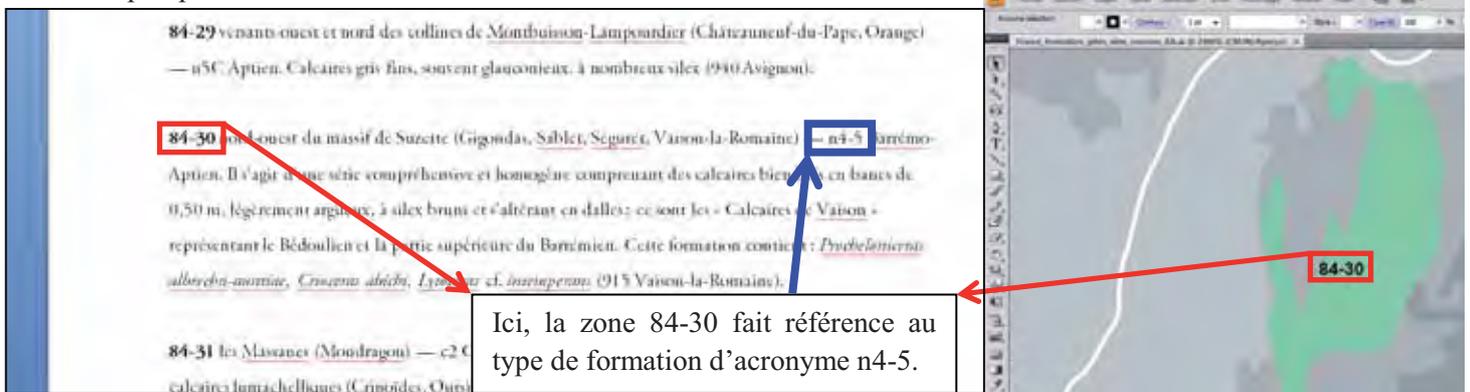


Figure 9 : Extrait de l'illustration de M. Pascal Tallet et de sa notice technique

Les polygones sont modélisés sur les zones n4-5 (Figure 10) :

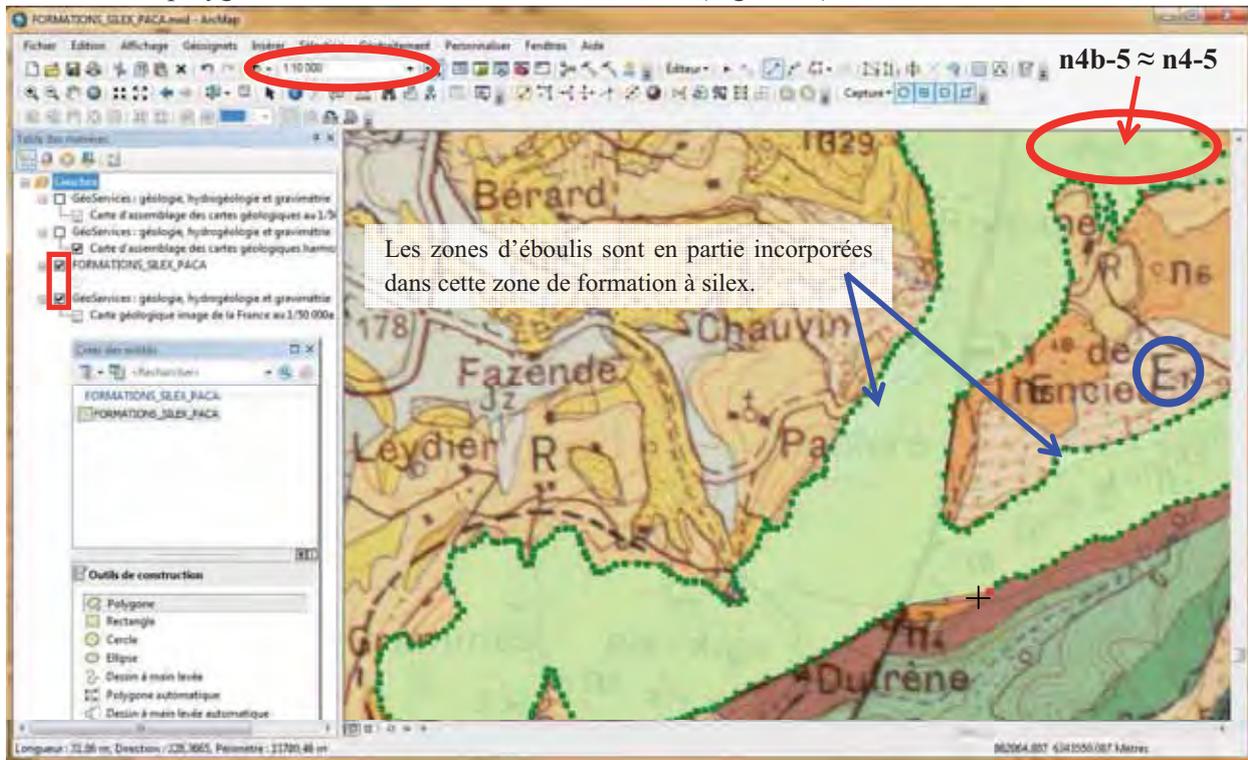


Figure 10 : Exemple de numérisation d'une zone n4-5 sur ArcGIS

I.6.6 Dénomination des polygones

A la fermeture de chaque polygone, un identifiant est attribué pour y associer des informations a posteriori.



Figure 11 : Extrait de l'illustration de M. Pascal Tallet, centrée sur la zone 13-28

Comme il est visible sur cet extrait de l'illustration de M. Pascal Tallet ci-dessus (figure 11), une même zone (ici, 13-28) peut avoir plusieurs sous-zones (ici, 1 et 2). Sur la numérisation, du fait de la meilleure précision et donc de la différenciation de plus de zones, beaucoup de sous-zones se révèlent. Grâce à l'extrait de la carte du BRGM au 1/50 000 et de la modélisation ci-dessous (figure 12), on en compte 11 :



Figure 12 : Sélection des zones 13-28 (d'acronyme N4U1a) sur la couche des zones de formation à silex superposée au WMS de la couche de la carte géologique du BRGM au 1/50 000 sur ArcGIS

A ce stade, on comprend la nécessité de nommer chaque polygone numérisé grâce à un code unique pour retrouver immédiatement les zones de même type. Ce code existe déjà. Il a été utilisé par M. Pascal Tallet pour la caractérisation de ses propres polygones (Fernandes et al, 2012). Il s'agit d'un code à 6 chiffres : les deux premiers indiquent le numéro du département (ici, 13), les deux suivants indiquent le numéro du type de formation géologique dans le département (ici, 28), les deux derniers, enfin, indiquent le numéro de la sous-zone dans la formation (ici, de 01 à 11).

C'est dans la table attributaire de la couche que se renseigne le code d'identification des zones de formation à silex. Pour l'instant, elle est composée de trois colonnes : FID (le numéro de la ligne), Shape (le type d'entité : polygone, polyligne, point) et IDF (où le code de la zone est renseigné) (figure 13).

Cette table est étoffée dans la partie suivante sur l'inventaire des zones de formation à silex.

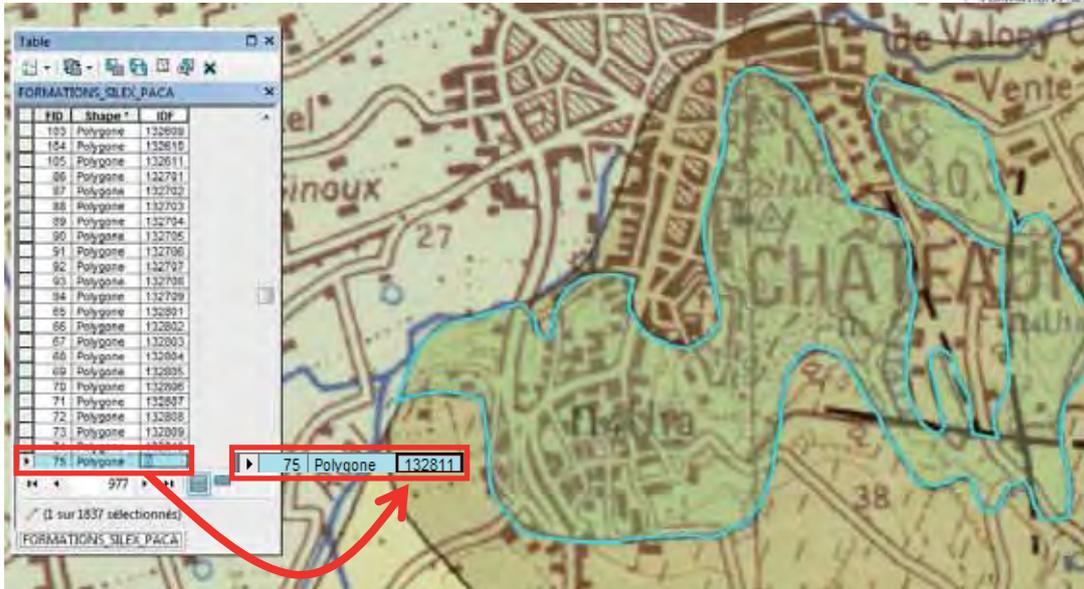
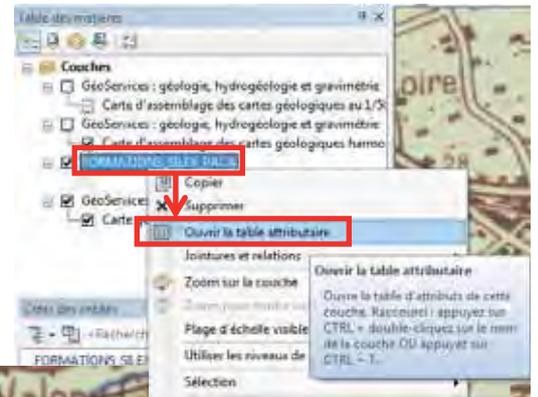


Figure 13 : Schéma d'explication de la dénomination d'un polygone sur ArcGIS

Remarques :

- Pour modifier les lignes et les cases de la table attributaire, une session de mise à jour est ouverte sur la couche de cette table.
- Pour modifier les champs (colonnes) de cette table, la session de mise à jour est fermée.

II Inventaire des zones de formation à silex

II.1 Introduction à l'inventaire

L'inventaire correspond à la formalisation sous forme d'un tableau des éléments constituant la caractérisation des formations. Celle-ci a été réalisée par MM. Paul Fernandes et Pascal Tallet (Fernandes et al, 2012) car elle contient notamment leur description géologique. Un certain nombre d'attributs caractéristiques sont définis et fournissent les colonnes correspondantes aux champs du SIG ou de la base de données. Il deviendra la table attributaire de la couche précédemment créée.

Il permet d'affiner une recherche potentielle par le biais notamment des requêtes des logiciels ArcGIS et PostgreSQL. L'inventaire est donc essentiel à l'aboutissement de ce travail.

Par ailleurs, une des colonnes reprend un champ de la couche afin d'établir une jointure, par la suite, avec le tableur.

II.2 Application de l'inventaire au projet

II.2.1 Choix des nouveaux champs

A l'issu du travail de numérisation, le tableau des attributs de la couche ArcGIS est limité à 3 champs :

- FID : pour sa numérotation à l'intérieur de la table attributaire.
- Shape : pour le type d'entité de chacune des formes (points, polyligne, polygone).
- IDF : pour la dénomination de chaque polygone par le code expliqué dans la partie I.3.2.4.

Pour décrire convenablement ces formations, il est nécessaire d'intégrer différentes notions indispensables à l'analyse. Ainsi, en complément de l'illustration des zones de formation à silex, MM. Paul Fernandes et Pascal Tallet ont caractérisé chaque polygone sur un tableur en réalisant une description détaillée (Fernandes et al, 2012). Extrait de ce document en figure 14 :

A	B	C	D	E	F	G	H	I
ancienne formation	ancien affleurement	IDF	LIEU	COMMUNE	SERIE	ETAGE	ACRONYME CARTE	NUMERO CARTE GEOLOGIQUE
84-35	1	843501	Goult	Goult	Eocène		e7	967
84-35	2	843502	les Maquignons	Goult	Eocène		e7	967
84-35	3	843503	Pigier	Gargas	Eocène		e7	967
84-36	1	843601	Combes de Bonnieux	Bonnieux	Oligocène		g	967
13-01	1	130101	Massif de Marseilleveyre	Marseille	Crétacé Inférieur	Barrémien	n4U	1044
13-01	2	130102	Montagne de Luminy	Marseille	Crétacé Inférieur	Barrémien	n4U	1044

NATURE FORMATION	POSITION SILEX	PALEOENVIRONNEMENT	INFORMATIONS GEOLOGIQUES
			Conglomérat à éléments calcaires et marnes sableuses roses à intercalations alluviales
			Conglomérat à éléments calcaires et marnes sableuses roses à intercalations alluviales
			Conglomérat à éléments calcaires et marnes sableuses roses à intercalations alluviales
			Argiles blanches associées à des petits niveaux de calcaire
			Calcaires biodétritiques compacts à patine très blanche, biostromes à rudistes fréquents, nérinées, bryozoaires, orbitolinidés, silicifications locales de silex blonds
			Calcaires biodétritiques compacts à patine très blanche, biostromes à rudistes fréquents, nérinées, bryozoaires, orbitolinidés, silicifications locales de silex blonds

Figure 14 : Extrait de la caractérisation des zones de formation à silex de l'illustration de M. Pascal Tallet sur tableur

Les deux premières colonnes sont à mettre à part. Ce sont des colonnes de travail de correspondance non utiles à la caractérisation. La description s'opère sur plusieurs points : en premier lieu, la localisation, ensuite, le contexte géologique, puis des caractéristiques de la carte du BRGM et enfin des données intéressant la formation elle-même.

- **LIEU** : localisation par lieu-dit pour les petits polygones, par versant de montagne pour les intermédiaires ou par massif pour les plus gros.
- **COMMUNE** : nom de toutes les communes traversées par un polygone.
- **SERIE** : nom de la série géologique.
- **ETAGE** : nom de l'étage géologique.
- **ACRONYME CARTE** : acronyme de la formation géologique tel qu'indiqué sur la carte géologique de la France en 1/50 000.
- **NUMERO CARTE GEOLOGIQUE** : numéro de la ou des cartes géologiques de la France au 1/50 000 traversées par un polygone.
- **NATURE FORMATION** : nature de la formation géologique contenant le silex.
- **POSITION SILEX** : situation du silex : autochtone (gîte primaire), subautochtone (gîte subprimaire), allochtone (gîte secondaire).
- **PALEOENVIRONNEMENT** :
- **INFORMATIONS GEOLOGIQUES** : description de la formation géologique contenant le silex.

Les numéros de carte géologique, les communes et les lieux permettent une localisation instantanée des zones de formation à silex. Les séries et étages d'une part et le positionnement du silex d'autre part rendent possible la réalisation de cartes thématiques, aides visuelles lors de l'analyse.

Toutes ces informations aboutissent à une description exhaustive des différents types de formation.

II.2.2 Méthodologie de l'inventaire

II.2.2.1 Mise en place de l'inventaire

II.2.2.1.1 Mise en place du support

Le support correspond au tableau avec les entêtes décrites précédemment. Il est préférable de les figer pour faciliter l'ergonomie. Schéma en figure 15 :

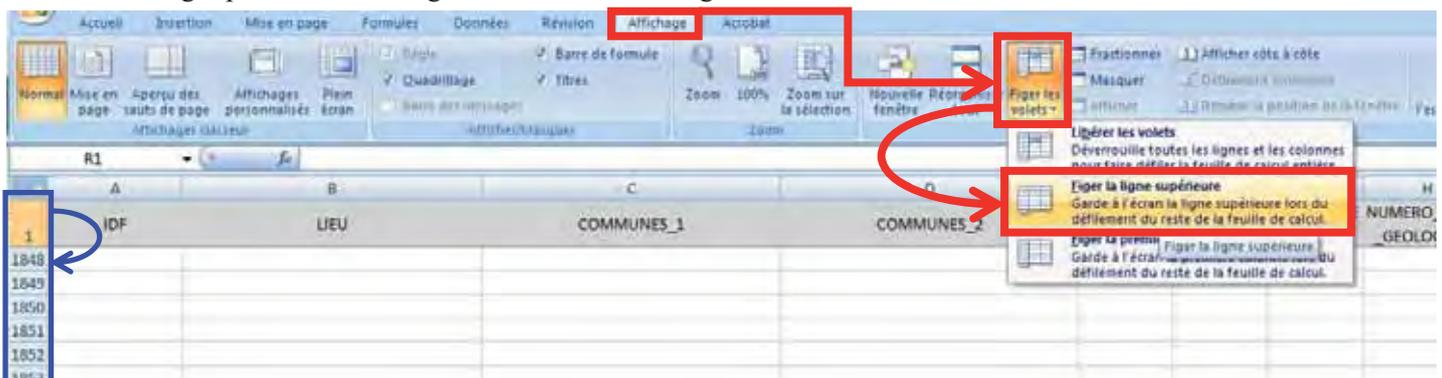


Figure 15 : Schéma pour figer la première ligne sur Microsoft Excel.

Sur ArcGIS, une case, dans une table attributaire, est limitée à 255 caractères. Mais, pour certains polygones, le nombre de communes et la taille de la description du type de formation sont tels que le logiciel refuse d'afficher le contenu et indique à la place « BLOB »¹⁹ (Binary Large Object). Une résolution réside dans le dédoublement des colonnes. Elle est employée car elle est simple. Schéma (figure 16) :

¹⁹ Voir glossaire page ...

C	D
COMMUNES_1	COMMUNES_2

L	M	N
INFORMATIONS_GEOLOGIQUES_1	INFORMATIONS_GEOLOGIQUES_2	INFORMATIONS_GEOLOGIQUES_3

Figure 16 : Schéma des noms des nouvelles colonnes COMMUNE et INFORMATIONS_GEOLOGIQUES sur Microsoft Excel

II.2.2.1.2 Utilisation de l'interface en ligne « InfoTerre »

Pour remplir la colonne LIEU (lieu-dit, massif,...), il faut pouvoir superposer la carte IGN aux zones de formation à silex.

N'ayant pas de carte IGN au 1/25 000 à insérer comme couche dans la table des matières d'ArcGIS, il convient de choisir un site internet qui propose à la fois la carte géologique de la France au 1/50 000 et les différentes cartes IGN (Scan 25, Scan 50,...). Plusieurs sites le peuvent dont InfoTerre : <http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>.

L'annexe n°9 montre la mise en place du site InfoTerre avant le début de l'inventaire.

II.2.2.2 L'inventaire

Afin d'inventorier avec méthode et rapidité, les colonnes sont remplies dans l'ordre des numéros de départements (départements 04, 13, 26 puis 84), puis dans l'ordre croissant des numéros de formation géologique (les deux chiffres du milieu du code expliqué dans la partie I.4.4) et enfin dans l'ordre croissant des numéros de sous-zones à l'intérieur de ces formations (les deux chiffres de la fin de ce code).

Le tableur est mis en forme comme indiqué dans la partie II.2.2.1.1.

Pour débiter, un type de formation géologique est choisi, par exemple : 0407. La lecture de la table attributaire de la couche des zones de formation à silex indique qu'il y a 44 polygones pour cette formation. 44 lignes sont donc créées sur le tableur Microsoft Excel, numérotées de 040701 à 040744.

A partir de la notice écrite par MM. Paul Fernandes et Pascal Tallet sur Microsoft Word (Fernandes et al, 2012) (figure 17), positionnée dans cet exemple sur le numéro 04-07, trois colonnes sont renseignées : ETAGE (bleu), ACRONYME CARTE (rouge) et INFORMATIONS GEOLOGIQUES (vert).

04-07	calcaires de Campagne-Cavalon et de Montfuron : 1-du Lauzou au Laye, 2-du Laye au Largue, 3-synclinal de Reillanne-Forcalquier, 4-massif de la Mort d'Imbert, 5-anticlinal du Grand Lubéron-Vitrolles (3, 4 et 5 : affleurement principal, continu, sur tout le tour du bassin), 6-la Peiroué (saint-Martin-des-Eaux), 7-la Mataroune, 8-Chante-Predrix (Montfuron), 9-Fiéraqe (La Bastide-des-Jourdans, Grambois) — g2a Rupélien inférieur Sannoisien).	Cette formation est composée, du sommet à sa base, par : a) calcaires en petites plaquettes (1-5 cm), bitumineux, à lits de silex noirs, niveau à ostracodes et characées ; b) marnes grises à intercalations de calcaires feuilletés ; c) calcaires à intercalations de marnes bitumineuses à characées et spicules de spongiaires.
-------	--	--

Figure 17 : Schéma d'un extrait de la notice écrite par MM. Paul Fernandes et Pascal Tallet sur Microsoft Word

Grâce à l'échelle des temps géologiques (voir annexe n°10), la colonne SERIE est aussi remplie.

Les deux colonnes NATUREFORMATION et POSITION SILEX sont renseignées grâce à l'interprétation de la colonne INFORMATIONS GEOLOGIQUES.

Les colonnes COMMUNES (1 et 2) et NUMERO CARTE GEOLOGIQUE (1, 2 et 3) sont complétées par l'intermédiaire du logiciel ArcGIS. La couche « communes » de la BD-TOPO de l'IGN et la couche « Carte d'assemblage des cartes géologiques au 1/50 000 » du WMS du BRGM

sont nécessaires. Grâce à la première, la ou les communes traversées par un polygone sont énumérées dans la ligne du tableur qui lui est consacré. Grâce à la deuxième, et avec, en complément, la carte récapitulative de la carte d'assemblage des cartes géologiques au 1/50 000 (voir annexe n° 11), la ou les cartes traversées par le polygone sont indiquées dans la case adéquate.

Le site InfoTerre intervient maintenant pour caractériser le lieu.

Une fois situé par rapport à la formation à décrire, le toponyme correspondant est lu sur la carte IGN. Il peut s'avérer être un lieu-dit, un versant de montagne, une forêt, une montagne, un massif,... Schéma en annexe n°12.

La réalisation de l'inventaire présente l'intérêt d'une première autocorrection sur la présence, l'exactitude du contour et l'exactitude de la numérotation des polygones. D'autres outils de vérification sont développés dans la partie II.3.

II.2.2.3 Jointure de la table d'inventaire avec la couche des zones de formation

Après avoir fini l'inventaire, il est intégré à la table attributaire de la couche des zones de formation à silex. La jointure attributaire d'ArcGIS est l'outil qui permet de réaliser cette intégration. Cette fonction va joindre les deux tables entre elles en s'appuyant sur une colonne d'individualisation des entités. Le schéma de jointure est donné à l'annexe n°13.

II.3 Méthodologie d'auto-vérification de la numérisation et de l'inventaire

Avant l'analyse, il est nécessaire de s'assurer du caractère interopérable et interrogeable de la couche créée.

Vérification par comparaison des colonnes IDF de l'inventaire Microsoft Excel et de la table attributaire de la couche :

Idéalement, les deux colonnes IDF de l'inventaire et de la table attributaire sont identiques. Pourtant, ce n'est pas toujours le cas. Sous tableur, le fichier .dbf correspondant à la table attributaire de la couche peut être comparé à l'inventaire (annexe n°14) et ainsi servir à corriger des décalages entre les correspondances (annexe n°15).

Vérification par l'outil de jointure d'ArcGIS :

Dans l'utilisation de l'outil de jointure attributaire une fonction permet de contrôler les correspondances et les associations des erreurs courantes inhérentes à la création d'une jointure (annexe n° 16).

Insertion de données complémentaires :

L'étude des itinéraires des différents types de silex des zones primaires aux zones subprimaires et secondaires les plus distales est une problématique intéressant l'ensemble de la communauté des préhistoriens. D'ailleurs, certains ont déjà commencé une démarche de cartographie localement, mais de façon non exhaustive, grâce à leur travail de prospection.

Un des collaborateurs du projet, M. Antonin Tomasso, doctorant au CEPAM, a effectué une cartographie de zones de formation à silex (figure 18) de la Provence à la Ligurie (nord-ouest de

l'Italie) dans le cadre de sa thèse : « *Territoires, systèmes de mobilités et systèmes de production. La fin du Paléolithique supérieur dans l'arc Liguro-provençal* ».

Il faut prendre en compte ses projections pour ce rapprocher de l'exhaustivité pour notre travail. En effet, les cartes géologiques représentent un potentiel de présence de silex lié aux formations encaissantes les comprenant. Il peut cependant y en avoir ailleurs, de manière plus localisée, dans des zones à identifier lors de prospections. C'est pour cela que nous avons choisi d'intégrer les formations supplémentaires mises en évidence par M. Antonin Tomasso. Ce point nous permet d'insister sur le caractère dynamique de la carte à constituer.



Figure 18 : Superposition des polygones obtenus par le travail de Paul Fernandes et de Pascal Tallet (en vert) et de ceux obtenus par le travail d'Antonin Tomasso (en rouge) sur ArcGIS

Après ces compléments, la carte des zones de formation à silex du Mont Ventoux et de ses alentours est réalisée. Elle est visible à l'annexe n°17.

II.4 Bilan de la numérisation et de l'inventaire

II.4.1 Volumétrie du travail

Après la numérisation, l'inventaire, l'autocorrection et le complément des données, le nombre de polygones s'élève à 1837. Les sommets de ces polygones, obtenus par la fonction « Sommets d'entités vers points » du sous-menu « Entités » du menu « Outils de gestion des données » de l'ArcToolbox, sont au nombre de 267 258.

Ce projet étant destiné à être reproduit sur la totalité du sud de la France, il est nécessaire d'effectuer une volumétrie du temps de travail, c'est-à-dire de connaître le temps moyen passé pour réaliser le travail expliqué dans les parties précédentes.

Ce travail a été effectué, tout compris, en 2 mois, soit 9 semaines (mois de 4,5 semaines), ou 45 jours (semaines de 5 jours), c'est-à-dire 315 heures (journées de 7 heures).

En prenant en considération que les départements des Bouches-du-Rhône (13) et du Vaucluse (84) ont été couverts en totalité quant à leurs zones de formation à silex, une estimation du temps de travail passé sur chacun d'eux peut être effectuée.

Le premier département compte 338 polygones, soit 18,4% du total. Son nombre de sommets est de 42 821, soit 16,0% du total. C'est-à-dire 50 heures ou 7 jours.

Le département du Vaucluse compte, lui, 762 polygones, soit 41,5% du total. Son nombre de sommets est de 110 299, soit 41,3% du total. C'est-à-dire 130 heures, donc 18 jours et demi ou encore 3 semaines et demi.

Remarques :

- Les pourcentages par polygone et par sommet sont très proches. Néanmoins, lorsqu'ils viennent à différer, le pourcentage par sommet est à privilégier car il correspond directement au nombre de clics de souris.

- Une moyenne de temps de travail fiable par département ne peut pas être dégagée. Seuls deux ont été entièrement numérisés et de fortes disparités se font déjà sentir. En effet, certains départements sont couverts de polygones (84), tandis que d'autres en sont très pauvres (13). Par exemple, le département des Alpes-de-Haute-Provence (04) dont le tiers des formations à silex a été numérisé compte déjà 697 polygones pour 104 614 sommets. Ces nombres seront vraisemblablement multipliés par 3 ce qui prouve définitivement qu'une moyenne de temps de travail par département ne représentent rien. Malgré tout, on peut se faire une idée de cette moyenne par catégorie de département : faible, moyenne ou forte présence de silex dans le territoire.

- Une moyenne de temps de travail par surface de zones de formation à silex pourrait être effectuée. Néanmoins, il existe aussi de grandes disparités entre deux polygones de même surface. Si l'un se présente sous la forme d'un ovale écrasé et l'autre d'un cercle parfait, le premier aura beaucoup plus de sommets pour arriver à la même surface que le second.

- La meilleure des solutions est d'estimer le temps de travail en regardant la longueur du périmètre des zones de formation à silex. C'est elle qui a un impact direct sur le nombre de sommets d'un polygone et donc le nombre de clic de souris.

Pour faire en sorte qu'apparaisse la longueur totale des périmètres des 1837 polygones numérisés pour ce mémoire en 315 heures, il faut suivre le protocole en annexe n°18.

Le calcul nous donne un total de 7 545 780 mètres, soit 7 546 kilomètres.

Voici donc quelques moyennes de temps de travail par périmètre de zones de formation :

- Pour 100 km : 100 km représente 1,326 % de la longueur totale. Il faut donc, pour numériser cette distance 1,326 % de 315 heures. Soit à peu près 4 heures.

- Pour 500 km : 21 heures, c'est-à-dire 3 jours (journées de 7 heures).

- Pour 1000 km : 42 heures, donc 6 jours.

II.4.2 Cartes thématiques

A partir des données jointes expliquées dans la partie II.2.2.3, les polygones peuvent être représentés selon différents critères :

- les séries et les étages géologiques (annexe n°19) qui permettent de contextualiser les données
- la position du silex (annexe n°20) qui fait le lien avec la partie III.

Des outils de symbologie permettent de différencier les zones de formation à silex selon un ou plusieurs de leurs attributs et d'aboutir à des cartes thématiques.

C'est à partir de la définition des propriétés de la couche que l'on peut changer son mode de représentation en fonction du message à faire passer et des variables à mettre en évidence (annexe n°21).

Ensuite, le code couleur employé pour la représentation par séries et étages géologiques se rapporte à la description colorimétrique admise en géologie et formalisée par valeurs (CMJN et RVB) sur tableur par M. Pascal Tallet (annexe n°22). Schéma en annexe n°23.

Une fois définie, la symbologie adéquate est enregistrée pour réutilisation (annexe n°24).

Ensuite, il reste à mettre en page la carte thématique par les fonctions du mode dédié d'ArcGIS (annexe n°25).

ArcGIS n'est pas un logiciel d'infographie. Les options de mise en page restent limitées et, pour un rendu de carte soigné, le passage à un logiciel de DAO infographie reste nécessaire.

Grâce à la carte thématique en fonction de la position du silex, les formations secondaires sont identifiées et géolocalisées. Néanmoins, le parcours du silex des gîtes primaires à ces formations n'est pas connu. C'est pourquoi un travail d'analyse cartographique est nécessaire (partie III).

II.5 Diffusion de la carte sur ArcGIS Online

Ce projet est porté à la connaissance du public et des professionnels par le biais d'un outil en ligne développé par *ESRI*²⁰ : ArcGIS Online. Au moyen d'une interface similaire à celle d'InfoTerre, des couches *SIG* sont importés sur ArcGIS Online et des symbologies ou des info-bulles sont créées afin de rendre le projet lisible et attractif par le grand public et/ou pour un nombre restreint de personnes. Cet outil sert aussi à prévenir instantanément un groupe de travail de l'avancement d'un projet les intéressant.

L'adresse du site internet d'ArcGIS Online est : <http://www.arcgis.com/home/index.html>.

Un compte personnel ArcGIS Online peut être ouvert en cliquant sur « se connecter » en haut à gauche de la fenêtre, puis sur « Inscrire votre compte global ESRI » si la personne est déjà titulaire d'un compte ESRI ou en cliquant sur « Créer un compte public » sinon.

Pour accéder à ce projet, l'identifiant « OUEST_PACA_11_04_2014 » est à inscrire dans la barre de recherche en haut à droite après être rentré dans l'onglet "Bibliothèque" du site.

Lorsqu'un compte a été créé, pour réaliser une nouvelle carte, ouvrir l'onglet « Contenus » du site d'ArcGIS Onlin, puis l'option « Créer Une Carte ».

Ce site est une interface de cartographie en ligne, comme InfoTerre.

La couche *SIG* des zones de formation à silex, et les carte du BRGM au 1/50 000, 1/250 000 et 1/1 000 000 en WMS peuvent être affichées sur ce support (annexe n°26).

L'intérêt d'ArcGIS Online est la possibilité d'appliquer une symbologie aux couches *SIG* (annexe n°27) et de créer des fenêtres contextuelles pour chaque entité (annexe n°28).

Une fenêtre contextuelle interactive et attractive est créée, elle doit permettre la compréhension rapide de l'objet de la carte par un simple passage de souris. Il est donc nécessaire au préalable de définir ce qu'il faut montrer.

²⁰ Voir glossaire page ...

Voici un extrait de la carte ArcGIS Online (figure 19) des zones de formation à silex avec l'ajout des tronçons hydrographiques tels qu'ils sont créés en partie III. Les zones de formation sont caractérisées par la symbologie des séries et les fenêtres contextuelles sont affichées. Le 3/23 en haut de la fenêtre contextuelle des tronçons hydrographiques correspond au troisième tronçon des 23 situés en amont de celui sélectionné (plus d'explications dans la partie III).

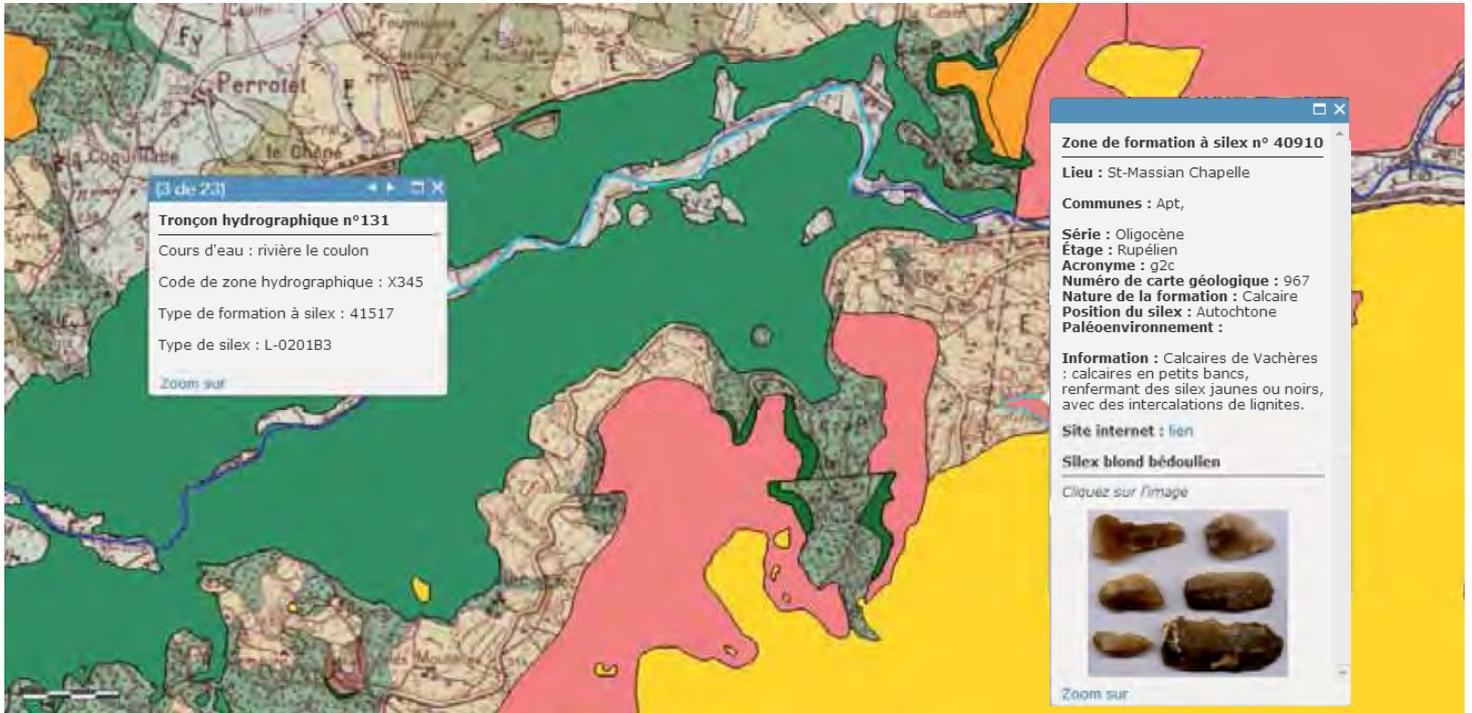


Figure 19 : Extrait de la carte du projet sur ArcGIS Online

Création d'un outil de diffusion participatif à partir d'ArcGIS Online :

En plus de proposer un outil pour exposer un projet sur internet et le partager avec le grand public ou avec des groupes de travail, ArcGIS Online donne la possibilité de créer des applications directement consultables sur téléphone intelligent ou sur tablette. L'intérêt est d'avoir accès directement à la carte du projet sans avoir besoin de passer par un navigateur et un moteur de recherche. Ainsi, lorsqu'un archéologue sera en prospection sur le terrain, il pourra géolocaliser avec son GPS les différents gîtes à silex qu'il aura trouvés pour puis les représenter directement sur la carte du projet à l'aide de son téléphone de ou sa tablette. L'application étant reliée au projet ArcGIS Online, la modification de l'un entrainera automatiquement celle de l'autre avec une mise à jour en temps réel du projet.

La création d'une application se réalise depuis la carte du projet ArcGIS Online en la partageant. Le site internet propose une série de modèle d'application. Pour chacun d'entre eux, il y a la possibilité d'ouvrir un aperçu, de publier directement l'application proposée sur un dossier de son compte ou de la télécharger. Cette dernière option permet d'entrer dans la codification et, ainsi, de créer sa propre application personnalisée.

Cette partie sur l'outil de diffusion participatif n'a pas pu être développée plus avant dans le cadre de ce mémoire. Il pourra faire l'objet d'une future étude approfondie en se focalisant sur l'aspect codification et ses différents langages : JavaScript, CSS et HTML.

III Analyse des zones et représentation de la diffusion du silex dans son environnement

III.1 Introduction

III.1.1 La problématique de l'analyse

L'enjeu de ce travail est de cartographier la diffusion théorique des silex de leurs lieux de formation aux différentes zones secondaires où ils se déposent par l'action de phénomènes de transport.

Le principal vecteur de ce déplacement est le réseau hydrographique. Les silex sont transportés sur des kilomètres depuis les lieux de formation à travers les cours d'eau, parfois jusqu'aux exutoires finaux (dans ce cas d'étude, principalement le delta du Rhône). Ce projet sera axé sur le réseau hydrographique des cinq départements où les zones de formation à silex ont été numérisées : Alpes-de-Haute-Provence (04), Bouches-du-Rhône (13), Drôme (26), Var (83) et Vaucluse (84).

Le travail consiste à identifier les cours d'eau traversant les zones de formation et à les associer à ceux-ci en les cumulant d'amont vers l'aval.

L'analyse se base sur une hypothèse théorique de stabilité du réseau hydrographique, alors qu'il évolue au cours du temps. Ces évolutions pourront d'ailleurs être mises en évidence par comparaison avec la description des formations, notamment secondaires.

III.1.2 Les moyens utilisés

Pour la bonne réalisation du projet, un certain nombre de données et d'outils sera utilisé.

III.1.2.1 Les données

III.1.2.1.1 Les zones de formation et les types de silex

La couche géoréférencée des zones de formation à silex créée en parties I et II sera la donnée principale puisqu'elle indique le nom de chaque type de formation et fournit sa localisation dans un référentiel géographique commun pour toutes les couches de données. Elle fait donc le lien entre les cours d'eau et les types de silex.

La couche des types de silex est primordiale elle aussi, les cartes de diffusion ne peuvent être dessinées sans elle. Cette couche contient la description de chaque type de silex. Sa structure a été créée par M. Paul Fernandes. En l'état, cette table est remplie en partie. Elle continue d'être alimentée par une collaboration entre les spécialistes de la région PACA (CEPAM, Paléotime,...).

III.1.2.1.2 Les données IGN

Pour étudier la diffusion des silex par les cours d'eau, l'utilisation des données IGN s'impose comme une solution mobilisable dans le cadre du présent travail de stage. Parmi les bases de données numériques que l'IGN met en ligne sur son site Internet, la base de données Carthage est disponible ici : professionnels.ign.fr/bdcarthage

La BD CARTHAGE® est la base de données complète du réseau hydrographique français. Elle est téléchargeable gratuitement, et son utilisation est régie par des conditions spécifiques définies par le Sandre²¹ (source site Internet de l'IGN).

Cette base de données propose plusieurs couches de données géoréférencées.

L'IGN fournit, lors du téléchargement, un fichier PDF (annexe n°29). Il permet la description de la couche elle-même ainsi que ses champs. Voici la description générale des couches qui seront utilisées pour réaliser ce travail :

- les bassins versants : nommés zones hydrographiques (pages 22 à 27 de l'annexe n°29 et annexe n°30). C'est le quatrième et dernier niveau d'échelle des bassins versants fournis par l'IGN, donc le niveau le plus fin.
- les tronçons hydrographiques (pages 13 à 17 de l'annexe n°29 et annexe n°31) : le tronçon hydrographique correspond à l'axe du lit d'une rivière, d'un ruisseau ou d'un canal. Il s'agit de la plus petite unité hydrographique. Il est délimité de part et d'autre par un nœud hydrographique. Sa délimitation peut se faire entre deux affluents d'un même cours d'eau. Le tronçon hydrographique est une partie du cours d'eau.
- les cours d'eau (pages 17 et 18 de l'annexe n°29 et annexe n°32) : il s'agit d'une suite de tronçons hydrographiques courant d'une source à une confluence ou une embouchure.
- les nœuds hydrographiques (pages 11 et 12 de l'annexe n°29 et annexe n°33) : il s'agit des points se trouvant à chaque extrémité des tronçons hydrographiques. Ils correspondent à une modification de l'écoulement des eaux.

III.1.2.2 Les outils : ArcGIS et PostgreSQL

Comme pour les parties I et II, le principal outil utilisé a été le logiciel de SIG ArcGIS dans sa version 10.1. En plus de ses multiples intérêts, ArcGIS possède un grand nombre de fonctions, accessibles depuis l'application ArcToolbox. Elles permettent l'analyse approfondie des zones de formation à silex dans le contexte hydrographique de cette étude.

Néanmoins, malgré le nombre important de fonctions d'ArcGIS, il a été nécessaire de faire appel à la puissance du langage SQL²² pour créer une infinité de requêtes.

Le choix s'est porté sur le système de gestion de base de données (SGBD) PostgreSQL dans sa version 9.3. Il s'agit d'un logiciel gratuit. Il peut travailler en relation avec des logiciels SIG, notamment ArcGIS (par l'intermédiaire de l'installation d'un driver payant) et QGIS. Pour ce dernier, la connexion est automatique et gratuite. Cette relation est possible grâce à l'extension PostGIS dans sa version 2.1.2. Cette « cartouche spatiale de PostgreSQL » permet la manipulation d'informations géographiques (spatiales) sous forme de géométries (points, lignes, polygones). PostgreSQL devient ainsi un SGBD capable d'exploiter les données géoréférencées et utilisable dans un logiciel SIG.

PostgreSQL permet d'effectuer des requêtes en langage SQL sur les tables attributaires des couches SIG insérées dans une base de données via l'interface de ce logiciel : pgAdmin III (annexe n°34).

Les fonctions sont ainsi créées par l'utilisateur, selon ses besoins particuliers. Pour cette analyse, le logiciel ArcGIS a été employé comme interface graphique. Pour les fonctions les plus complexes, PostgreSQL prend la relève. Ce logiciel permet de gérer des bases de données et les couches ArcGIS peuvent y être connectées.

²¹ Voir glossaire page ...

²² Voir glossaire page ...

III.2 L'analyse de la diffusion des silex

III.2.2.1 Explication du travail à effectuer

Ce travail a donc 2 objectifs :

- définir le parcours théorique d'un silex de sa zone de formation primaire à la zone de formation secondaire la plus distale.
- établir la liste des types de silex pouvant théoriquement atteindre une zone de formation secondaire.

Les cours d'eau seront utilisés par leurs tronçons hydrographiques. Pour ce travail et afin de faciliter les calculs, seuls les tronçons principaux des bassins versants interviennent. Donc, un seul tronçon sera présent par bassin versant, soit le plus important de la zone hydrographique tout en passant par son exutoire.

Les tronçons hydrographiques sont ensuite fractionnés en fonction des zones de formation à silex : lorsqu'un même tronçon traverse plusieurs zones de formation, il est découpé en autant de tronçons que de zones traversées.

A ce stade, les identifiants des zones de formation à silex sont renseignés sur les tronçons hydrographiques qui les traversent, ainsi que sur tous les tronçons situés en aval jusqu'à l'exutoire final.

Cela permettra de créer, dans la partie III.2.3, les cartes thématiques répondant aux buts exposés en haut de ce paragraphe. Le schéma suivant résume la problématique (figure 20) :

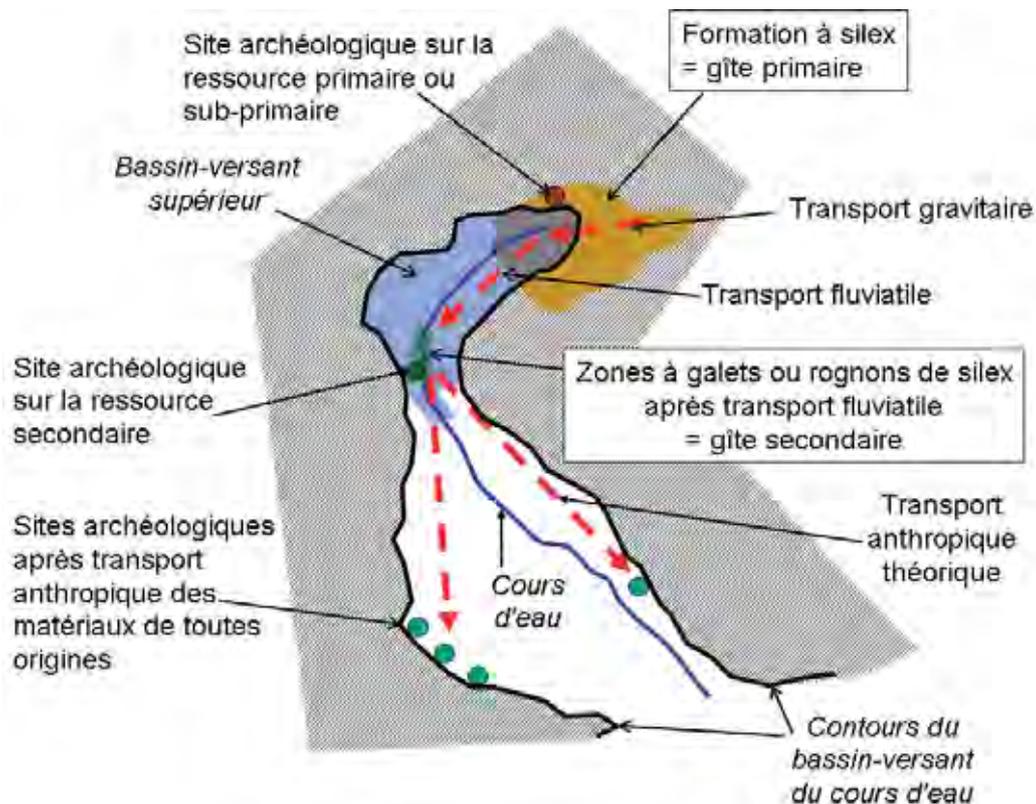


Figure 20 : Représentation schématique d'un bassin-versant et des différents types de transport entre gîte primaire, gîte secondaire et site archéologique

III.2.2.2 Préparation des couches de la base de données CARTHAGE

Les couches de la base de données CARTHAGE (ZONE_HYDROGRAPHIQUE, TRONCON_HYDROGRAPHIQUE, COURS_D_EAU et NŒUD_HYDROGRAPHIQUE) doivent être modifiées pour ne prendre en compte que les tronçons hydrographiques principaux des bassins versants, ainsi que les nœuds hydrographiques correspondant aux exutoires de ces bassins.

III.2.2.2.1 Suppression des départements non concernés

Sur ArcGIS, une nouvelle carte est créée à partir des couches suivantes :

- les zones de formation à silex
- les zones hydrographiques
- les tronçons hydrographiques
- les nœuds hydrographiques

La base de données CARTHAGE a été obtenue par le téléchargement des données pour le bassin hydrographique RMC (Rhône, Méditerranée et Corse). De nombreux départements couvrent ce réseau hydrographique, mais seuls cinq d'entre eux nous intéressent (Alpes-de-Haute-Provence, Bouches-du-Rhône, Drôme, Var et Vaucluse). Le réseau hydrographique sur les départements non utilisés est supprimé sauf sur le Gard qui contient des parties du Rhône, cours d'eau le plus important de ce travail par l'importance de son exutoire final et sur les Hautes-Alpes pour sa proximité avec notre zone d'étude.

Les sept départements cités au-dessus sont sélectionnés avec l'outil « Sélectionner selon les attributs... » d'ArcGIS (annexe n°35).

Les tronçons hydrographiques superposés aux départements sont sélectionnés par l'outil « Sélectionner selon l'emplacement... » (annexe n°36). Cette sélection deviendra la couche qui servira de base hydrographique à la suite de l'analyse.

III.2.2.2.2 Sélection des tronçons hydrographiques correspondant à des cours d'eau

Afin de ne garder que les tronçons hydrographiques qui correspondent aux cours d'eau de la table COURS_D_EAU, la fonction d'ArcGIS « Découper » est utilisée (annexe n°37).

Ainsi, la couche des tronçons hydrographiques est renseignée en entrée et la couche des cours d'eau en table de découpage.

III.2.2.2.3 Retrait des cours d'eau artificiels

Les cours d'eau artificiels comme les canaux, les aqueducs ou les chenaux ne sont pas à prendre en compte car ils sont récents. Il est donc nécessaire de les retirer de la table des tronçons hydrographiques. Malgré tout, certains cas ambigus seront à affiner dans le futur.

Les cours d'eau sont triés par nature pour mener à bien ce travail (annexe n°38).

III.2.2.2.4 Fusion des tronçons hydrographiques par bassins versants

La fonction de fusion d'ArcGIS est expliquée en annexe n°39.

Comme seuls les tronçons hydrographiques principaux des bassins versants sont étudiés dans ce travail, une fusion doit être appliquée dessus afin d'unifier chaque tronçon hydrographique par son

code hydrographique. Ce code est unique au sein de tous les tronçons d'un même cours d'eau et d'un même bassin versant. Le champ de fusion est CODE_HYDRO, comme le montre la figure 21 :

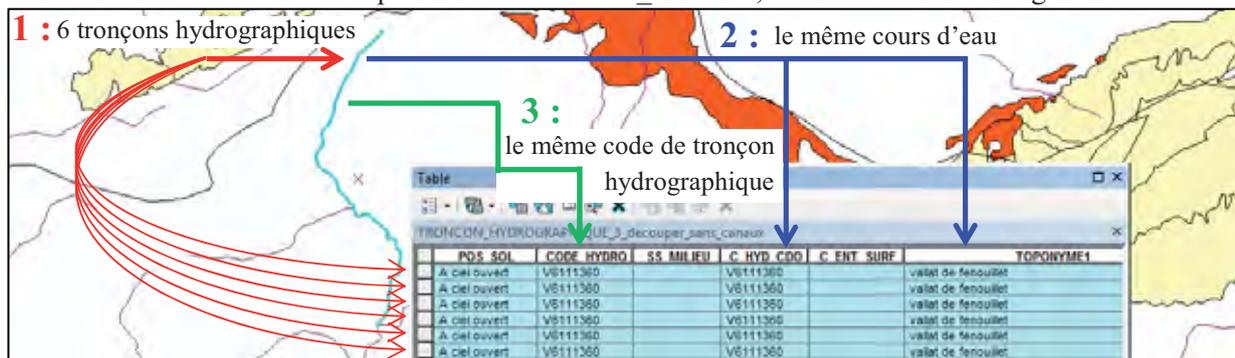


Figure 21 : Schéma d'explication du choix du champ CODE_HYDRO comme champ de fusion sur ArcGIS

Les 6 tronçons du schéma précédent (figure 21) peuvent être regroupés en un seul par la fonction de fusion d'ArcGIS en choisissant le champ CODE_HYDRO. L'entité du nouveau tronçon regroupe les 6 entités des 6 tronçons fusionnés.

Les champs statistiques à utiliser dans la fusion doivent maintenant être désignés.

Dans la table attributaire de la couche des tronçons hydrographiques, 4 colonnes ont des attributs différents lorsque les attributs du champ CODE_hydro sont les mêmes. Il s'agit des deux colonnes id_nd_ini et id_nd_fin qui renseignent les identifiants des nœuds hydrographiques amont et aval du tronçon et des colonnes fpkh et tpkh qui indiquent le sens d'écoulement des eaux puisqu'il s'agit des points kilométriques en amont et en aval du tronçon.

Ainsi, lors de l'utilisation de la fonction « fusionner » d'ArcGIS, il est pertinent d'indiquer, pour chaque nouveau tronçon créé, les nouveaux identifiants des nœuds hydrographiques et des points kilométriques en amont et en aval.

Afin de choisir les bons identifiants et les bons points kilométriques, la solution est de trier une première fois la table des tronçons hydrographiques selon les codes hydrographiques (champ CODE_HYDRO). Un second tri a lieu sur chacune des listes de même code hydrographique par le champ TPKH. Ainsi, la liste sera ordonnée du plus petit TPKH au plus grand, c'est-à-dire des sous-tronçons hydrographiques situés en amont à ceux situés en aval. Les types de statistiques des champs statistiques de la fonction de fusion seront ensuite renseignés comme suit : fpkh = MIN, tpkh = MAX, id_nd_ini = LAST et id_nd_fin = FIRST.

Pour cela, une simple requête SQL écrite sur PostgreSQL est nécessaire. La couche des tronçons hydrographiques est donc importée dans pgAdmin. L'explication de l'importation d'une couche SIG sur pgAdmin est expliquée à l'annexe n°40.

Voici le script de requête SQL entraînant le double tri sur les champs code_hydro et tpkh :

```
DROP VIEW troncon_hydro_3_tri CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW troncon_hydro_3_tri AS
SELECT *
FROM troncon_hydrographique_3_decouper_sans_canaux
ORDER BY code_hydro ASC, tpkh DESC
```

L'explication des deux premières lignes est donnée à l'annexe n°41 sur la création des vues.

L'explication du « ORDER BY » (dernière ligne) est donnée à l'annexe n°42.

Cette requête crée une vue « troncon_hydro_3_tri » contenant tous les champs de la table « troncon_hydrographique_3_decouper_sans_canaux » triés par le champ code_hydro en ordre croissant, puis par le champ tpkh en ordre décroissant.

La fusion d'ArcGIS (annexe 39) est maintenant effectuée (figure 22) :

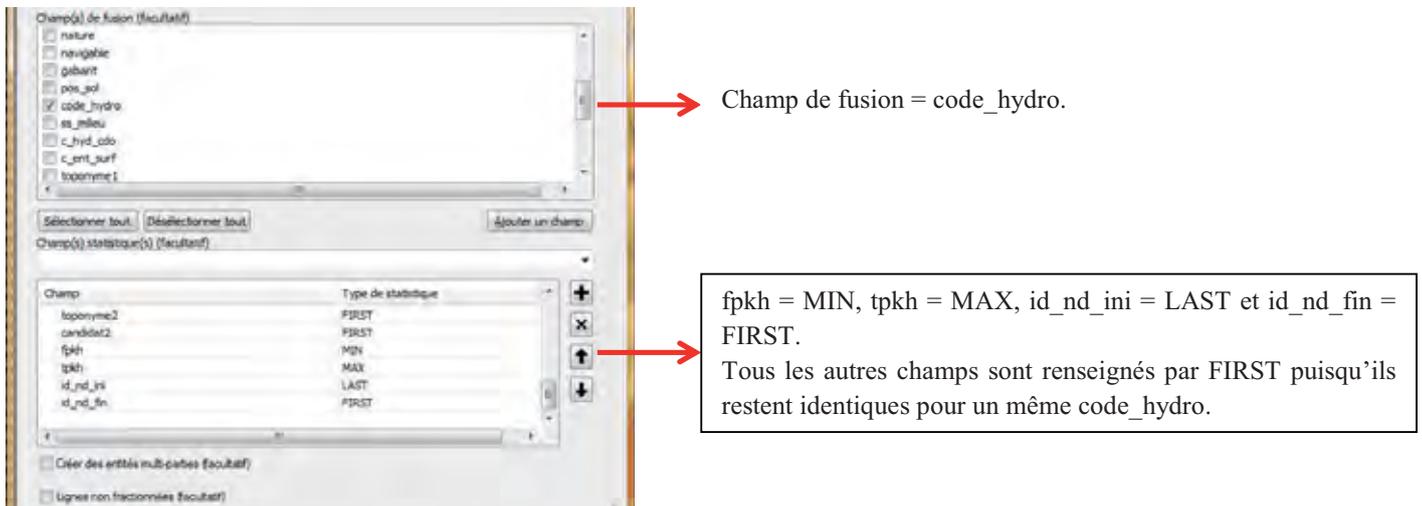


Figure 22 : Schéma d'explication du choix du champ CODE_HYDRO comme champ de fusion sur ArcGIS

Le résultat de cette fonction est une couche avec les entités fusionnées par le champ de fusion code_hydro. La table attributaire de cette nouvelle couche renferme 7092 lignes, soient 7092 entités. La table attributaire de la couche sur laquelle a été effectuée la fusion contenait 33468 lignes.

Les champs de la nouvelle couche présentent tous en préfixe le type de statistique qui leur a été appliqué (FIRST, LAST, MIN, MAX). Afin de retrouver le nom initial des champs, le logiciel PostgreSQL intervient. Après avoir importé la nouvelle couche SIG dans pgAdmin (annexe n°40), le nom de chaque champ est modifié par la fonction de renommage de PostgreSQL (annexe n°43), comme sur l'exemple ci-après pour changer la colonne first_gid en gid :

```
ALTER TABLE troncon_hydrographique_4_fusion RENAME COLUMN first_gid TO gid
```

III.2.2.2.5 Création de la couche des tronçons principaux des bassins versants

Les tronçons hydrographiques étant fusionnés, la sélection des tronçons principaux des bassins versants peut être faite.

Pour cela, une jointure attributaire est effectuée avec le logiciel ArcGIS (annexe n°44).

Ici, la jointure est effectuée sur le champ c_hyd_cdo qui permet de codifier les cours d'eau. Cette jointure relie les données sur les cours d'eau exutoires renseignés à la table des bassins versants avec les tronçons hydrographiques correspondants. Sur la table des tronçons hydrographiques, les lignes en relation avec les tronçons exutoires voient les attributs de leurs bassins versants apparaître à droite des champs déjà existants. Pour les autres lignes, il est renseigné « nul », la table résultante est ordonnée par les code_zone, grâce à un double-clic sur le nom du champ. Ainsi, toutes les lignes renseignées « nul » se retrouvent ensemble à l'écart des autres (figure 23).

Correction de l'erreur :

- Création d'une couche à partir des trois nœuds hydrographiques où les trois tronçons se déversent dans le quatrième.
- Utilisation de la fonction « Fractionner des lignes par des points » (annexe n°46) sur la couche des tronçons exutoires à partir de la couche des trois points précédemment créée.
- Attribution des colonnes « id_nd_ini » et « id_nd_fin » des quatre tronçons hydrographiques nouvellement créés en utilisant les identifiants « id_bdcarth » des nœuds hydrographiques.
- Affectation arbitraire de codes sur les colonnes code_zone et code_hydro.

La deuxième erreur est similaire à la première. Elle est située sur la zone décrite par l'illustration suivante (figure 25) et elle est résolue de la même façon.

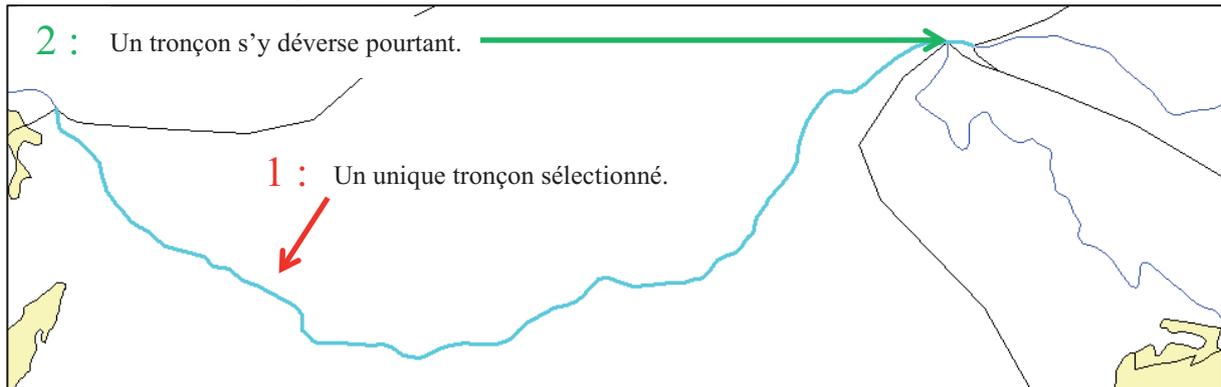


Figure 25 : Illustration de la deuxième erreur sur un tronçon principal de bassins versants sur ArcGIS

Pour la troisième erreur, un des tronçons principaux de bassins versants s'arrête net avant de se jeter dans un autre tronçon. Illustration (figure 26) :

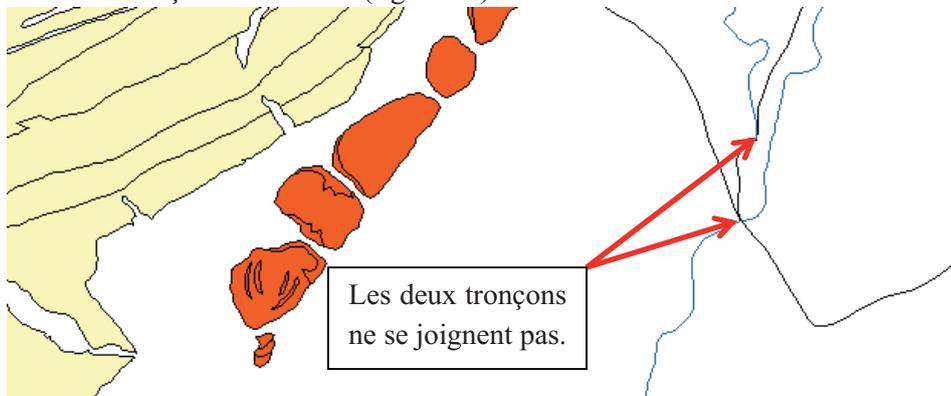


Figure 26 : Illustration de la troisième erreur sur une mauvaise jonction entre deux tronçons hydrographiques principaux de bassins versants sur ArcGIS

Correction de l'erreur :

- Recherche des tronçons hydrographiques qui relient ces deux tronçons dans la table originale de l'IGN. Ils sont au nombre de quatre. Création d'une couche les regroupant.
- Fusion de ces quatre tronçons par la fonction « Fusionner » d'ArcGIS (annexe n°39).
- Renommage à la main des attributs « tpkh », « fpkh », « id_nd_ini » et « id_nd_fin ».
- Renommage arbitraire des attributs « code_zone » et « code_hydro »
- Création de la colonne gid (réel double) avec la valeur arbitraire 4000.
- Combinaison entre la table fusionnée et la table des tronçons principaux des bassins versants par la fonction « Combiner » (annexe n°47).

III.2.2.3.3 Épuration des données des tronçons et des nœuds hydrographiques

Les tronçons hydrographiques qui n'ont pas d'influence dans le transport des silex sont sélectionnés et supprimés. Chaque cours d'eau doit néanmoins commencer par une source et finir par un exutoire final. Les nœuds hydrographiques subissent la même épuration.

85 tronçons fractionnés et 73 nœuds exutoires composent maintenant la zone.

III.2.2.3 Fractionnement des tronçons en fonction des zones de formation à silex

Les tronçons hydrographiques sont fractionnés en fonction de chaque nouvelle zone de formation à silex traversée. La précision du chemin de diffusion de chaque type de silex en est renforcée, ainsi que l'exhaustivité et la justesse des listes de types de silex se retrouvant sur un même tronçon.

III.2.2.3.1 Points d'intersection entre les tronçons et les zones de formation à silex

Afin de créer les points d'intersection entre les tronçons hydrographiques et les zones de formation à silex, la fonction ArcGIS « intersection » (annexe n°48) entre ces deux couches est effectuée. Dans le cas présent, le type de géométrie en sortie est « POINT ». Ce détail permet de créer directement la couche des points d'intersection.

Remarque :

Dans la table attributaire de la nouvelle couche obtenue, la colonne « Shape », qui indique le type de géométrie, est renseignée par l'attribut « Multi-point ». Cela signifie que certaines entités peuvent contenir plusieurs points et qu'il n'y a pas une entité unique par point.

Un même tronçon peut entrer et sortir plusieurs fois d'une même zone de formation à silex. Le logiciel renseigne tous les points d'intersection de cette zone par la même entité.

Pour faire correspondre chaque point à une et une seule entité, la fonction d'ArcGIS « Multi-parties vers une partie » est utilisée (annexe n°49). Résultat : 348 entités contre 130.

III.2.2.3.2 Sélection des points d'intersection d'entrée d'un tronçon hydrographique dans la zone de formation à silex

Comme expliqué précédemment, un tronçon hydrographique peut entrer et sortir plusieurs fois d'une même zone de formation à silex. Il est donc nécessaire d'identifier les points d'entrée des tronçons dans les zones de formation et de créer une couche à partir de ces points.

Pour cela, la démarche à suivre est la suivante :

- Calcul de la distance entre chacun des points et l'exutoire de bassin versant correspondant.
- Comme les points d'intersection sont identifiés par zone de formation à silex, il s'agit de sélectionner, à l'intérieur d'une même zone, le point d'intersection dont la distance est la plus grande par rapport à l'exutoire de son bassin versant. Ce point est le point d'entrée du tronçon hydrographique dans la zone de formation à silex.

Pour calculer la distance entre les points d'intersection et l'exutoire du bassin versant, il est nécessaire de regrouper dans une même table les trois géométries des points d'intersection, des nœuds hydrographiques exutoires des bassins versants et des tronçons hydrographiques. Les géométries des points d'intersection doivent correspondre aux géométries de leur nœud hydrographique exutoire et de leur tronçon hydrographique.

Ces précautions sont à suivre afin d'utiliser la fonction de création de polygone de PostgreSQL (annexe n°50) qui exige d'avoir les 3 géométries sur la même table.

Ensuite, pour récupérer la distance entre les points d'intersection et leurs exutoires, la fonction de longueur de PostgreSQL (annexe n°51) est employée.

Une correction est apportée sur le format des entités linéaires de la table des tronçons hydrographique par une fonction PostgreSQL (annexe n°52). Le script est le suivant :

```
ALTER TABLE troncon_hydrographique_5_exutoire  
ALTER COLUMN geom TYPE geometry (linestring,2154) USING ST_GeometryN (geom, 1)
```

Toute la difficulté est donc de renseigner les trois géométries dans une même table et qu'elles se correspondent.

Pour cela, une première jointure attributaire sur PostgreSQL (annexe n°54) est instaurée entre la couche des points d'intersection et celle des tronçons hydrographiques. Elle est faite sur le champ code_zone (code du bassin versant) à intégrer et non le code_hydro car lorsque la géométrie de l'exutoire du bassin sera renseignée, elle le sera sur tous les points situés à l'intérieur de chaque bassin versant, donc pour tous les points qui ont le même code_zone que l'exutoire. Comme les 4 premiers caractères du champ code_hydro correspondent au code des zones hydrographiques (bassin versant), une nouvelle colonne est créée dans ces couches et ces 4 caractères y sont insérés. Par l'intermédiaire du fichier en format .dbf, le tableur peut être mis à jour sur le « code_zone » (annexe n°53).

La jointure attributaire entre la couche des points d'intersection et celles des tronçons hydrographiques est maintenant réalisée. Voici le script obtenu :

```
DROP VIEW intersections_par_troncon CASCADE  
CREATE OR REPLACE VIEW intersections_par_troncon AS  
SELECT its.gid, its.fid_tronco, its.idf::integer ; its.code_zone,  
th.code_zone as code_zone2, th.geom,  
its.geom AS geom_2  
FROM intersection_troncon_silex_unique AS its  
JOIN troncon_hydrographique_5_final AS th  
ON (its.code_zone=th.code_zone)
```

Ce script demande au logiciel d'afficher tout d'abord la colonne « gid » des points d'intersection qui indique l'identifiant de chaque point, puis la colonne « fid_tronco » qui donne l'identifiant de chaque tronçon hydrographique, ensuite la colonne des identifiants « idf » des zones de formation à silex, qui permet de choisir la plus grande longueur de tronçon hydrographique en triant par idf, puis les deux colonnes « code_zone » des deux tables pour vérifier que la jointure s'est bien opérée (les deux colonnes sont alors identiques) et enfin les deux colonnes de géométrie « geom », la deuxième est renommée « geom_2 », qui permettent d'avoir les géométries des points d'intersection et des tronçons hydrographiques sur la même table. Le logiciel crée une vue nommée « intersections_par_troncon » pour récupérer le résultat de la requête.

La géométrie des nœuds exutoires des bassins versants est maintenant ajoutée.

Pour cela, la colonne code_zone est rajoutée à la couche des noeuds hydrographique par une jointure attributaire (annexe n°54) :

```
DROP VIEW noeud_hydro_exu_BV CASCADE  
CREATE OR REPLACE VIEW noeud_hydro_exu_BV AS  
SELECT row_number()OVER()::integer AS gid, nh.gid AS nh_gid, nh.id_bdcarth, zh.code_zone, nh.geom AS  
geom_3  
FROM noeud_hydrographique_2_exutoire_restreint AS nh  
join zone_hydrographique AS zh  
on (nh.id_bdcarth=zh.id_nd_exut)
```

Cette requête demande au logiciel d'afficher la numérotation de la table en première colonne par la fonction de numérotation « row_numer()over():integer » (annexe n°55), la numérotation de la table des nœuds hydrographiques mise en entrée et renommée en « nh_gid », la colonne id_bdcarth, la colonne « code_zone » prise sur la table des zones hydrographiques et la colonne de géométrie « geom » des nœuds hydrographiques renommée en « geom_3 » pour garantir la future jointure. L'égalité sur les identifiants « bdcarthage » des deux tables permet une telle jointure. En résultat, le logiciel donne une table de 89 lignes contre les 73 de la table des nœuds exutoires initiaux. L'explication est qu'un même nœud peut être l'exutoire de plusieurs bassins versants. Dans ce cas, le logiciel renvoie autant de lignes que de bassins versants.

La jointure finale pour renseigner la géométrie des nœuds exutoires à la vue regroupant la géométrie des points d'intersection et des tronçons hydrographiques peut être réalisée. La jointure attributaire PostgreSQL (annexe n°54) est appliquée. Voici le script à écrire :

```
DROP VIEW jointure_3_geom CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW jointure_3_geom AS
SELECT it.*, nh.geom_3
FROM intersections_par_troncon AS it
JOIN noeud_hydro_exu_BV AS nh
ON (it.code_zone=nh.code_zone)
```

Cette requête affiche toutes les colonnes de la vue « intersections_par_troncon » (* = toutes les colonnes) en leur joignant le champ géométrique « geom_3 » de la table des nœuds hydrographiques exutoires par la jointure des deux tables selon les mêmes code_zone.

Ainsi, la table obtenue (figure 27) est prête pour être utilisée par la fonction de calcul de longueur sur des créations de polygones de PostgreSQL (annexes n° 50 et 51) :

gid integer	fid_tronco integer	idf integer	code_zone character varying(4)	code_zone2 character varying(4)	geom geometry(LineString,2154)	geom_2 geometry(Point,2154)	geom_3 geometry(Point,2154)
196	250	843605	X322	X322	01020000206A080000720100000000000000F15	01010000206A0800005D74CF8ADE1F2B4117	01010000206A080000CDCCCCC47132B41000000E0E40
197	217	40722	X152	X152	01020000206A080000BE0000000000000008F3	01010000206A0800003C6A364F214F2C41A6	01010000206A080000CDCCCCC925F2C4100000040DA1
198	217	40722	X152	X152	01020000206A080000BE0000000000000008F3	01010000206A080000A49E397E444D2C415A	01010000206A080000CDCCCCC925F2C4100000040DA1
199	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A08000061A6CE354F312B41F9	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
200	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A0800009F812F634E312B41CD	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
201	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A0800004AC733064E312B4160	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
202	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A080000736AD7F21D292B41C1	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
203	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A080000F6C2A64665312B4150	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
204	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A080000343229A3DB272B4115	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
205	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A080000E6B270895E232B4156	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
206	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A080000F3457050CD222B4195	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
207	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A0800009DE1BAD341202B419B	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
208	258	840502	X345	X345	01020000206A0800007C00000080999999F04	01010000206A0800007E2D271FBA1F2B4106	01010000206A080000CDCCCCC551D2B41000000E0111
209	259	840502	X346	X346	01020000206A0800009E000000C0CCCCC551	01010000206A080000A55E9F2D631B2B4148	01010000206A080000CDCCCCC6DD62A4100000040191
210	259	840502	X346	X346	01020000206A0800009E000000C0CCCCC551	01010000206A080000655C6165FA1A2B41EF	01010000206A080000CDCCCCC6DD62A4100000040191

Figure 27 : Extrait de la table regroupant les trois géométries sur PostgreSQL : « geom » est la géométrie des tronçons hydrographiques, « geom_2 » est la géométrie des points d'intersection et « geom_3 », celle des nœuds hydrographiques exutoires

Voici le script qui permet de calculer la longueur entre les points d'intersection et les exutoires en passant par les tronçons hydrographiques :

```
DROP VIEW longueur_entre_points CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW longueur_entre_points AS
SELECT gid, fid_tronco, idf, code_zone, geom_2 AS geom,
ST_Length(ST_Line_Substring(geom, ST_Line_Locate_Point(geom, geom_2), ST_Line_Locate_Point(geom,
geom_3))) AS distance
FROM jointure_3_geom
ORDER BY idf, code_zone, distance
```

La requête affiche les colonnes gid, fid_tronco, idf, code_zone et geom de la vue « jointure_3_geom », donc, les identifiants des points d'intersection, des tronçons hydrographiques,

des zones de formation, les codes des bassins versants et la géométrie des points d'intersection. Une colonne « distance » est créée. Elle contient la longueur entre les points d'intersection et leurs exutoires en fonction des tronçons hydrographiques. La fonction ST_Line_Locate_Point est expliquée en annexe n°56. L' « ORDER BY » (annexe n°42), permet d'ordonner la table par identifiant de zone de formation à silex, puis par identifiant de zones hydrographiques puis par longueur (figure 28) :

gid integer	fid_tronco integer	idf integer	code_zone character varying(4)	geom geometry(Point,2154)	distance double precision
44	87	260503	V602	01010000206A080000A0522D6044C42A41361C98FEFC3A5841	6105.19339179366
43	87	260503	V602	01010000206A080000E0FDS30E67C42A4192D97D1F023B5841	6132.18364275904
20	88	841108	V603	01010000206A080000F43C372DC1DB2A4193470AF4D2375841	11936.5052338945
28	88	841108	V603	01010000206A080000C86251824EF92A41F575B52F7B365841	16283.0902944973
27	88	841108	V603	01010000206A0800007899E179A2F72A418204CEA280365841	16047.3408832826
26	88	841108	V603	01010000206A08000031B985CA7BF72A412B2104E181365841	16027.3695655792
25	88	841108	V603	01010000206A08000082E3F8E47BF62A418973109394365841	15876.5478778294
24	88	841108	V603	01010000206A08000068A2648D5CF32A41AAB41B21CF365841	15409.0024453337
23	88	841108	V603	01010000206A080000486EC7901BF32A41205CC860D5365841	15367.8594742508
22	88	841108	V603	01010000206A0800008EED193669EF2A41999473A119375841	14821.335116431
21	88	841108	V603	01010000206A080000FB04FD7509EF2A4151033BF122375841	14760.3468933032
19	88	841108	V603	01010000206A080000EEC000EB2BAA2A41A01D7ED47D385841	3898.76621699248
7	88	841003	V603	01010000206A0800009A7BA5892DA92A4131606F0F95385841	3719.18498904686
8	88	841003	V603	01010000206A080000737AFA61B7A92A4169AD4B3A89385841	3805.56326005756

Figure 28 : Extrait de la table des distances entre les points d'intersection et les nœuds hydrographiques exutoires sur PostgreSQL

Cette table est importée sur ArcMap. Par la fonction « Résumés statistiques » d'ArcGIS (annexe n°57), les points d'intersection d'entrée sont choisis (figure 29) :

« gid » = LAST permet de choisir le dernier identifiant de chaque liste classée par idf, code_zone et distance. Ce « gid » correspond donc au point de distance maximale.
 « distance » = MAX sert à choisir la distance maximale pour chaque ligne récapitulative. Ainsi, après l'utilisation de cette fonction, une simple jointure attributaire sur la couche des points d'intersection par les champs de distance permettra de sélectionner les points d'intersection d'entrée.

Le choix d'indiquer les champs idf et code_zone pour les champs de récapitulation permet de tenir compte des zones de formation à silex situées sur plusieurs zones hydrographiques à la fois. Ainsi, si une zone de formation est présente sur deux bassins versants et que deux tronçons hydrographiques la traversent, le logiciel indiquera deux points d'entrée au lieu d'un seul si le champ idf avait été l'unique champ de récapitulation.

Figure 29 : Explication de l'utilisation de la fonction « Résumés statistiques » pour le choix des points d'intersection d'entrée sur ArcGIS

La table donnée en sortie contient 83 lignes. Il s'agit des 83 points d'entrée des tronçons hydrographiques sur les zones à silex.

Il n'y a plus qu'à utiliser la jointure attributaire du logiciel ArcGIS (annexe n°44) sur la couche des points d'intersection avec la table réalisée par la fonction « Résumés statistiques ». Une nouvelle colonne est préalablement ajoutée à la couche des points d'intersection (champ « gid_pts », entier long, longueur = 10). Cela permet de numérotter la table de 1 à n et non de 0 à n-1 comme le fait ArcGIS. La numérotation est réalisée sur le fichier .dbf de la couche.

Cette jointure sert à sélectionner les points d'entrée depuis la table des points d'intersection par l'égalité entre les « gid_pts » des points d'intersection et les « gid » des points d'entrée.

Les lignes où la jointure s'est effectuée sont sélectionnées sur la table attributaire. La jointure est ensuite annulée et la sélection est enregistrée en tant que couche.

Après vérification, les lignes 73 et 74 (champ « FID ») de cette couche représentent le même point. L'une des deux lignes est donc supprimée et la table compte désormais 82 points.

III.2.2.3.3 Fractionnement des tronçons par les points d'intersection d'entrée

Le fractionnement s'effectue par la fonction ArcGIS « Fractionner des lignes par des points » annexe n°45). Sur la fenêtre de cette fonction est renseigné un rayon de recherche d'un mètre. C'est une nécessité du fait de la perte de précision lorsque la connexion ArcGIS/PostgreSQL est utilisée. Elle est de l'ordre de 10^{-6} m, 10^{-9} m, donc négligeable dans les faits, mais néanmoins suffisante pour qu'ArcGIS ne comprenne pas qu'un point d'entrée est superposé à son tronçon. Le rayon d'un mètre indique à ArcGIS de prendre en compte ces points pour le fractionnement.

La fonction « Fractionner des lignes par des points » a maintenant fractionné les tronçons hydrographiques en 163 entités contre 85 précédemment.

III.2.2.4 Mise à jour des colonnes id_nd_ini et id_nd_fin des tronçons fractionnés

Le fractionnement des tronçons hydrographiques étant réalisé, les colonnes « id_nd_ini » et « id_nd_fin » de cette table sont fausses. En effet, pour rappel, ces colonnes donnent l'identifiant des nœuds hydrographiques situés en amont et en aval de chaque tronçon hydrographique. Il faut donc maintenant réattribuer les valeurs des nouveaux nœuds qui les bordent.

Cette étape est essentielle, car, c'est en renommant les attributs de ces colonnes que, d'un tronçon préalablement sélectionné, la liste de tous ceux situés en aval peut être établie.

Une correction est apportée sur le format des entités linéaires de la table des tronçons hydrographique fractionnés (annexe n°52). Le script est le suivant :

```
ALTER TABLE troncon_hydrographique_6_fractionnes  
ALTER COLUMN geom TYPE geometry(linestring,2154) USING ST_GeometryN(geom, 1);
```

Sur la table des points d'entrée, une nouvelle colonne est créée, « id_bdcarth » (réel double, longueur = 10, échelle = 0).

Sur le tableur .dbf de cette couche, il est renseignée 1000000000 à la première case, puis une incrémentation est effectuée jusqu'à la dernière ligne alors renseignée par l'identifiant 1000000081. Ces valeurs choisies sont arbitraires et ne sont présentes que pour distinguer les identifiants des points créés de ceux des nœuds hydrographiques de l'IGN.

Les nœuds hydrographiques représentant les sources des cours d'eau choisis doivent aussi être placés dans leur propre couche afin de rendre possible la mise à jour exhaustive des colonnes « id_nd_ini » et « id_nd_fin ». La création de cette couche est expliquée à l'annexe n°58.

25 sources hydrographiques sont répertoriées.

Une nouvelle couche regroupant les nœuds exutoires, les sources hydrographiques et les points d'entrée est créée en suivant l'annexe n°60. Elle contient l'addition de leurs données : 83 points d'entrée + 89 nœuds hydrographiques exutoires + 25 nœuds hydrographiques sources = 197 points.

Pour mettre à jour les colonnes « id_nd_ini » et « id_nd_fin », la méthode est similaire à celle utilisée précédemment pour sélectionner les points d'entrée.

Chaque tronçon est entouré de deux nœuds hydrographiques. La méthode consiste à faire comprendre au logiciel que le nœud situé en amont du tronçon hydrographique va dans la colonne « id_nd_ini » et que le nœud situé en aval, dans la colonne « id_nd_fin ».

Pour cela, la distance de chaque point est calculé jusqu'aux nœuds hydrographiques exutoires finaux, où les cours d'eau se jettent dans la mer. Puis, le point situé à la plus grande distance est placé dans la colonne « id_nd_ini » et l'autre, dans la colonne « id_nd_fin ».

Cette distance n'est pas calculée jusqu'à chaque exutoire de bassins versants parce que cette fois-ci, tous les points, dont les nœuds exutoires, sont pris en compte. Or, si leurs distances étaient calculées jusqu'à l'exutoire du bassin versant, elles seraient égales à zéro mètre. Ainsi, pour le tronçon situé juste en aval d'un exutoire, mais en amont d'un point d'intersection, il lui serait attribué deux distances : celle du point d'intersection, supérieure à 0 et celle du nœud exutoire, égale à 0. Donc, lorsqu'une sélection aurait été faite pour savoir quel point est le plus en amont (distance maximale), le logiciel indiquerait faussement le point le plus en aval.

La géométrie des tronçons hydrographiques, de tous les points et des nœuds exutoires finaux doit être regroupée dans une même table comme en partie III.2.2.3.2 afin d'utiliser la fonction de création de polygones de PostgreSQL (annexe n°50). Polygones sur lesquelles est ensuite appliquée la fonction de calcul de longueur de polygone de PostgreSQL (annexe n°51).

En outre, la géométrie de la polygone associée à un point ne doit plus être uniquement celle du tronçon principal de bassin versant, mais celle de l'ensemble des tronçons depuis celui où est le point, jusqu'à celui de l'exutoire final.

Ainsi, une requête SQL peut être écrite pour indiquer au logiciel PostgreSQL, lorsqu'il sélectionne un tronçon, de donner la liste de tous ceux situés en aval. Ensuite, une fusion est réalisée afin de récupérer la géométrie de tous les tronçons, depuis celui sélectionné par le logiciel, jusqu'à celui situé sur l'exutoire final.

Pour la requête SQL, le principe de récursivité est appliqué (annexe n°62). Ce principe permet, dans le cas présent, de récupérer la liste des tronçons en aval d'un autre. Voici le script :

```
DROP VIEW liste_troncons CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW liste_troncons AS
WITH RECURSIVE rec (code_zone_max, code_zone, id_nd_ini, id_nd_fin, geom) AS (
SELECT code_zone, code_zone, id_nd_ini, id_nd_fin, geom
FROM troncon_hydrographique_5_final
UNION ALL
SELECT r.code_zone_max, th.code_zone, th.id_nd_ini, th.id_nd_fin, th.geom
FROM rec AS r
INNER JOIN troncon_hydrographique_5_final AS th ON r.id_nd_fin = th.id_nd_ini)
SELECT row_number()OVER():integer AS gid, * FROM rec
ORDER BY code_zone_max
```

Ici, la requête renvoie une table de 5 colonnes. « code_zone_max » correspond au tronçon sur lequel est effectuée la récursivité. « code_zone » correspond à la liste des tronçons situés en aval. Les colonnes « id_nd_ini » et « id_nd_fin » permettent de définir la condition par égalité des deux. La colonne geom donne la géométrie des tronçons hydrographiques correspondant à la deuxième colonne.

La condition est r.id_nd_fin = th.id_nd_ini. Elle signifie que le logiciel sélectionne une ligne de la table des tronçons hydrographiques dans la partie non-récursive de la requête (au-dessus du « UNION ALL ») et regarde dans la table des tronçons hydrographiques de la partie récursive (en-dessous du « UNION ALL ») combien de fois la jointure peut être effectuée. A chaque fois, il crée une

ligne. Quand il en a fini avec une ligne de la table de la partie non-réursive, le logiciel passe à la suivante et ce jusqu'à la dernière ligne.

« row_number()OVER() » (annexe n°55) crée la numérotation de la requête récursive.

« ORDER BY » (annexe n°42) ordonne la table en sortie en fonction de la colonne « code_zone_max », donc en fonction du tronçon où est effectué la récursivité. Ainsi, pour chaque tronçon, il est affiché la liste de ceux situés en aval.

Le résultat de cette requête est une table de 755 lignes (figure 30) :

gid integer	code_zone_max character varying(4)	code_zone character varying(4)	id_nd_ini numeric(10,0)	id_nd_fin numeric(10,0)	geom geometry(LineString,2154)
480	X347	X350	619000786	614010566	01020000206A0800008501
65	X348	V721	619002712	619003051	01020000206A0800002400
292	X348	V700	614010566	619001184	01020000206A0800005400
149	X348	V730	619003051	619005470	01020000206A0800005D01
358	X348	X350	619000786	614010566	01020000206A0800008501
223	X348	X348	619000784	619000786	01020000206A0800007301
422	X348	V720	619001184	619002712	01020000206A0800005000
66	X350	V730	619003051	619005470	01020000206A0800005D01
150	X350	V720	619001184	619002712	01020000206A0800005000
359	X350	V700	614010566	619001184	01020000206A0800005400
293	X350	X350	619000786	614010566	01020000206A0800008501
224	X350	V721	619002712	619003051	01020000206A0800002400
67	Y400	Y411	620002108	619004753	01020000206A0800005A00

Le tronçon X348 a 6 tronçons en aval.
Leur liste est dans la colonne code_zone.

Le tronçon X350 a 5 tronçons en aval.
Leur liste est dans la colonne code_zone.

Figure 30 : Extrait de la table après l'utilisation d'une requête récursive sur PostgreSQL

La couche des nœuds hydrographiques exutoires finaux est créée en sélectionnant les nœuds hydrographiques manuellement sur la ligne de côte. 10 exutoires finaux sont dénombrés.

A chaque tronçon (code_zone_max) de la requête récursive précédemment réalisée, le tronçon exutoire est joint par une jointure attributaire (annexe n°54). Voici son script :

```
DROP VIEW troncon_plus_exu_finaux CASCADE
CREATE or replace VIEW troncon_plus_exu_finaux AS
SELECT row_number()OVER()::integer AS gid, lt.code_zone_max AS code_zone_extrem, nh.code_zone AS code_zone_exut, nh.geom
FROM liste_troncons AS lt
INNER JOIN noeud_hydrographique_2_exutoires_finaux AS nh
ON (lt.code_zone=nh.code_zone)
ORDER BY code_zone_extrem
```

Cette requête permet d'avoir tous les tronçons (« code_zone_extrem ») avec leurs tronçons finaux correspondant (« code_zone_exut ») sur la même table avec la géométrie des nœuds exutoires finaux (« geom »). Par la suite, la géométrie des tronçons jusqu'à leur exutoire final, puis celles de tous les nœuds hydrographiques seront jointes. Cette requête renvoie à une table de 85 lignes.

Afin de créer la géométrie des tronçons depuis chacun d'entre eux jusqu'aux exutoires finaux, la vue faisant suite à la requête récursive est ouverte sur ArcGIS. Une fusion ArcGIS (annexe n°39) est appliquée sur cette nouvelle couche. Le champ de fusion est code_zone_extrem. La couche en sortie a 85 lignes.

Une correction est apportée sur le format des entités linéaires de ces nouveaux tronçons hydrographique (annexe n°52). Le script est le suivant :

```
ALTER TABLE liste_troncons_fus
ALTER COLUMN geom TYPE geometry(linestring,2154) USING ST_GeometryN(geom, 1)
```

Les trois géométries obtenues dans trois couches différentes sont maintenant rassemblées dans une même table.

Depuis la table où la géométrie des nœuds exutoires finaux est renseignée aux tronçons hydrographiques correspondants, une jointure attributaire PostgreSQL (annexe n°54) est effectuée avec la table donnant la géométrie des tronçons fusionnés jusqu'à leur exutoire final. Voici son script :

```
DROP VIEW troncon_fus_exu_un CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW troncon_fus_exu_un AS
SELECT row_number()OVER()::integer AS gid, tp.__gid AS gid_ex, tp.code_zone_ AS code_zomax,
tp.code_zone1 AS code_zo_ex,
lt.geom, tp.geom AS geom3
FROM troncon_plus_exu_finaux_un AS tp
JOIN liste_troncons_fus AS lt
ON (tp.code_zone_=lt.code_zone_)
```

Les géométries des tronçons hydrographiques jusqu'à leur exutoire final et des nœuds hydrographiques exutoires étant dans la même table, la géométrie de tous les nœuds hydrographiques et points d'intersection y est insérée par jointure attributaire (annexe n°54). Voici le script :

```
DROP VIEW troncon_exu_points CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW troncon_exu_points AS
SELECT row_number()OVER()::integer AS gid, tf.gid_ex, tf.code_zomax, tf.code_zo_ex, ce.id_bdcarth,
tf.geom, ce.geom as geom2, tf.geom3
FROM troncon_fus_exu_un AS tf
JOIN combinaison_entrees_exu AS ce
ON (tf.code_zomax=ce.code_zone)
```

La nouvelle table contient les trois géométries, les identifiants des points avec les tronçons hydrographiques et les exutoires finaux correspondants. La table compte 187 lignes. Tous les points d'intersections d'identifiant 1000000000 à 1000000081 sont présents.

La fonction de calcul de longueur de polygones de PostgreSQL (annexe n°51) III.2.1.3.6) est maintenant appliquée sur la fonction de création de polygone (annexe n°50) selon le script suivant :

```
DROP VIEW distance_exu_points CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW distance_exu_points AS
SELECT gid, id_bdcarth, code_zomax, code_zo_ex, geom, geom2,
ST_Length (ST_Line_Substring (geom, ST_Line_Locate_Point (geom, geom2), ST_Line_Locate_Point (geom,
geom3))) AS distance
FROM troncon_exu_points
```

La nouvelle table contient les champs des identifiants de l'ensemble des points, des zones hydrographiques, des exutoires finaux et la géométrie de l'ensemble des points et des tronçons.

La longueur des tronçons est renseignée dans le champ « distance ». L'explication de ST_Line_Locate_Point est à l'annexe n°56

Afin de désigner le point initial (nœud hydrographique en amont) et le point final (nœud en aval) d'un tronçon, les identifiants de tous les points sont renseignés à chaque tronçon par la jointure spatiale de type ST_DWithin de PostgreSQL (annexe n°63). Cette fonction est utilisée pour joindre la table de l'ensemble des points sur la table des tronçons hydrographiques fractionnés par un rayon de 1 mètre. La valeur de ce rayon est expliquée partie III.2.2.3.3.

Avant de commencer la jointure, il est nécessaire d'ajouter une nouvelle colonne à la table des tronçons hydrographiques fractionnés. Nommée « gid_tr6 » elle permettra de faire le lien avec la colonne « fid » d'ArcGIS et elle sera utilisée comme identifiant du tronçon pour les requêtes SQL à venir. L'annexe n°64 explique la méthode de création de cette colonne.

Voici le script de jointure spatiale ST_DWithin :

```
DROP VIEW points_sur_troncon CASCADE
CREATE or replace VIEW points_sur_troncon as
Select row_number()OVER():integer AS gid, th.gid_tr6, ce.id_bdcarth, ce.code_zone, th.geom, ce.geom as
geom2, th.id_nd_ini, th.id_nd_fin
FROM combinaison_points as ce
inner join troncon_hydrographique_6_fractionnes_restreints as th
ON ST_dwithin(ce.geom, th.geom, 1)
```

La vue créée (explication partie III.2.1.3.2) est « points_sur_troncon ».

Elle compte 379 lignes. Pour chaque tronçon, il est renseigné l'identifiant du point amont et du point aval sur deux lignes dans la colonne « id_bdcarth ». Remarque : les identifiants correspondent aux attributs « id_nd_ini » et « id_nd_fin » de leur tronçon, sauf pour les tronçons ayant subi le fractionnement. Illustration (figure 31) :

gid integer	gid_tr6 integer	id_bdcarth numeric(10,0)	code_zone character varying(4)	geom geometry(MultiLineString,2154)	geom2 geometry(Point,2154)	id_nd_ini numeric(10,0)	id_nd_fin numeric(10,0)
783	326	1000000033	X341	01050000206A08000001000000	01010000206A08000000	614009387	615009013
784	326	1000000066	X341	01050000206A08000001000000	01010000206A08000000	614009387	615009013
90	327	1000000032	X341	01050000206A08000001000000	01010000206A08000000	614009387	615009013
91	327	1000000033	X341	01050000206A08000001000000	01010000206A08000000	614009387	615009013
785	328	615009013	X341	01050000206A08000001000000	01010000206A08000000	615009013	615009662
786	328	615009662	X342	01050000206A08000001000000	01010000206A08000000	615009013	615009662

Figure 31 : Extrait de la table de jointure spatiale entre les tronçons hydrographiques et leurs points respectifs

Afin de renseigner la distance entre les points et leurs exutoires finaux sur cette dernière table, une jointure attributaire PostgreSQL (annexe 54) est effectuée avec la table où les distances ont été calculées. Le champ de jointure est « id_bdcarth ». Voici le script :

```
DROP VIEW distance_points_troncon CASCADE
CREATE or replace VIEW distance_points_troncon as
SELECT row_number()OVER():integer AS gid, pst.gid_tr6, pst.id_bdcarth, pst.code_zone, pst.geom,
pst.id_nd_ini,
pst.id_nd_fin, pst.geom2, dep.distance
FROM points_sur_troncon as pst
inner join distance_exu_points as dep
ON (pst.id_bdcarth=dep.id_bdcarth)
ORDER BY distance
```

La table est la même que la précédente (figure 31) avec une colonne en plus : « distance ».

« ORDER BY » (annexe n°42) permet un tri des lignes de la plus petite distance à la plus grande et donc une sélection grâce à la fonction « Résumés statistiques » d'ArcGIS (annexe n°57) des « id_bdcarth » équivalents aux plus grandes et plus petites distances pour un même tronçon. Le champ « gid_tr6 » est le champ de récapitulation. Les champs statistiques sont remplis comme suit : id_nd_ini = FIRST, id_nd_fin = FIRST, id_bdcarth = LAST, id_bdcarth = FIRST. Cela sert à vérifier que les deux nouvelles colonnes créées à partir du champ « id_bdcarth » sont bien égales aux colonnes

« id_nd_ini » et « id_nd_fin » de la table des tronçons hydrographiques. La table en sortie a 163 lignes.

Par la jointure attributaire d'ArcGIS (annexe n°44), la couche des tronçons hydrographiques fractionnés est jointe avec la couche, précédemment réalisée par la fonction « Résumés statistiques », et par l'égalité des champs « gid_tr6 ». Les lignes jointes sont sélectionnées et une couche est créée. Les colonnes « id_nd_ini » et « id_nd_fin » de la table des tronçons ainsi que toutes les colonnes sauf les deux « id_bdcarth » de la table jointe sont supprimées. Grâce à la fonction de renommage de champ de PostgreSQL (annexe n°66), ces deux colonnes renommées en « id_nd_ini » pour la première et « id_nd_fin » pour la deuxième.

III.2.2.5 Renseignement des identifiants des zones de formation à silex sur tous les tronçons en aval de ceux qui les traversent.

Maintenant que les tronçons hydrographiques sont fractionnés et que les colonnes « id_nd_ini » et « id_nd_fin » sont mises à jour, les zones de formation à silex doivent être renseignées sur les tronçons hydrographiques qui les traversent ainsi que pour ceux situés en aval jusqu'à l'exutoire final.

Pour cela, la liste des tronçons en amont de chaque tronçon est dressée. Ensuite, les zones de formation à silex sont jointes à cette liste.

Pour établir la liste des tronçons en amont, le principe de récursivité (annexe n°62) similaire à celui utilisé dans la partie précédente est appliqué sur la couche des tronçons hydrographiques contenant les colonnes « id_nd_ini » et « id_nd_fin » mises à jour. Voici le script adéquat :

```
DROP VIEW liste_troncon_frac CASCADE
CREATE or replace VIEW liste_troncon_frac AS
WITH recursive rec (gid, gid_tr6_max, gid_tr6, code_zone, id_nd_ini, id_nd_fin, geom) AS (
SELECT gid, gid_tr6, gid_tr6, code_zone, id_nd_ini, id_nd_fin, geom
FROM troncon_hydrographique_7_renomme
UNION ALL
SELECT th.gid, r.gid_tr6_max, th.gid_tr6, th.code_zone, th.id_nd_ini, th.id_nd_fin, th.geom
FROM rec AS r
INNER JOIN troncon_hydrographique_7_renomme AS th ON r.id_nd_ini = th.id_nd_fin)
SELECT * FROM rec
ORDER BY gid_tr6_max
```

Par rapport à la première récursivité, la condition a changé. Elle est passée de $r.id_nd_fin = th.id_nd_ini$ à $r.id_nd_ini = th.id_nd_fin$. Cela permet d'établir la liste des tronçons qui sont au-dessus de celui que le logiciel sélectionne. Aussi, comme ce n'est plus le « code_zone » qui identifie les tronçons fractionnés, mais le « gid_tr6 », ce dernier champ a pris le rôle du « code_zone ». Donc la colonne « gid_tr6_max » identifie le tronçon sur lequel est effectué la récursivité et la colonne « gid_tr6 » donne la liste des tronçons situés en amont.

La table renvoyée contient 2108 lignes.

Il faut tout d'abord renseigner les identifiants des zones de formation à silex sur les tronçons qui les traversent avant de le faire sur tous les tronçons où les silex sont susceptibles d'être diffusés. La jointure spatiale d'ArcGIS (annexe n°67), permet une telle action. En entrée, la couche des tronçons avec les colonnes mises à jour, est insérée. L'entité jointe est la couche des zones de

formation à silex. L'opération de jointure est « JOIN_ONE_TO_MANY ». Les champs « code_zone » et « gid_tr6 » de la couche en entrée et « idf » de la couche en sortie sont conservés. Le type de jointure est « INTERSECT » et le rayon de recherche est -1 mètre. Ce dernier point est essentiel. La notion de contact de cette fonction impose un retrait. Celui-ci, choisi d'un mètre permet un détournement des zones de formation qui ne sont donc plus intersectées que par les tronçons qui les traversent.

Après l'application de cette fonction, une table de 183 lignes est créée. Tous les tronçons hydrographiques y sont représentés. Les identifiants des formations à silex sont donnés aux tronçons qui les intersectent. Si un tronçon traverse plusieurs zones de formation à silex, le logiciel crée autant de lignes que de zones. Toutes les colonnes qui ne sont pas « FID », « shape », « code_zone », « gid_tr6 » et « idf » sont effacées pour plus de clarté.

Une jointure attributaire PostgreSQL (annexe n°54) est utilisée pour joindre la colonne d'identifiant des zones de formation à silex obtenue par la jointure spatiale ArcGIS précédente avec la table de la liste des tronçons en amont obtenue par le principe de récursivité tel qu'exposé au début de cette partie. Voici le script :

```
DROP VIEW troncon_par_formation_aval CASCADE
CREATE or replace VIEW troncon_par_formation_aval AS
SELECT row_number()OVER():integer AS gid, lt.gid_tr6_max AS gid_tr6lis, lt.gid_tr6, tf.code_zone, tf.idf_1
FROM liste_troncon_frac AS lt
LEFT OUTER JOIN troncon_par_formation AS tf
ON (lt.gid_tr6=tf.gid_tr6)
```

La colonne « geom » est volontairement oubliée parce qu'elle renseignerait la liste des tronçons (gid_tr6) et non le tronçon lui-même (gid_tr6lis). Ainsi, une autre jointure attributaire PostgreSQL (annexe n°54) est utilisée pour joindre la géométrie de la table des tronçons hydrographiques à la nouvelle vue en faisant attention que cette géométrie corresponde à la colonne qui renseigne le tronçon sur lequel a été effectué la récursivité (gid_tr6lis). Voici le script :

```
DROP VIEW troncon_par_formation_final CASCADE
CREATE or replace VIEW troncon_par_formation_final AS
SELECT tf.*, th.geom
FROM troncon_par_formation_aval AS tf
JOIN troncon_hydrographique_7_renomme AS th
ON (tf.gid_tr6lis=th.gid_tr6)
```

La table obtenue contient 2409 lignes. Elle est importée sur ArcGIS. La visualisation de la couche permet de vérifier que, pour chaque tronçon sélectionné, la liste de tous les identifiants des zones de formation à silex situés en amont apparaît.

III.2.2.6 Jointure des zones de formation à silex avec les types de silex.

La table des types de silex renferme les caractéristiques propres à chaque type de silex sous 27 champs différents. Elle n'est pas encore complète pour la zone étudiée mais elle contient déjà huit types de silex (voir la table sur l'annexe n°68). Ils sont issus de l'analyse opérée par M. Antonin Tomasso dans le cadre de sa thèse.

Comme un même type de silex peut être présent dans plusieurs zones de formation et qu'une même zone de formation peut regrouper plusieurs types de silex, il est nécessaire de créer une troisième table rassemblant tous les cas possibles de combinaison types de silex / zone de formation.

Cette table est présente en annexe n°69 et a été réalisée par Jean-Baptiste Caverne grâce au logiciel QGIS interopérable dans le cadre de ce projet.

La jointure attributaire PostgreSQL (annexe n°54) permet de renseigner les types de silex sur chaque tronçon hydrographique. Elle est faite entre la table des tronçons liés aux zones de formation à silex et celle des combinaisons silex / formation après l'avoir importée sur pgAdmin. Comme cette table n'est pas une couche SIG, il faut la convertir en .dbf depuis open office. L'outil d'importation de PostgreSQL (annexe n°40) est ensuite utilisé. La seule différence avec l'importation d'une couche SIG se trouve dans la fenêtre « Option... ». Les deux cases cochées sont décochées et la case à côté de « Load only attribute (dbf) data » est cochée. Voici le script de la jointure :

```
DROP VIEW troncons_typees CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW troncons_typees AS
SELECT row_number()OVER()::integer AS gid_ft, ctf.type, tf.*
FROM troncon_par_formation_final AS tf
LEFT OUTER JOIN combinaison_types_formation AS ctf
ON (tf.idf = ctf.idf)
```

Cette requête joint les deux tables par le champ idf (identifiant des zones de formation à silex). Le champ d'identifiant des types de silex (« type ») est ainsi accolé à la table des tronçons liés aux formations.

Afin de visualiser les polygones des zones de formation à silex contenant les 8 types de silex, une jointure attributaire PostgreSQL (annexe n°54) entre la table des combinaisons et celle des zones de formation accole la colonne de géométrie de cette deuxième table à la première.

Voici le script :

```
DROP VIEW formations_typees CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW formations_typees AS
SELECT row_number()OVER()::integer AS gid, fs.idf_1 as idf, ctf.type, fs.geom
FROM combinaison_types_formation AS ctf
JOIN formations_silex_paca_tab_3 AS fs
ON (ctf.idf = fs.idf_1)
```

La vue créée et la précédente sont importées dans ArcGIS.

La table est complète et peut être interrogée. Elle laisse beaucoup de perspectives, certains aspects sont exploités dans la partie suivante.

III.3 La représentation de la diffusion du silex

La carte thématique présentée en annexe n° 70 regroupe la diffusion théorique de deux types de silex, des zones primaires, où ils sont formés, en passant par les zones secondaires et jusqu'à l'exutoire final (annexe n°71). Il s'agit d'un exemple du potentiel induit par cette carte consultable.

La carte thématique permet de croiser les calculs théoriques avec la répartition des zones allochtones issues des prospections. Les formations secondaires devront être traversées par les zones de diffusion théorique. Dans le cas contraire ou si ces zones secondaires sont situées en amont de zones primaires et que les calculs sont cohérents, alors il s'agit d'un indice pour une analyse géomorphologique d'un paléo écoulement.

Conclusion

Ce mémoire est le prolongement de la thèse de M. Paul Fernandes sur les « Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen ». L'auteur constate que l'analyse précise des transformations à la surface des silex permet d'assigner à l'objet une position paléogéographique et une histoire relative aux lieux de résidence successifs.

Un silex est dès lors inscrit dans un itinéraire qui permet de mieux appréhender les lieux de collecte. Ce travail consiste à cartographier cette démarche dynamique.

Ce projet a créé un nouvel outil cartographique raisonné au service de l'archéologie. S'il en est encore à ses débuts, il ouvre déjà de nouvelles perspectives.

Le Mont Ventoux a été choisi comme premier lieu d'étude car ce massif est une des régions de France les plus riches en silex et pour son intérêt préhistorique auprès des archéologues. En effet, le Néolithique final est marqué par une forte diffusion anthropique d'un silex particulier, le silex barrémo-bédoulien du Vaucluse dit silex « blond bédoulien ». Ce silex, propice à tous les types de taille et d'une beauté particulière, était très recherché à cette époque, du nord-est de l'Espagne jusqu'à la Suisse en passant par le Nord-Ouest de l'Italie.

Un travail de numérisation des zones de formation à silex du Mont Ventoux, avec une précision au 1/10 000 (soit à 100 mètres près) et une géolocalisation en Lambert 93, a d'abord été pratiqué sur le logiciel de SIG ArcGIS depuis les cartes du BRGM au 1/50 000.

L'inventaire de ces zones a ensuite été réalisé sur Microsoft Excel, puis introduit dans le SIG. Ainsi, pour chaque zone de formation à silex dessinée, ses caractéristiques sont données dans la table attributaire de la couche. Des cartes thématiques selon les séries/étages et la position du silex ont été tirées de ce SIG. Le protocole de toutes ces étapes est écrit dans ce mémoire.

Une évaluation de la volumétrie du travail a ensuite été réalisée. Elle indique que le meilleur moyen pour estimer le temps de numérisation découle de la connaissance préalable du périmètre des zones de formation à silex. Cette grandeur est la plus pertinente car elle est directement liée au travail de numérisation, c'est-à-dire au nombre de clics souris.

A partir de cette numérisation, une analyse cartographique a été effectuée avec deux objectifs auxquels elle a répondu :

- définir le parcours théorique d'un type de silex de son ou de ses gîtes primaires aux formations secondaires les plus distales.
- établir la liste des différents types de silex pouvant théoriquement atteindre un même lieu.

Ce travail a été réalisé grâce aux fonctions d'analyse du logiciel SIG ArcGIS présentes dans l'application ArcToolbox. Le système de gestion de base de données (SGBD) PostgreSQL a aussi été utilisé. Ses requêtes en langage SQL servent de complément aux fonctions d'ArcGIS lorsque leurs limites sont atteintes.

En plus des zones de formation à silex précédemment créées et de la table des types de silex issue de recherches pétrologiques, le réseau hydrographique du sud-est de la France, contenu dans la base de données Carthage de l'IGN, a été employé. Les bassins versants, les cours d'eau, les tronçons hydrographiques et les nœuds hydrographiques de cette base de données ont été nécessaires. La méthodologie pour répondre aux objectifs est la suivante :

- les tronçons hydrographiques sont réduits aux tronçons principaux des bassins versants : un bassin versant contient un cours d'eau qui court de son amont à son exutoire. Les extrémités de ces tronçons correspondent aux nœuds hydrographiques choisis pour ce projet.

- les tronçons hydrographiques sont ensuite fractionnés selon les zones de formation à silex qu'ils traversent.

- à chaque tronçon sont renseignés les identifiants de la totalité des zones de formation à silex traversés par les cours d'eau situés en amont. Cette étape permet de diffuser l'identifiant des zones de formation jusqu'à l'exutoire final.

- les identifiants des types de silex sont intégrés à chaque tronçon hydrographique par correspondance avec leurs zones de formation à silex. Les types de silex sont ainsi diffusés de leur lieu de formation jusqu'à l'exutoire final.

La carte de diffusion a alors été créée à partir de l'exemple de deux types de silex. Elle permet de visualiser instantanément les parcours que peuvent prendre les silex lors de leur transport par les différents cours d'eau.

Enfin, ce travail a été diffusé par l'intermédiaire d'ArcGIS Online. Cette fonctionnalité d'ArcGIS permet de porter tout projet SIG à la connaissance d'un groupe de professionnels intéressés ou du grand public. La symbologie applicable et la possibilité de faire apparaître des fenêtres contextuelles servent à rendre le projet attrayant.

Résultats, limites et perspectives

Ce projet a un format contraignant, les 5 mois de stage. Ils n'autorisent pas un travail complet. Les résultats sont encore théoriques et les modèles utilisés ont besoin d'être précisés, améliorés et élargis. Les bases de l'outil cartographique sont néanmoins créées, d'importantes solutions sont trouvées et des perspectives sont ouvertes :

- la limitation de la zone d'étude au seul Mont Ventoux ne permet pas de savoir si l'outil cartographique réalisé est opérationnel dans tous les cas. Néanmoins, les professionnels à l'origine de ce projet et plus particulièrement Paul Fernandes possèdent des données exhaustives sur d'autres zones et notamment en Auvergne. L'outil cartographique sera étendu à ces zones selon la méthode décrite dans ce mémoire.

- la limitation aux seuls tronçons hydrographiques principaux des bassins versants induit que la majorité des zones de formation à silex de cet outil cartographique ne sont pas pris en compte. Une prochaine étape consistera à étendre le projet à tous les tronçons hydrographiques de la zone étudiée. Un plus grand nombre de types de silex interviendront et donc plus de lieux de collectes probables par l'homme préhistorique seront repérables.

- ce projet ne travaille pas non plus sur les zones de formation à silex que ne traversent aucun cours d'eau. Les silex qui s'y trouvent se déplacent pourtant. D'autres mécanismes géologiques sont en œuvre : éboulements de terrain, ruissellements faisant suite à des précipitations. Il est donc nécessaire d'étudier la topographie locale de ces lieux en créant des modèles de lignes de plus grande pente. La base de données ALTI de l'IGN est intéressante pour cela. Elle offre la possibilité de télécharger le MNT (modèle numérique de terrain) de la France à différents pas. Le MNT correspond à un maillage de la France où chaque point est connu en altitude. Le pas est la distance horizontale entre chaque maille. Les pas proposés sont : 25 m, 75 m, 250 m, 500 m, 1000 m. Dans le cas présent, les zones de formation à silex étant numérisées à 100 m près, le pas de 75 m pourrait suffire. Néanmoins, certaines zones ayant une largeur bien inférieure à 100 m, le pas de 25 m semble le plus pertinent. De plus, malgré son caractère payant, le partenariat public/privé de ce projet devrait permettre de l'obtenir gratuitement.

- une application ArcGIS Online peut être créée afin que les archéologues, géologues et pétrologues en prospection sur le terrain mettent à jour en temps réel la carte du projet grâce à

l'utilisation d'un portable ou d'une tablette et d'un GPS. Les modèles proposés par ArcGIS ne sont pas adaptés à la géologie. C'est pourquoi il est nécessaire d'en télécharger un, d'entrer dans son code et de créer une application personnalisée à l'outil cartographique de diffusion des silex. Pour cela, il est nécessaire de maîtriser trois langages de programmation : le html, le CSS et le java script.

J'ai donc créé un outil cartographique harmonisé, raisonné et dynamique utilisable par tous les archéologues. De nombreuses voies sont à creuser dont certaines pourraient pousser d'autres élèves de l'ESGT à intervenir dans ce projet, fort de leur maîtrise du SIG ainsi que des langages de programmation indispensables à la création de l'application.

Ce stage a été très prenant. J'ai découvert tout un univers, fait de personnalités passionnantes et passionnées. Le monde de la géologie, de la pétrologie et de l'archéologie est un monde à part. Par son immersion dans l'histoire de l'homme et de la planète, il provoque une réflexion sur soi-même, sur la place de l'homme dans l'univers et sur le monde qui nous entoure. Cette expérience me marquera longtemps, très longtemps...

Glossaire

¹**Archéologie préventive** : elle a pour vocation de préserver et d'étudier les éléments significatifs du patrimoine archéologique menacés par des travaux d'aménagement. Elle peut impliquer la mise en œuvre de diagnostics archéologiques (sondages), de fouilles (fouilles de sauvetage ou fouilles préventives) et dans certains cas, de mesures de sauvegarde.

²**Lithique** : Relatif à l'industrie préhistorique de la pierre

³**Paléogéographie** : discipline scientifique géologique, géographique et paléontologique. Elle vise à reconstruire la géographie de la Terre à travers les différentes ères géologiques.

⁴**Péetroarchéologie** : discipline scientifique. Elle utilise les outils de caractérisation minéralogique, pétrographique et micropaléontologique pour déterminer les milieux de genèse des roches.

⁵**Péetrologie** : étude des mécanismes physiques, chimiques et biologiques qui sont à l'origine de la formation et de la transformation des roches à travers leur distribution, leur structure, leur constitution et leurs propriétés.

⁶**Distal** : objet le plus éloigné dans l'espace.

⁷**BD_Carthage** : base de données complète du réseau hydrographique français. Elle est issue de l'IGN.

⁸**Pédologie** : étude des sols et de leur évolution selon leurs caractères morphologiques, physiques et chimiques.

⁹**Morphologie** : étude des caractéristiques, de la configuration et de l'évolution des terrains et des roches.

¹⁰**Néolithique** : période de la préhistoire comprise entre le mésolithique et l'âge des métaux de -6 500 à -3 950. Révolution néolithique : arrivée de l'agriculture et de l'élevage. Âge de la pierre polie (haches).

¹¹**Barrémien** : quatrième étage stratigraphique du Crétacé inférieur.

¹²**Bédoulien** : premier sous-étage de l'Aptien, qui est le cinquième étage stratigraphique du Crétacé inférieur.

¹³**Chasséen** : culture préhistorique du Néolithique moyen comprise entre -4 200 et -3 500. Elle tire son nom du site de Chassey-le-Camp en Saône-et-Loire.

¹⁴**Débitage lamellaire/laminaire** : l'une des opérations de taille : production d'éclats, de lames (laminaire), ou de lamelles (lamellaire) destinés à être utilisés, à partir d'un bloc ou fragment de roche dure.

¹⁵**Lambert 93** : la projection Lambert 93 est une projection cartographique qui définit le système de coordonnées légal français.

¹⁶**Lambert 2** : la projection Lambert 2 est une projection cartographique qui définissait le système de coordonnées légal de la France avant que le Lambert 93 ne le supplante.

¹⁷**WMS (Web Map Service)** : protocole de communication standard qui permet d'obtenir des cartes de données géoréférencées à partir de différents serveurs de données sur le web.

¹⁸**BD_TOPO** : modélisation vectorielle 3D des éléments du territoire et de ses infrastructures avec les adresses et de précision métrique. Cette base de données est issue de l'IGN.

¹⁹**BLOB (Binary Large Object)** : données stockées sous forme d'une longue séquence de nombres binaires. ArcGIS utilise ce format pour stocker des images, des éléments multimédias ou des parties de codes. C'est aussi le terme que le logiciel affiche lorsque l'attribut d'une table attributaire dépasse les 255 caractères.

²⁰**ESRI (Environmental Systems Research Institute)** : société fondatrice du concept des logiciels SIG. C'est elle qui développe le logiciel ArcGIS.

²¹**SANDRE (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau)** : ce service établit et met à disposition le référentiel des données sur l'eau.

²²**Langage SQL** : langage informatique normalisé servant à exploiter des bases de données.

Liste des Abréviations

BLOB :	Binary Large Object
BRGM :	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS :	Banque du Sous-Sol
CEPAM :	Cultures et Environnements Préhistoire, Antiquité, Moyen-âge
CMJN :	Cyan Magenta Jaune Noir
ESGT :	École Supérieure des Géomètres et Topographes
ESRI :	Environmental Systems Research Institute
GPS :	Global Positioning System
INRAP :	Institut National de Recherches Archéologiques Préventives
MEB :	Microscope Électronique à Balayage
MNT :	Modèle Numérique de Terrain
PACA :	Provence-Alpes-Côte D'Azur
RVB :	Rouge Vert Bleu
SARL :	Société à responsabilité limitée
SANDRE :	Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau
SGBD :	Système de gestion de base de données
SQL :	Structured Query Language
TFE :	Travail de Fin d'Études
WMS :	Web Map Service

Bibliographie

- Fernandes, 2012** - *Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie refondée, application au Paléolithique moyen*, Thèse, Bordeaux I, 623 p.
- Fernandes et al, 2013** - *Une carte et une base de données pour les formations à silex du sud de la France : un outil pour la pétroarchéologie*, Paléo, n°24, p. 219 à 228.
- Fernandes et al, 2012** - *Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes*, région Rhône-Alpes, Lyon, SRA Rhône-Alpes, rapport inédit, PCR, 2012, 327 p.
- Binder, 1998** - Silex Blond et complexité des assemblages lithiques dans le Néolithique Liguroprovençal, in Dir. A. D'Anna, D. Binder (Ed.) *Production et identité culturelle. Actualité de la recherche*, Antibes, APDCA, p. 111-128.
- Léa, 2005** - *Raw, Pre-heated or ready to use : discovering specialist supply systems for flint industries in mid-Neolithic (Chasséen) communities in southern France*, Antiquity, vol. 79 p.51-65.
- Léa, 2004** - *Centres de production et diffusion des silex bédouliens au Chasséen*, Gallia Préhistoire, t. 46, CNRS édition, p. 231-250.
- Léa et al, 2007** - *Le Chasséen méridional à Lamelles d'Arnal : évolution de notre perception des industries lithiques*, In *26^{ème} Congrès de la Société Préhistorique Française - 20-25 septembre 2004 Avignon*, supplément BSPF, vol. III, Paris, 2007. p. 263-276.
- Milot, 2010-2011** - *Approche de la spécialisation artisanale au Néolithique par la caractérisation pétrographique et minéralogique des silex barrémo-bédouliens du Vaucluse*, UFR, Sciences Vie-Terre-environnement, 2e année, 51 p.

Table des figures

Figure 1 : Extrait de la carte n° 915 du BRGM au 1/50 000.....	- 7 -
Figure 2 : Extrait de la carte n°915 du BRGM au 1/50 000 projetée au 1/10 000 sur le logiciel ArcGIS.....	- 8 -
Figure 3 : Exemple de superposition d'une carte .tif convertie en Lambert 93 au 1/50 000 avec la carte WMS en Lambert 93 au 1/50 000 projetée sur le logiciel ArcGIS au 1/10 000.....	- 8 -
Figure 4 : Schéma de la couche des zones de formation à silex sur ArcGIS.....	- 10 -
Figure 5 : Schéma de la carte d'assemblage des cartes géologiques au 1/50 000 issue du WMS du BRGM sur ArcGIS.....	- 10 -
Figure 6 : Schéma de la carte d'assemblage des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000 issue du WMS du BRGM sur ArcGIS.....	- 11 -
Figure 7 : Schéma de la carte géologique image de la France au 1/50 000 issue du WMS du BRGM sur ArcGIS.....	- 11 -
Figure 8 : extrait d'une carte géologique image de la France au 1/50 000 issue du WMS du BRGM sur ArcGIS.....	- 12 -
Figure 9 : Extrait de l'illustration de M. Pascal Tallet et de sa notice technique.....	- 13 -
Figure 10 : Exemple de numérisation d'une zone n4-5 sur ArcGIS.....	- 13 -
Figure 11 : Extrait de l'illustration de M. Pascal Tallet, centrée sur la zone 13-28.....	- 14 -
Figure 12 : Sélection des zones 13-28 (d'acronyme N4U1a) sur la couche des zones de formation à silex superposée au WMS de la couche de la carte géologique du BRGM au 1/50 000 sur ArcGIS.....	- 14 -
Figure 13 : Schéma d'explication de la dénomination d'un polygone sur ArcGIS.....	- 15 -
Figure 14 : Extrait de la caractérisation des zones de formation à silex l'illustration de M. Pascal Tallet sur tableur.....	- 16 -
Figure 15 : Schéma pour figer la première ligne sur Microsoft Excel.....	- 17 -
Figure 16 : Schéma des noms des nouvelles colonnes COMMUNE et INFORMATIONS_GEOLOGIQUES sur Microsoft Excel.....	- 18 -
Figure 17 : Schéma d'un extrait de la notice écrite par MM. Paul Fernandes et Pascal Tallet sur Microsoft Word.....	- 18 -
Figure 18 : Superposition des polygones obtenus par le travail de Paul Fernandes et de Pascal Tallet (en vert) et de ceux obtenus par le travail d'Antonin Tomasso (en rouge) sur ArcGIS.....	- 20 -
Figure 19 : Extrait de la carte du projet sur ArcGIS Online.....	- 23 -
Figure 20 : Représentation schématique d'un bassin-versant et des différents types de transport entre gîte primaire, gîte secondaire et site archéologique.....	- 26 -
Figure 21 : Schéma d'explication du choix du champ CODE_HYDRO comme champ de fusion sur ArcGIS.....	- 28 -
Figure 22 : Schéma d'explication du choix du champ CODE_HYDRO comme champ de fusion sur ArcGIS.....	- 29 -
Figure 23 : Schéma de l'extrait de la jointure entre les tronçons et les zones hydrographiques sur ArcGIS.....	- 30 -
Figure 24 : Illustration de la première erreur sur un tronçon hydrographique principal de bassins versants sur ArcGIS.....	- 30 -
Figure 25 : Illustration de la deuxième erreur sur un tronçon principal de bassins versants sur ArcGIS.....	- 31 -
Figure 26 : Illustration de la troisième erreur sur une mauvaise jonction entre deux tronçons hydrographiques principaux de bassins versants sur ArcGIS.....	- 31 -
Figure 27 : Extrait de la table regroupant les trois géométries sur PostgreSQL : « geom » est la géométrie des tronçons hydrographiques, « geom_2 » est la géométrie des points d'intersection et « geom_3 », celle des nœuds hydrographiques exutoires.....	- 34 -
Figure 28 : Extrait de la table des distances entre les points d'intersection et les nœuds hydrographiques exutoires sur PostgreSQL.....	- 35 -
Figure 29 : Explication de l'utilisation de la fonction « Résumés statistiques » pour le choix des points d'intersection d'entrée sur ArcGIS.....	- 35 -
Figure 30 : Extrait de la table après l'utilisation d'une requête récursive sur PostgreSQL.....	- 38 -
Figure 31 : Extrait de la table de jointure spatiale entre les tronçons hydrographiques.....	- 40 -

Annexes

Annexe n°1 : Zone d'étude

Annexe n°2 : Création de la couche des zones de formation à silex

Annexe n°3 : Provenance et insertion des différentes couches WMS dans ArcGIS

Annexe n°4 : Dessiner des polygones sur ArcGIS.

Annexe n°5 : extraction d'une surface à l'intérieur d'un polygone

Annexe n°6 : dessiner deux polygones côte-à-côte

Annexe n°7 : les outils d'accrochage aux objets

Annexe n°8 : Dissocier un polygone multi-partie

Annexe n°9 : Mise en place du site internet InfoTerre avant l'inventaire

Annexe n°10 : Echelle des temps géologiques

Annexe n°11 : Carte d'assemblage des cartes géologiques au 1/50 000

Annexe n°12 : Utilisation du site internet d'InfoTerre pour caractériser le lieu

Annexe n°13 : Jointure de l'inventaire avec la table attributaire

Annexe n°14 : Comparaison de la table attributaire de la couche avec l'inventaire

Annexe n°15 : Correction du décalage entre les deux colonnes IDF

Annexe n°16 : Outil de vérification de la jointure attributaire d'ArcGIS

Annexe n°17 : Carte des zones de formation à silex

Annexe n°18 : Protocole de calcul de la longueur totale des périmètres des 1837 polygones des zones de formation à silex

Annexe n°19 : Carte des zones de formation à silex en fonction des séries et des étages

Annexe n°20 : Carte des zones de formation à silex en fonction de la position du silex

Annexe n°21 : Création d'une symbologie sur ArcGis en fonction des séries et des étages.

Annexe n°22 : Description colorimétrique des séries et étages

Annexe n°23 : Application du code couleur des séries et des étages sur la symbologie

Annexe n°24 : Enregistrement d'une symbologie pour réutilisation

Annexe n°25 : Création de cartes thématiques

Annexe n°26 : Importation de couches SIG et de WMS

Annexe n°27 : Création d'une symbologie sur ArcGIS Online

Annexe n°28 : Création de fenêtres contextuelles sur ArcGIS Online

Annexe n°29 : Explication BDCARTHAGE

Annexe n°30 : Explication des champs de la table des zones hydrographiques

Annexe n°31 : Explication des champs de la table des tronçons hydrographiques

Annexe n°32 : Explication des champs de la table des cours d'eau

Annexe n°33 : Explication des champs de la table des noeuds hydrographiques

Annexe n°34 : Interface pgAdmin III

Annexe n°35 : Sélectionner selon les attributs

Annexe n°36 : Sélectionner selon l'emplacement

Annexe n°37 : Découper

Annexe n°38 : Tri des cours d'eau par leur nature

Annexe n°39 : Fusionner

Annexe n°40 : Importation d'une couche SIG sur pgAdmin

Annexe n°41 : Création d'une vue

Annexe n°42 : ORDER BY

Annexe n°43 : Renommage d'un champ d'une table

Annexe n°44 : jointure attributaire

Annexe n°45 : Annulation d'une jointure

Annexe n°46 : Fractionner des lignes par des points

Annexe n°47 : Combiner

Annexe n°48 : Intersecter

Annexe n°49 : Multi-parties vers une partie

Annexe n°50 : Création d'une polyligne entre deux points situés sur une même polyligne

Annexe n°51 : Calcul de la longueur d'une polyligne

Annexe n°52 : Conversion du type d'une polyligne de « Multilinestring » à « Linestring »

Annexe n°53 : Ajout du champ code_zone à une couche SIG

Annexe n°54 : Jointure attributaire

Annexe n°55 : Fonction de numérotation

Annexe n°56 : Fonction de localisation d'un point sur une polyligne

Annexe n°57 : Résumés statistiques

Annexe n°58 : Création de la couche des sources hydrographiques

Annexe n°59 : Sommets d'entités vers points

Annexe n°60 : Création d'une couche regroupant les noeuds exutoires, les sources hydrographiques et les points d'entrée

Annexe n°61 : Jointure spatiale (ST_Intersects)

Annexe n°62 : Le principe de récursivité

Annexe n°63 : Jointure spatiale (ST_DWithin)

Annexe n°64 : Création de la colonne « gid_tr6 » dans la table des tronçons hydrographiques fractionnés

Annexe n°65 : Créer une colonne dans une table

Annexe n°66 : Mettre à jour une colonne d'une table

Annexe n°67 : Jointure spatiale

Annexe n°68 : Table des types de silex

Annexe n°69 : Combinaison types de silex / zones de formation

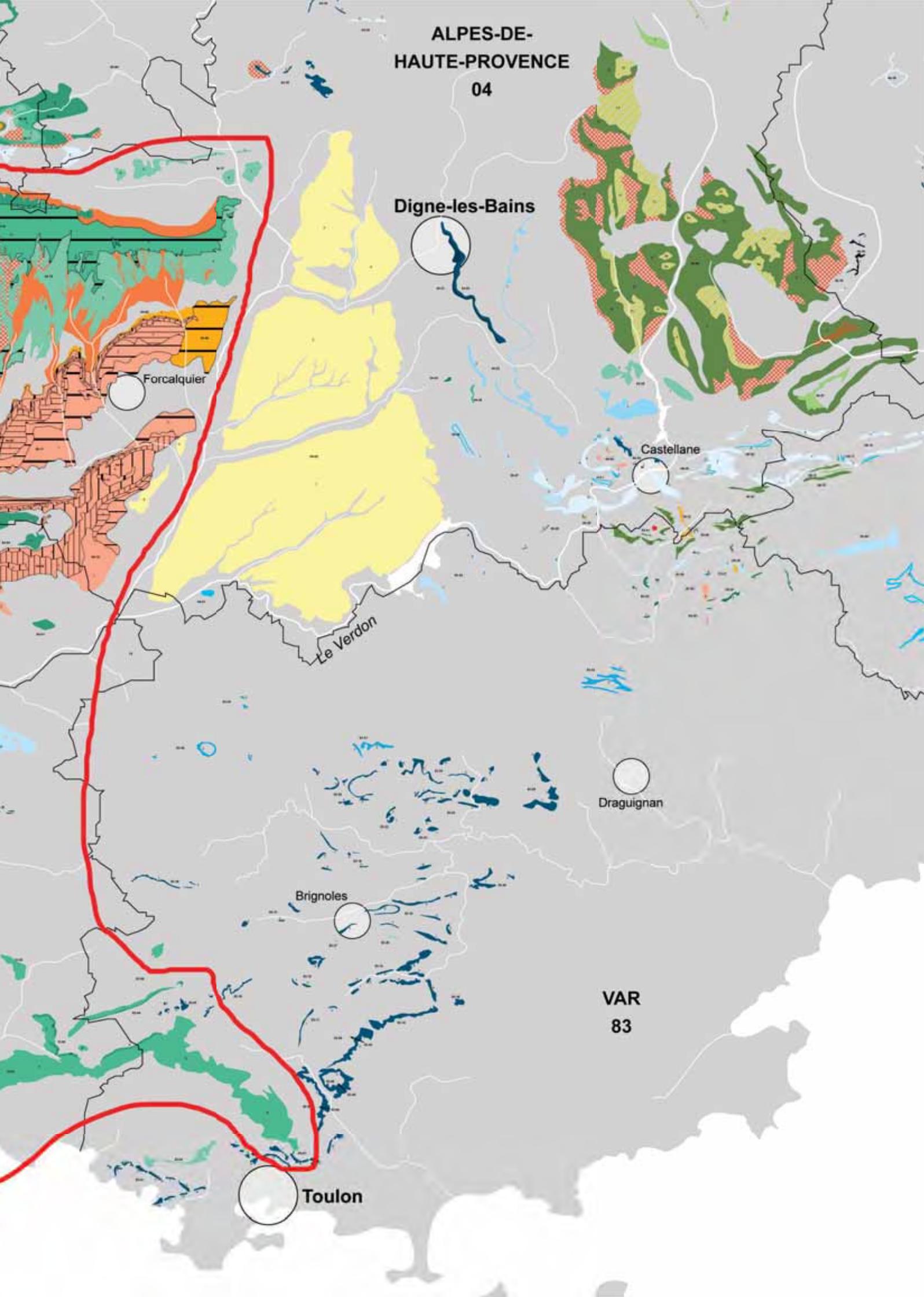
Annexe n°70 : Carte de diffusion des types de silex

Annexe n°71 : méthodologie de la création de la carte de la diffusion des types de silex

Annexe n°72 : Effacer

Annexe n°73 : Zone tampon

**ALPES-DE-
HAUTE-PROVENCE**
04



Digne-les-Bains

Forcalquier

Castellane

Le Verdon

Draguignan

Brignoles

VAR
83

Toulon

Annexe n°2 : Création de la couche des zones de formation à silex

Après l'ouverture d'ArcGIS, l'onglet « Fenêtres » permet d'afficher « Catalogue » qui correspond à la fenêtre ArcCatalog. Schéma :

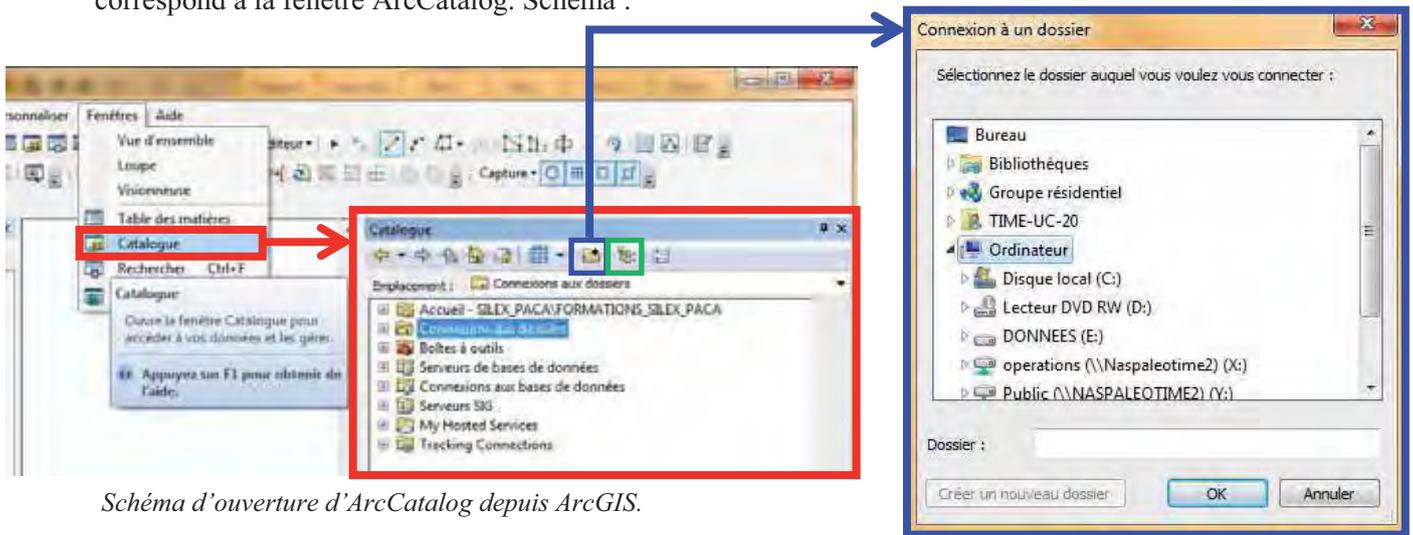


Schéma d'ouverture d'ArcCatalog depuis ArcGIS.

Par l'outil de connexion aux dossiers (encadré en bleu sur le schéma, ci-dessus), le chemin pour placer le shapefile de la couche de formation à silex dans l'ordinateur est sélectionné. Par l'outil d'activation/désactivation du volet Contenu (encadré en vert sur le schéma ci-dessus) une double-fenêtre s'affiche pour ArcCatalog. L'une (celle du haut) servant à afficher le chemin des fichiers et l'autre (celle du bas) servant à afficher le contenu du fichier sélectionné, comme on peut le voir sur l'impression d'écran de gauche de la figure ci-dessous. Après avoir cliqué avec le bouton droit de la souris dans la fenêtre du bas d'ArcCatalog, suivre le schéma ci-dessous. Il est à lire de gauche à droite, dans l'ordre des couleurs (rouge, bleu puis vert) et des flèches. Ensuite, après validation, la couche est créée.

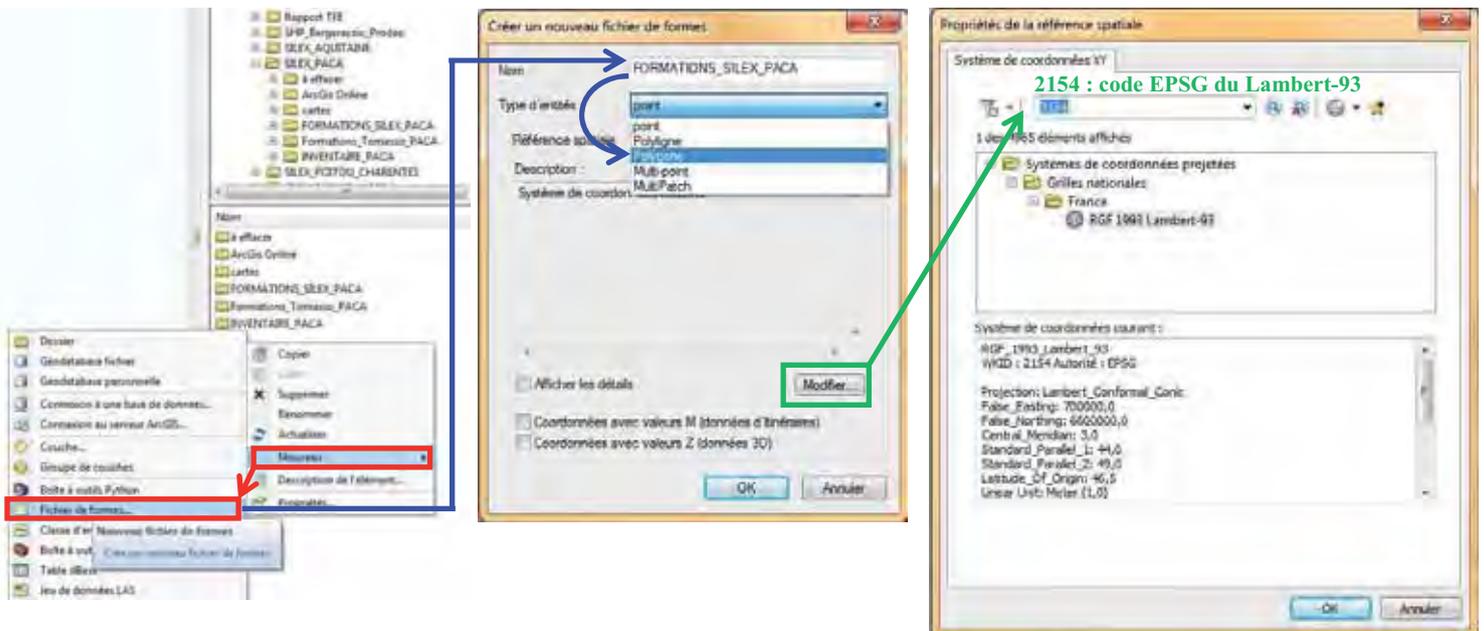


Schéma de création d'une couche sur ArcGIS.

Annexe n°3 : Provenance et insertion des différentes couches WMS dans ArcGIS

Les services du BRGM ont mis en ligne un certain nombre de WMS : la géologie, les risques et l'ODMGM (Observatoire Des Matériaux - Granulats Marins). Ils sont disponibles sur le site : <http://infoterre.brgm.fr/geoservices-ogc>.

L'adresse du lien ci-après fait apparaître sur ArcGIS le WMS de la géologie : <http://geoservices.brgm.fr/geologie>. Par le biais de l'application ArcCatalogue d'ArcGIS, les couches sont intégrées au logiciel. Schéma :

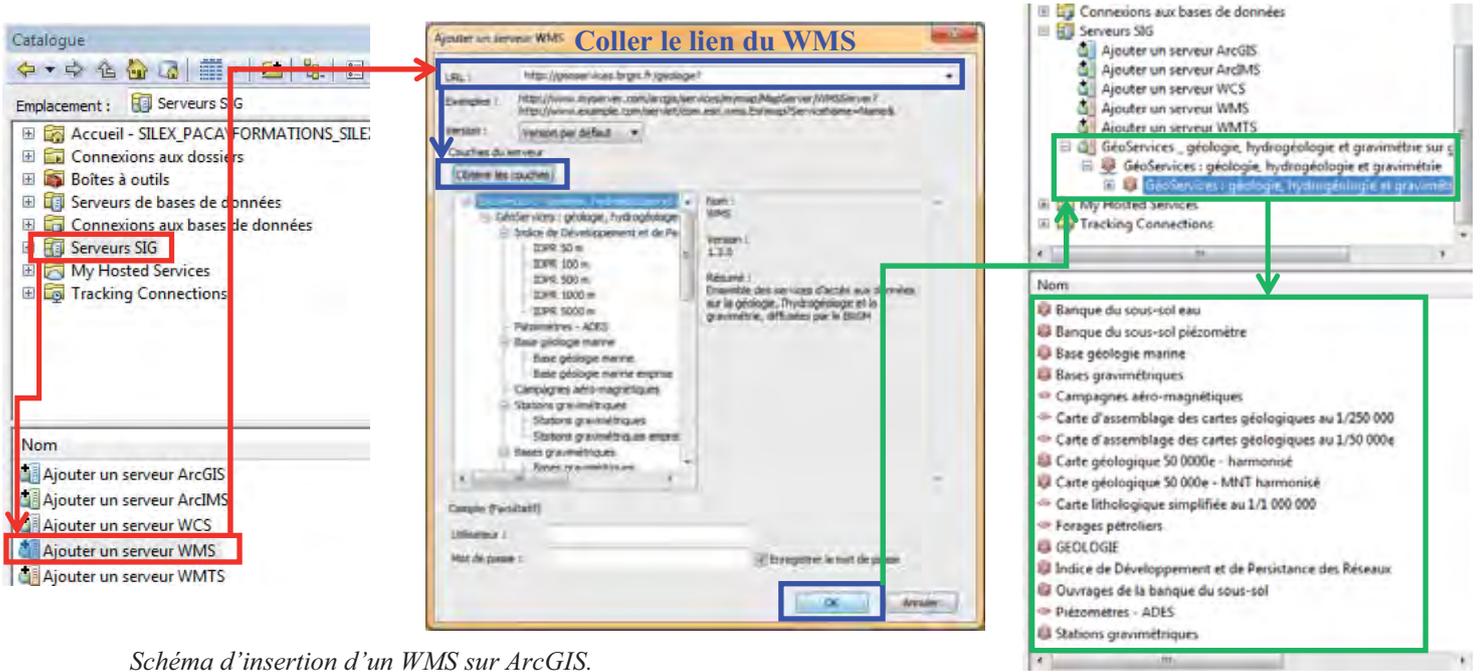


Schéma d'insertion d'un WMS sur ArcGIS.

Annexe n°4 : Dessiner des polygones sur ArcGIS.

Pour dessiner des polygones sur ArcGIS, il est nécessaire, tout d'abord, de rendre éditable la couche sur laquelle ils seront représentés.

La barre d'outils « Éditeur » est donc affichée par le clic droit de la souris sur la zone qui accueille les barres d'outils. Schéma :

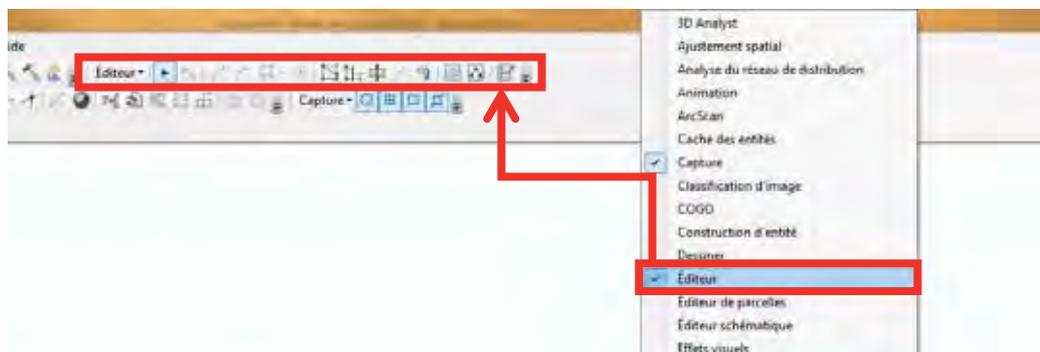


Schéma de l'insertion de la barre d'outils Éditeurs dans ArcGIS.

Le bouton « Éditeur » de cette barre d'outils permet ensuite d'accéder à la fonction « Ouvrir une session de mise à jour ». Une fenêtre s'affiche, elle est validée après sélection du nom de la couche à rendre éditable. Sur la fenêtre « Créer des entités », le clic se fait sur le nom de cette couche, puis sur « Polygone ». Le curseur change de forme et les polygones peuvent être tracés. Schéma :

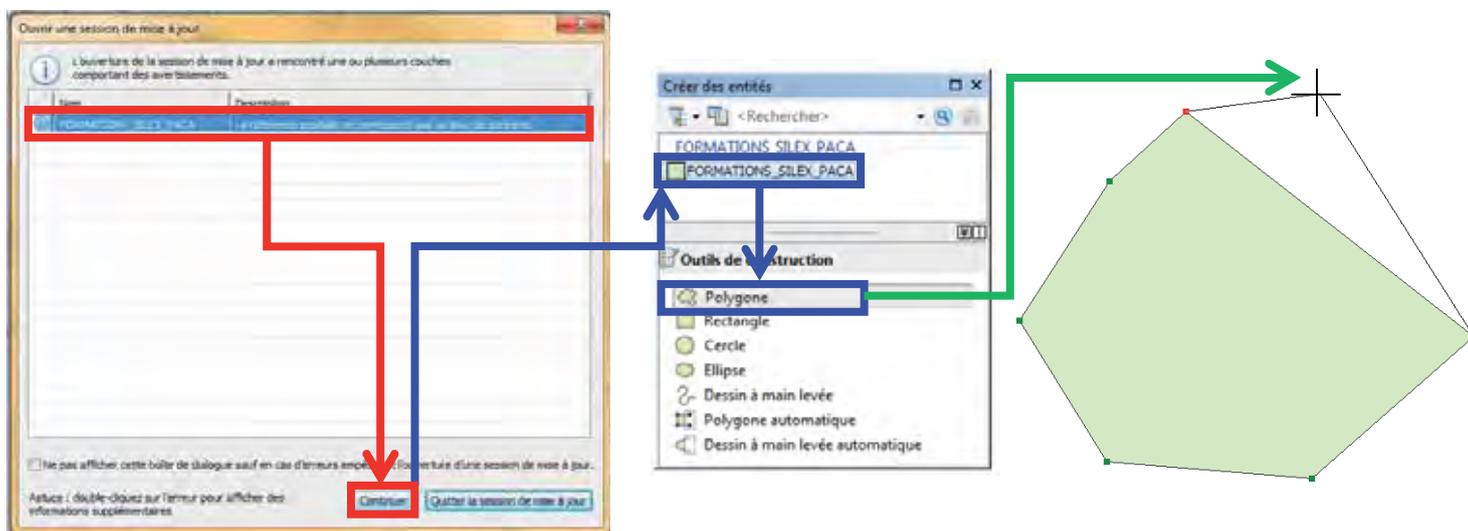


Schéma de l'ouverture de la session de mise à jour et pour qu'apparaisse le curseur de dessin de polygone sur ArcGIS.

Annexe n°5 : extraction d'une surface à l'intérieur d'un polygone

L'outil de découpage d'ArcGIS permet d'extraire une surface à l'intérieur d'un polygone. Il faut, pour cela, sélectionner le polygone intérieur par le clic gauche de la souris. Ses contours apparaissent alors en bleu ciel. Ensuite suivre le schéma ci-joint. Ces actions effectuées, le polygone interne est supprimé ou non s'il représente une zone de formation à silex ou non.

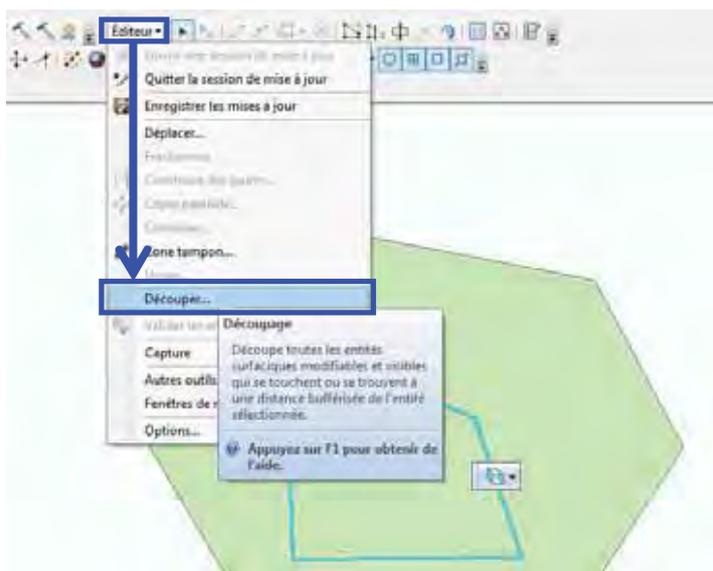
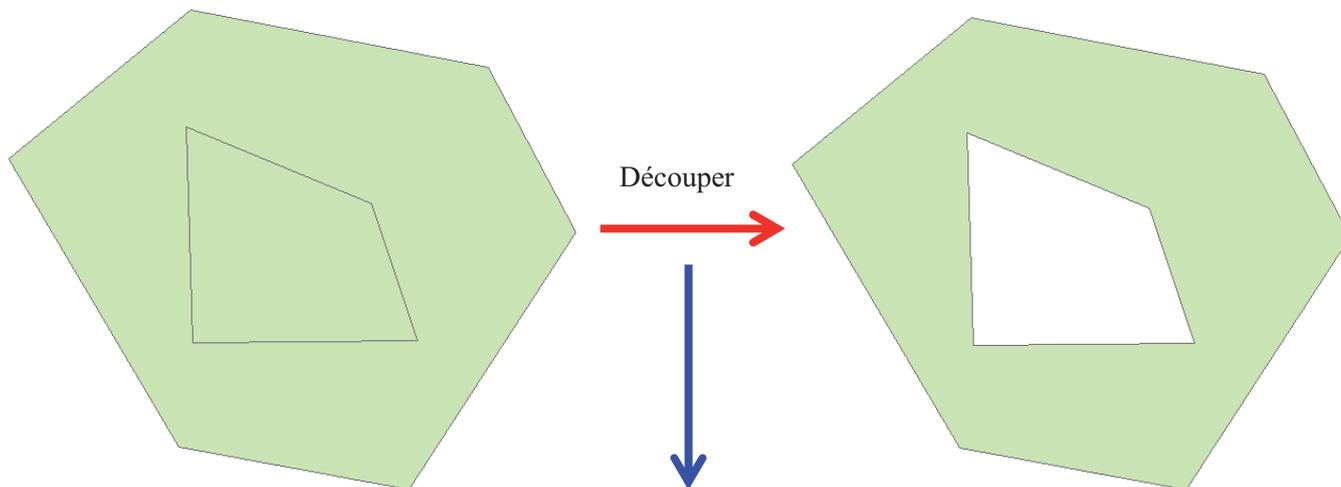


Schéma de la fonction de découpage d'ArcGIS.

Annexe n°6 : dessiner deux polygones côte-à-côte

Comme précédemment, après avoir sélectionné le polygone qui servira à découper le deuxième, suivre le schéma ci-joint.

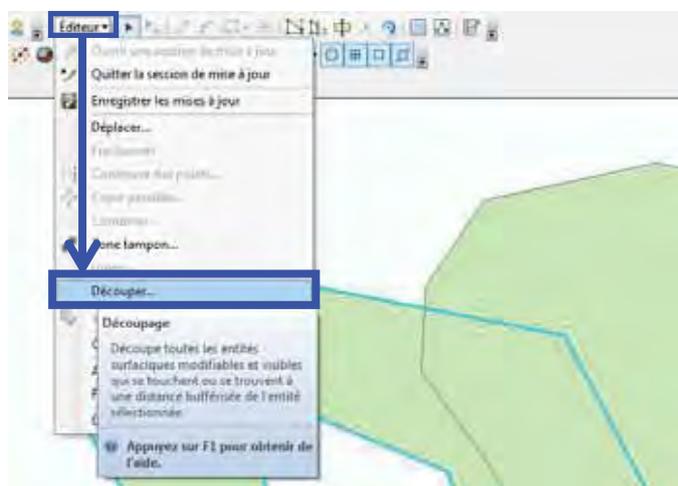
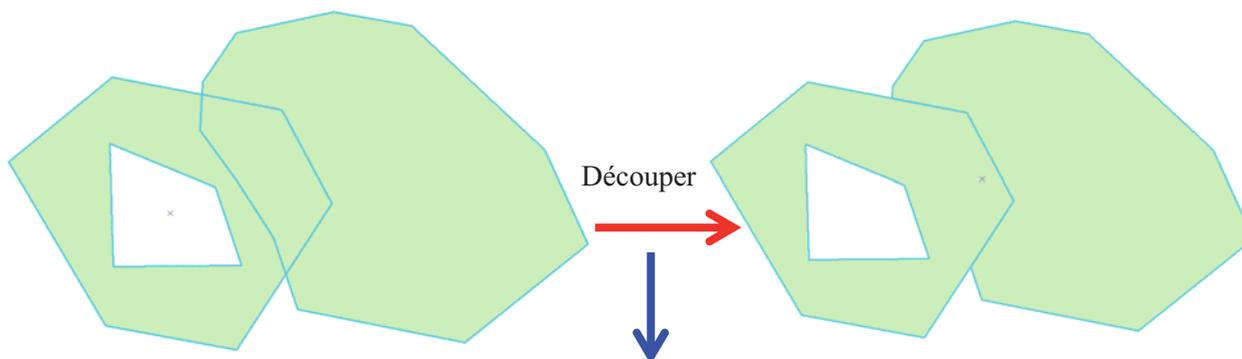


Schéma de la fonction de découpage d'ArcGIS.

Annexe n°7 : les outils d'accrochage aux objets

Faire apparaître la barre d'outils capture par un clic droit dans la zone d'accueil de ces barres.
Schéma :

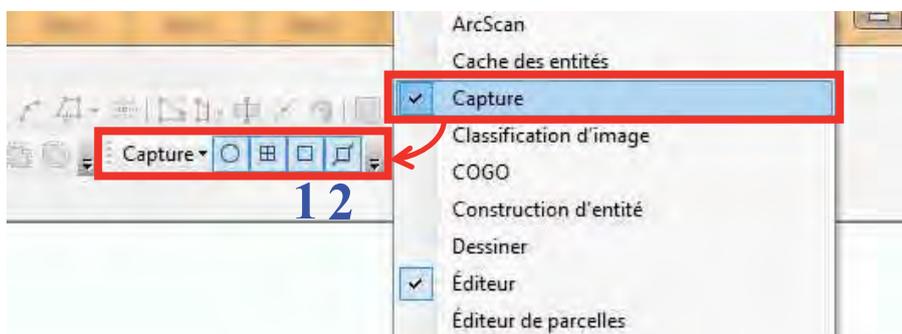


Schéma de l'insertion de la barre d'outils éditeur dans ArcGIS.

1 : Capture sur un sommet. Ce bouton permet de s'accrocher sur un sommet déjà dessiné, lorsqu'on passe à proximité.

2 : Capture sur un segment. Ce bouton permet de s'accrocher sur un segment déjà dessiné, lorsque la capture sur un sommet n'est pas possible.

Il peut être judicieux de désactiver ces accrochages lorsqu'un point à modéliser est trop proche d'un sommet ou d'un segment déjà digitalisé et que le curseur est capté par la zone d'action de ces objets.

Annexe n°8 : Dissocier un polygone multi-partie

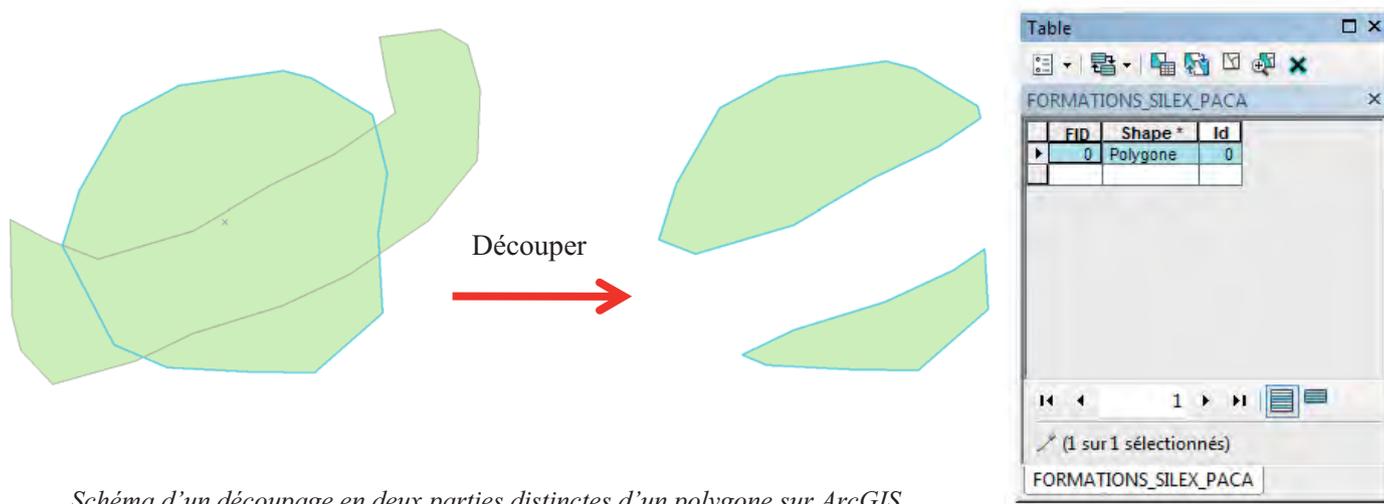


Schéma d'un découpage en deux parties distinctes d'un polygone sur ArcGIS.

Pour le dissocier, une nouvelle barre d'outils est ajoutée en utilisant le clic droit dans la zone prévue à son accueil. Schéma :

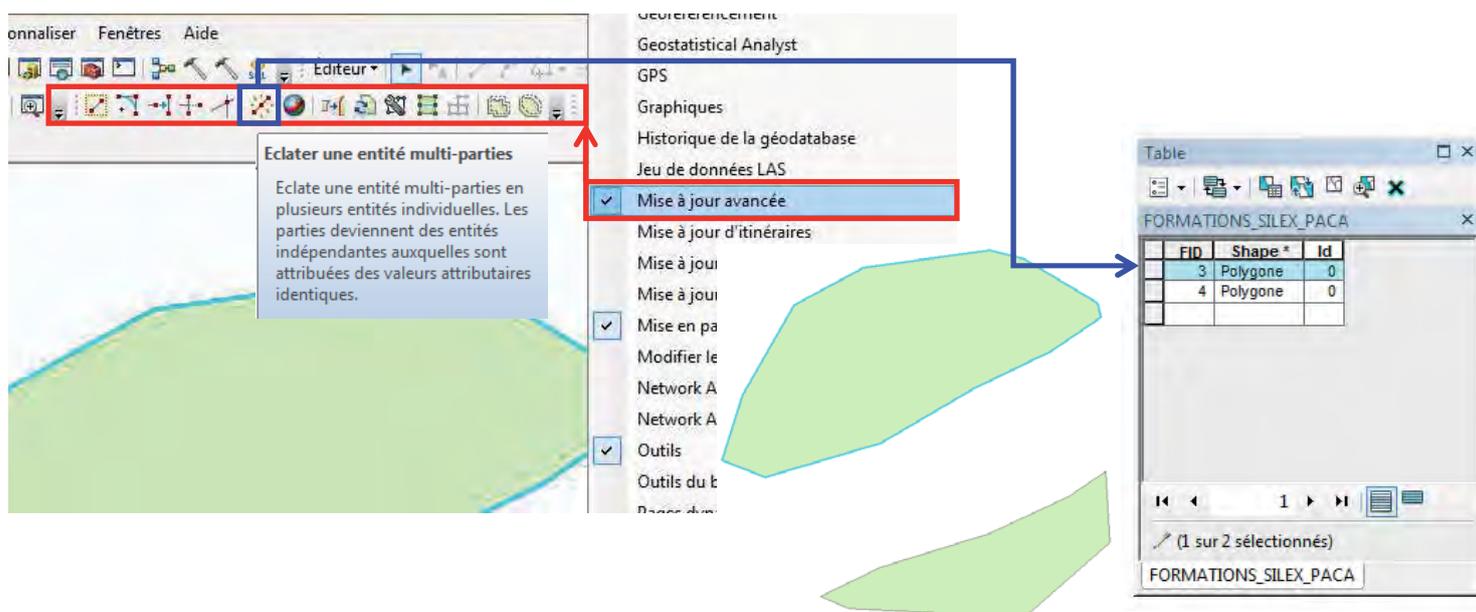


Schéma de dissociation d'un polygone multi-partie sur ArcGIS.

Annexe n°9 : Mise en place du site internet InfoTerre avant l'inventaire

InfoTerre

brgm

VISUALISEURS MOBILES DONNÉES POUR ALLER PLUS LOIN

Affichage en plein écran

Après l'entrée dans cette icône, les couches par défaut sont supprimées en cliquant sur les croix

CHOIX DES COUCHES

COUCHES AFFICHÉES

- Limites des communes (BD CARTO-IGN)
- Carte géologique imprimée 1/50 000 (BRGM)
- Scans (IGN)

Catalogue InfoTerre

- Cartes géologiques
 - Carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée
 - Carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée avec MNT
 - Carte géologique Guadeloupe (Merigot) imprimée 1/50 000 (BRG
 - Carte géologique Guadeloupe Sainte Anne imprimée 1/50 000 (E
 - Carte géologique Guyane imprimée 1/500 000 (BRGM)
 - Carte géologique imprimée 1/1 000 000 (BRGM)
 - Carte géologique imprimée 1/250 000 (BRGM)
 - Carte géologique imprimée 1/50 000 (BRGM)
- Géocatalogue
- Serveur OGC

Cartes topographiques

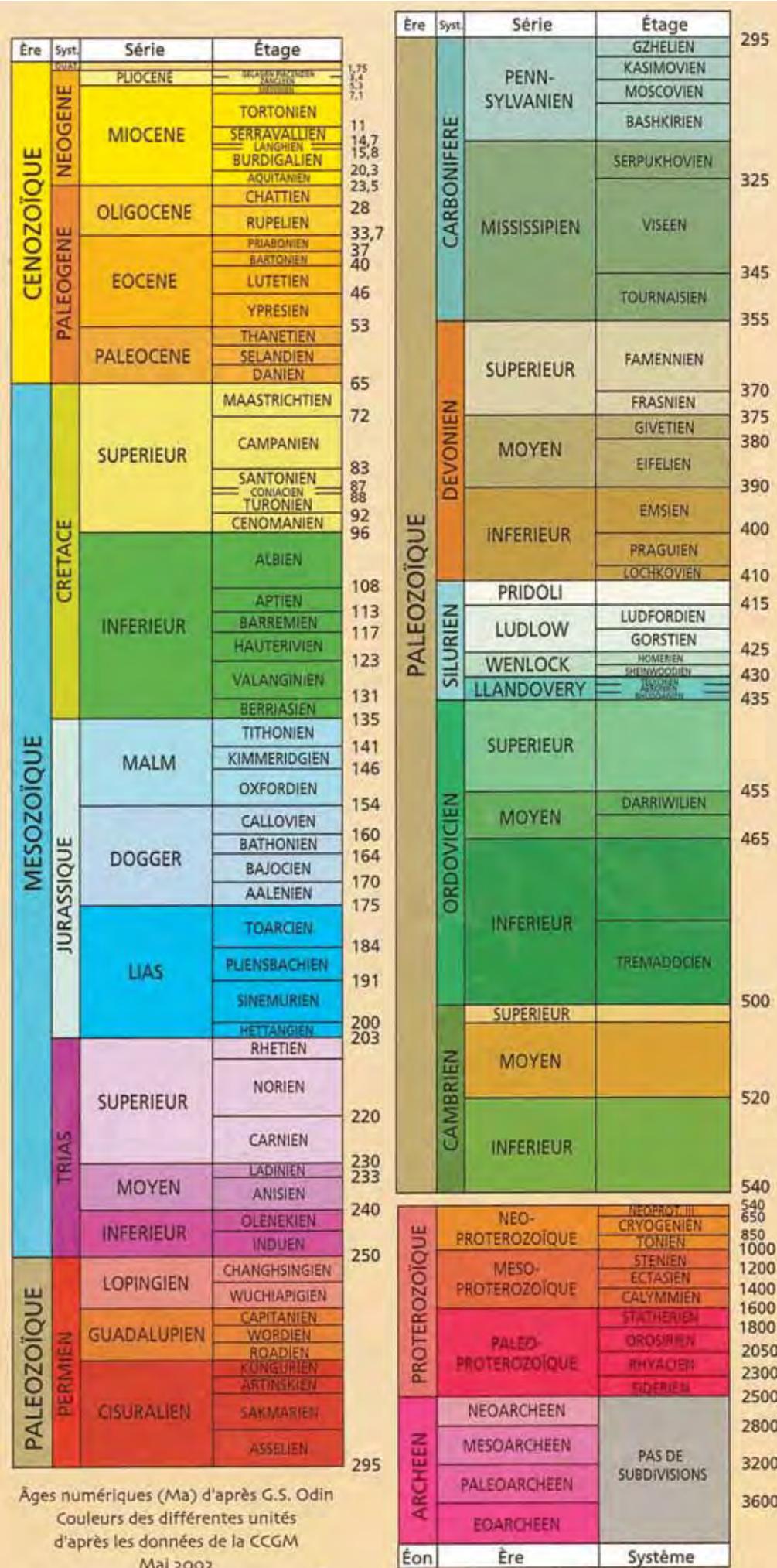
- Fond de carte mondial
- Limites des communes (BD CARTO-IGN)
- Limites des départements (BD CARTO-IGN)
- Limites des régions (BD CARTO-IGN)
- Réseau routier (IGN)
- Scans (IGN)

Echelle: 1 / 1 000 000

SRS: Lambert 93

X: 944388.16 Y: 6396485.33

Schéma de la mise en place du site internet InfoTerre avant l'inventaire.



Âges numériques (Ma) d'après G.S. Odin
 Couleurs des différentes unités
 d'après les données de la CCGM
 Mai 2002

Annexe n°12 : Utilisation du site internet d'InfoTerre pour caractériser le lieu

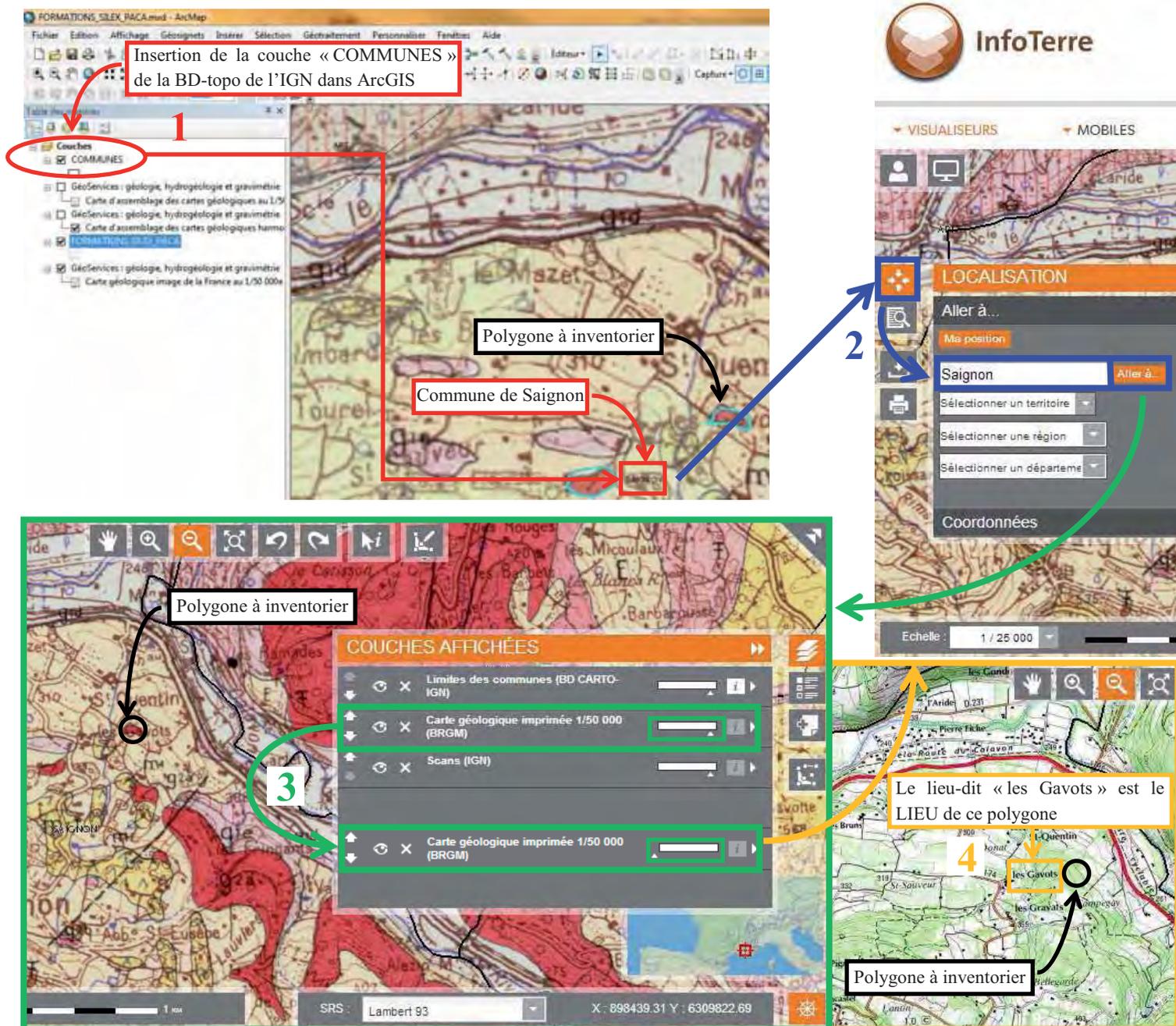


Schéma de la recherche du « LIEU » d'un polygone à travers ArcGIS et le site internet InfoTerre.

Annexe n°13 : Jointure de l'inventaire avec la table attributaire

1 Jointures et relations / Joindre...

2 Choisissez dans la couche le champ sur lequel portera la jointure : IDF

3 Choisissez dans la table le champ sur lequel portera la jointure : IDF

4 Joindre des données

Nom du fichier Microsoft Excel

Nom de la feuille Microsoft Excel

Les deux champs de jointure

IDF	Shape	IDF	IDF	LIEU	COMMUNES 1	COMMUNES 2	TERRE	ETAGE	ACRONYME CARTE	NUMERO CARTE GEOLOGIQUE	NATURE FORMATION	BOSCH
0	Polygone	13230	13230	Le Bourg	Malemort	Malemort	Enclins	Lutitien	45	904	Calcaire	Autocène
1	Polygone	13210	13210	Le Bourg	Aleais	Aleais	Crétacé inférieur	Barémien	44	904	Calcaire	Autocène
2	Polygone	13210	13210	Camp Caen	Aleais	Aleais	Crétacé inférieur	Barémien	44U	904	Calcaire	Autocène
3	Polygone	13220	13220	Les collines derrière Saint-Pierre	Malemort, Aleais, Verrières	Malemort	Crétacé inférieur	Barémien	44	904	Calcaire	Autocène
4	Polygone	13210	13210	Château des Tailletes	Lambiez	Lambiez	Crétacé inférieur	Barémien	44U	904	Calcaire	Autocène
5	Polygone	13220	13220	Les collines derrière Saint-Pierre	Lambiez	Lambiez	Crétacé inférieur	Barémien	44	904	Calcaire	Autocène
6	Polygone	13210	13210	Montée du gîte	Verrières	Verrières	Crétacé inférieur	Barémien	44U	904	Calcaire	Autocène
7	Polygone	13210	13210	Les collines derrière Saint-Pierre	Lambiez, Verrières	Lambiez	Crétacé inférieur	Barémien	44U	904	Calcaire	Autocène
8	Polygone	13220	13220	Saint-Césaire	Verrières	Verrières	Crétacé inférieur	Barémien	44	904	Calcaire	Autocène
9	Polygone	13220	13220	Le site électrique de Rogeevillers	Saint-de-Provence	Saint-de-Provence	Crétacé inférieur	Barémien	44	904	Calcaire	Autocène
10	Polygone	13210	13210	Le site de Rogeevillers	Saint-de-Provence, Lambiez, Aleais, Verrières	Saint-de-Provence	Crétacé inférieur	Barémien	44U	904	Calcaire	Autocène
11	Polygone	13185	13185	Le site de Saint-Etienne-Janson	Boone, Saint-Etienne-Janson, Le Tuv-Saint-Robert	Boone	Crétacé inférieur	Hauterive	40C	903	Calcaire	Autocène

Schéma de la jointure attributaire de l'inventaire avec la table attributaire de la couche des zones de formation à silex sur ArcGIS.

Pour valider cette jointure, il conviendra de sauvegarder la couche dans un nouveau fichier : clic droit sur le nom de la couche / Données / Exporter des données / Parcourir / Choisir le chemin du dossier / Donner un nouveau nom / Enregistrer / OK.

Annexe n°14 : Comparaison de la table attributaire de la couche avec l'inventaire

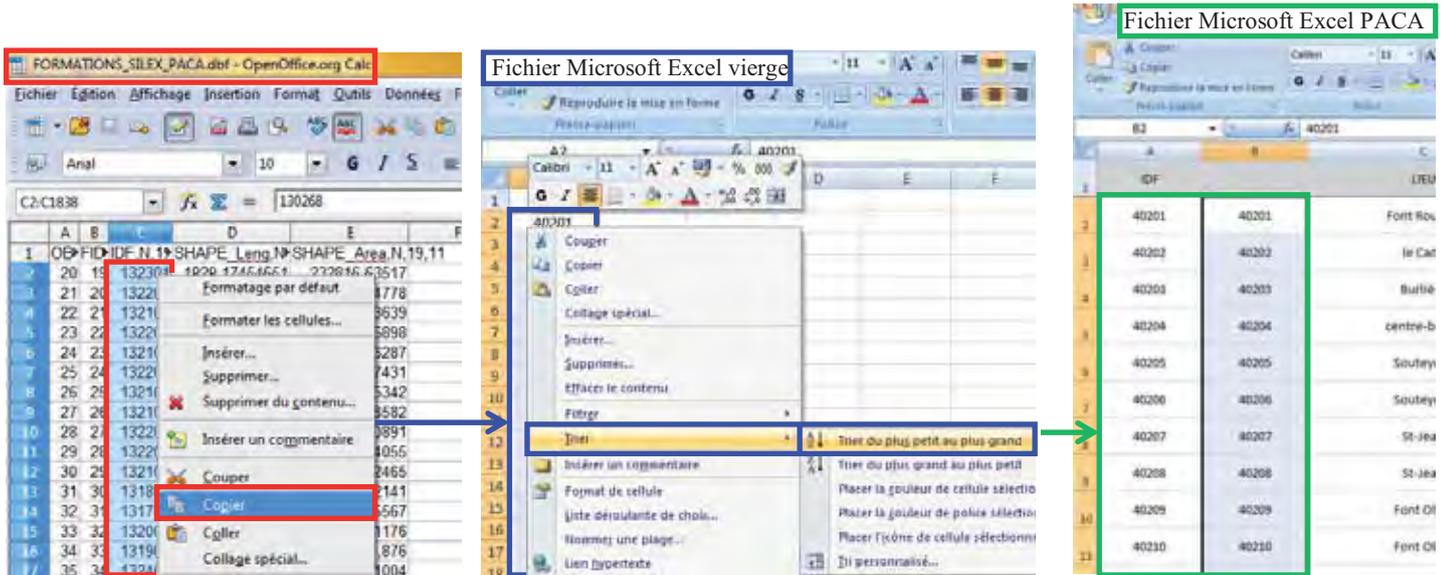


Schéma de l'insertion de la colonne IDF, de la table attributaire de la couche de formation à silex sur Open Office, à côté de la colonne IDF de l'inventaire après tri par ordre croissant sur Microsoft Excel.

Annexe n°15 : Correction du décalage entre les deux colonnes IDF

Avant		Après	
845202	844605	844801	844801
845203	844701	844802	844802
		844803	844803
		844804	844804
845301	844702	844901	844901
	844801	844902	844902
	844802	844903	844903
	844803	844904	844904
	844804	845001	845001
	844901	845002	845002
	844902	845003	845003
	844903	845004	845004
	844904	845101	845101
	845001		
	845002	845201	845201
	845003		
	845004	845202	845202
	845101		
	845201	845203	845203
	845202		
	845203		
	845301	845301	845301

Schéma de la correction du décalage entre les deux colonnes IDF sur Microsoft Excel avant et après correction.

Annexe n°16 : Outil de vérification de la jointure attributaire d'ArcGIS

Avant la validation de la fenêtre de jointure attributaire d'ArcGIS, une fonction permet de vérifier la validité de la jointure. Schéma :

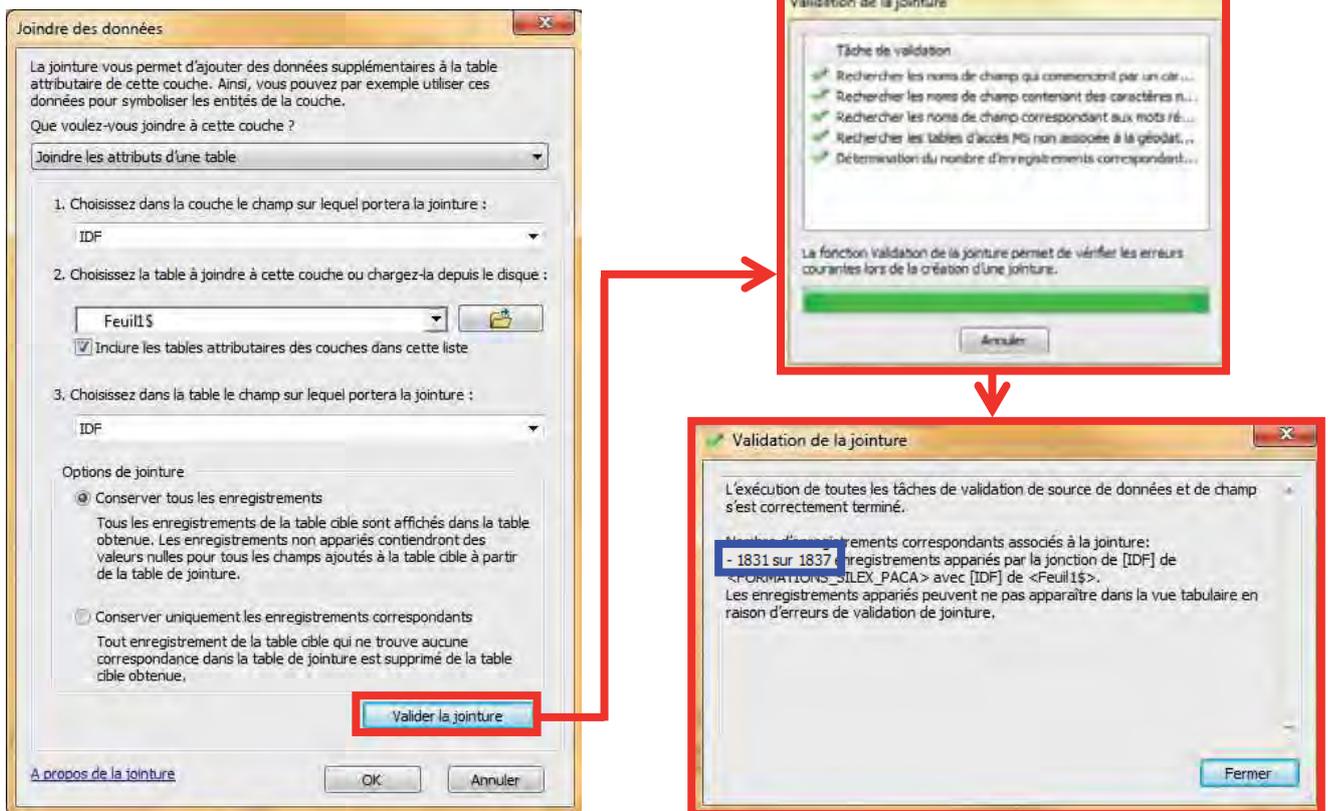


Figure : Schéma de la vérification de la bonne validation de la jointure sur ArcGIS.

Dans ce schéma, la jointure n'est pas complète, 6 lignes n'ont pu être jointes. Pour corriger ces erreurs, il faut double-cliquer, dans la table attributaire, sur la deuxième colonne IDF afin de la classer par ordre croissant. Les 6 premières lignes qui s'affichent sont les lignes erronées. Il est écrit : <Nul> dans leurs cases. Schéma :

FID	Shape	IDF	FEUILLE	COMMUNES_1	COMMUNES_2	PERIODE	ETAGE	ACRONYME_PARTI	NUMERO_CARTE_GEOLOGIQUE	NATURE_FORMAT	
1441	Polygone	131014	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	
1443	Polygone	131015	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	
1444	Polygone	131016	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	
1446	Polygone	131017	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	
1447	Polygone	131018	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	
1449	Polygone	131019	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	<Nul>	
888	Polygone	40201	40201	Font Rouvier	Villeneuve	<Nul>	Pliocène	<Nul>	H	969	Conglomérat
889	Polygone	40202	40202	le Cadé	Villeneuve	<Nul>	Pliocène	<Nul>	H	969	Conglomérat
891	Polygone	40203	40203	Burlière	Villeneuve	<Nul>	Pliocène	<Nul>	H	969	Conglomérat
892	Polygone	40204	40204	centre-bourg	Villeneuve	<Nul>	Pliocène	<Nul>	H	969	Conglomérat
894	Polygone	40205	40205	Soutevron	Villeneuve	<Nul>	Pliocène	<Nul>	H	969	Conglomérat

Figure : Schéma des 6 lignes erronées après jointure sur ArcGIS.

Après vérification sur le tableur Microsoft Excel créé lors de la numérisation, les codes IDF de 131014 à 131019 n'existent pas et sont en réalité de 131006 à 131013.

La correction de cette erreur est obtenue en annulant la jointure sur la table attributaire de la couche des zones de formation à silex d'origine par les opérations suivantes : Clic droit sur le nom de la couche / Jointures et relations / Supprimer des jointures / Supprimer toutes les jointures.

Ensuite, la couche est rendu éditable, l'erreur est corrigée. Puis, une nouvelle jointure est effectuée. Si la correction s'est bien passée, voici le message qu'affiche la boîte de dialogue « Validation de la jointure » :

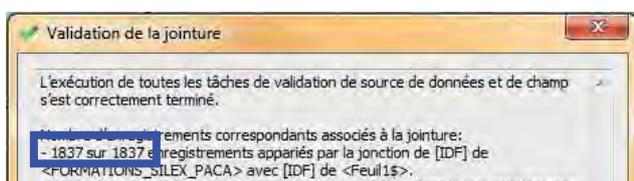
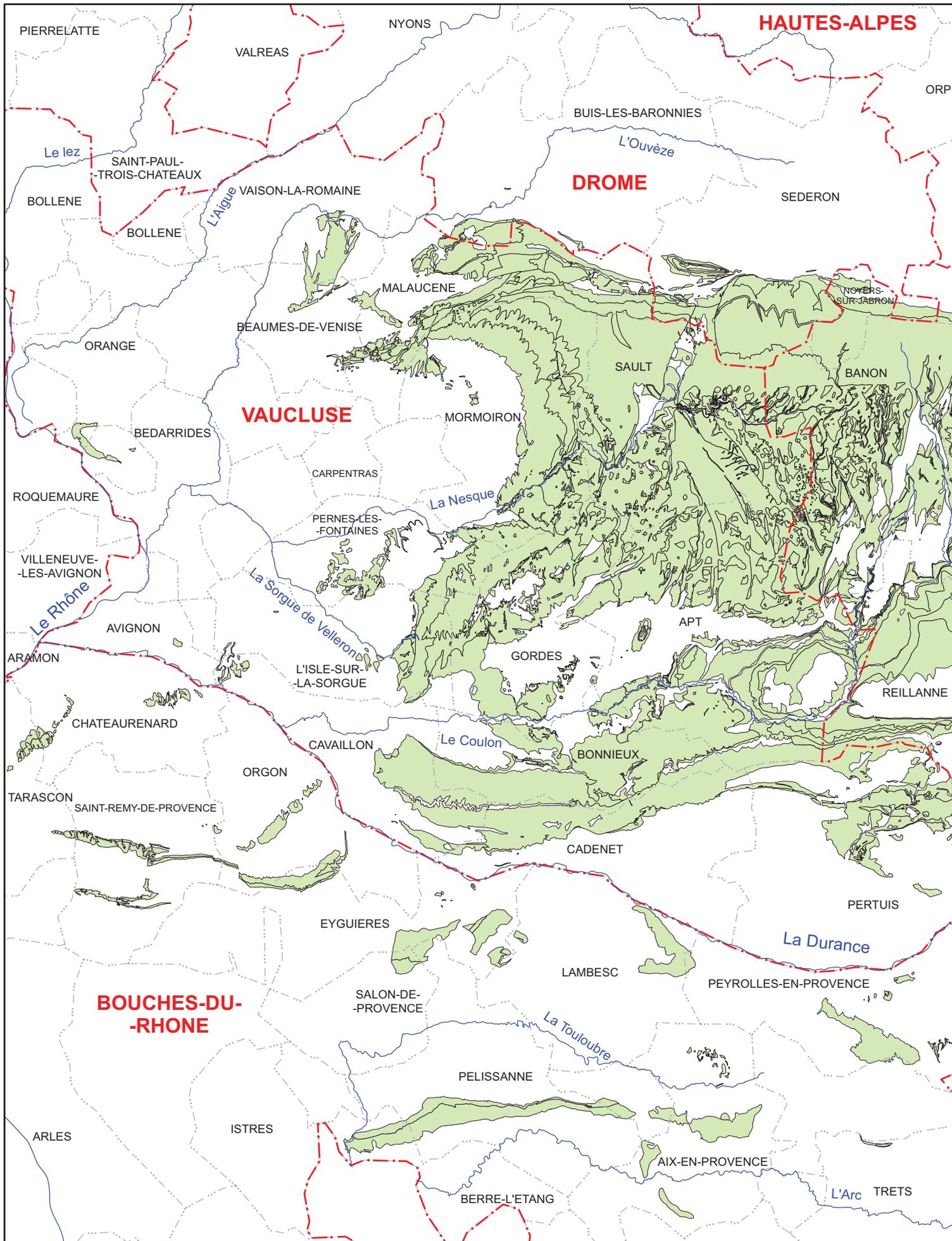


Schéma d'une validation de jointure correctement validée sur ArcGIS.

Carte des zones de formation à



Annexe n°18 : Protocole de calcul de la longueur totale des périmètres des 1837 polygones des zones de formation à silex

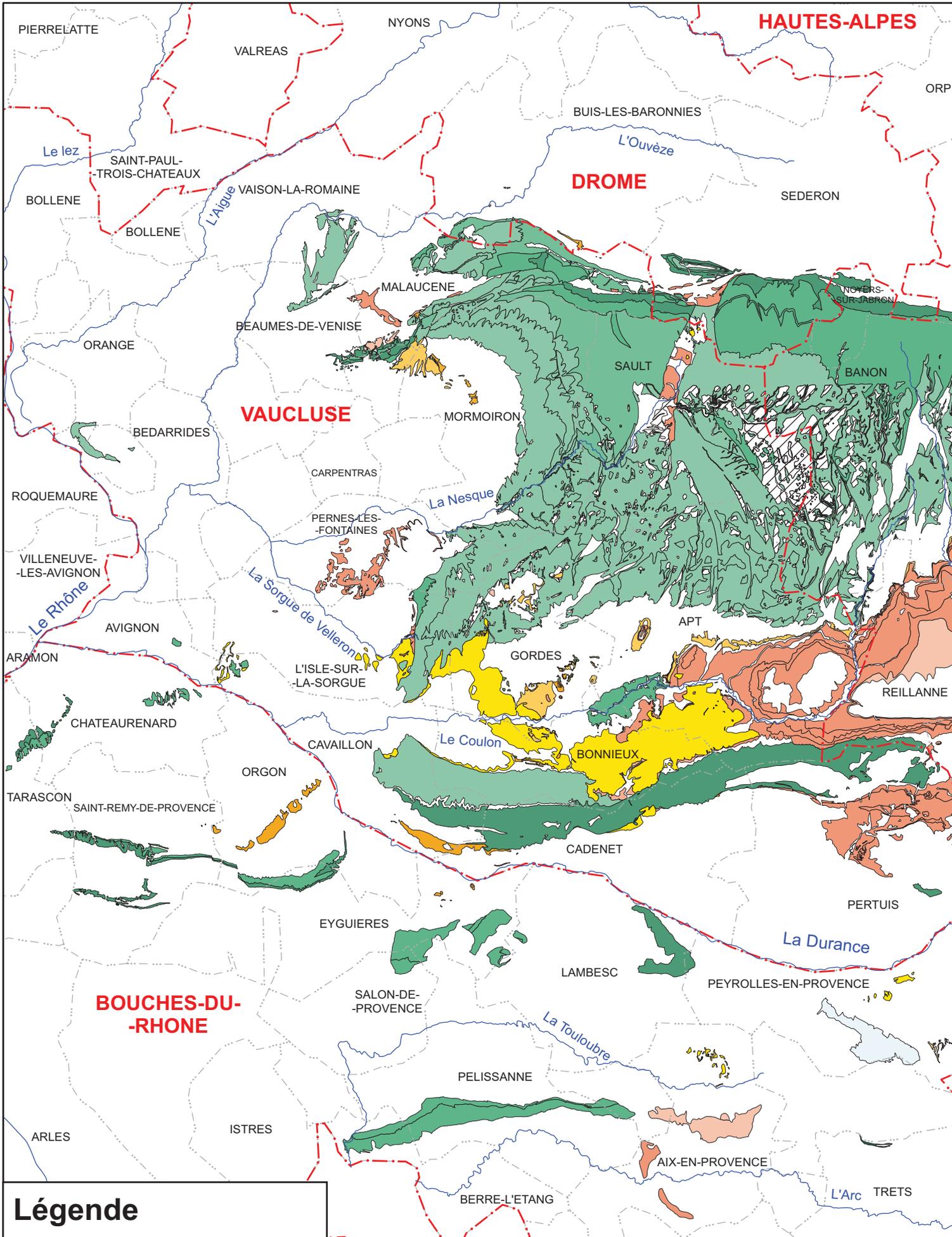
- Les polygones sont convertis en polylignes grâce à la fonction « Polygones vers lignes » du sous-menu « Entités » du menu « Outils de gestion des données » de l'ArcToolbox.

- Dans la table attributaire de la couche nouvellement créée, un nouveau champ est instauré, tout en faisant attention qu'il soit en dehors d'une session de mise à jour. L'icône en haut à droite de la table est déroulée et la fonction « Ajouter un champ » ouverte. Le nom est « longueur », le type, « Réel simple ». Validation.

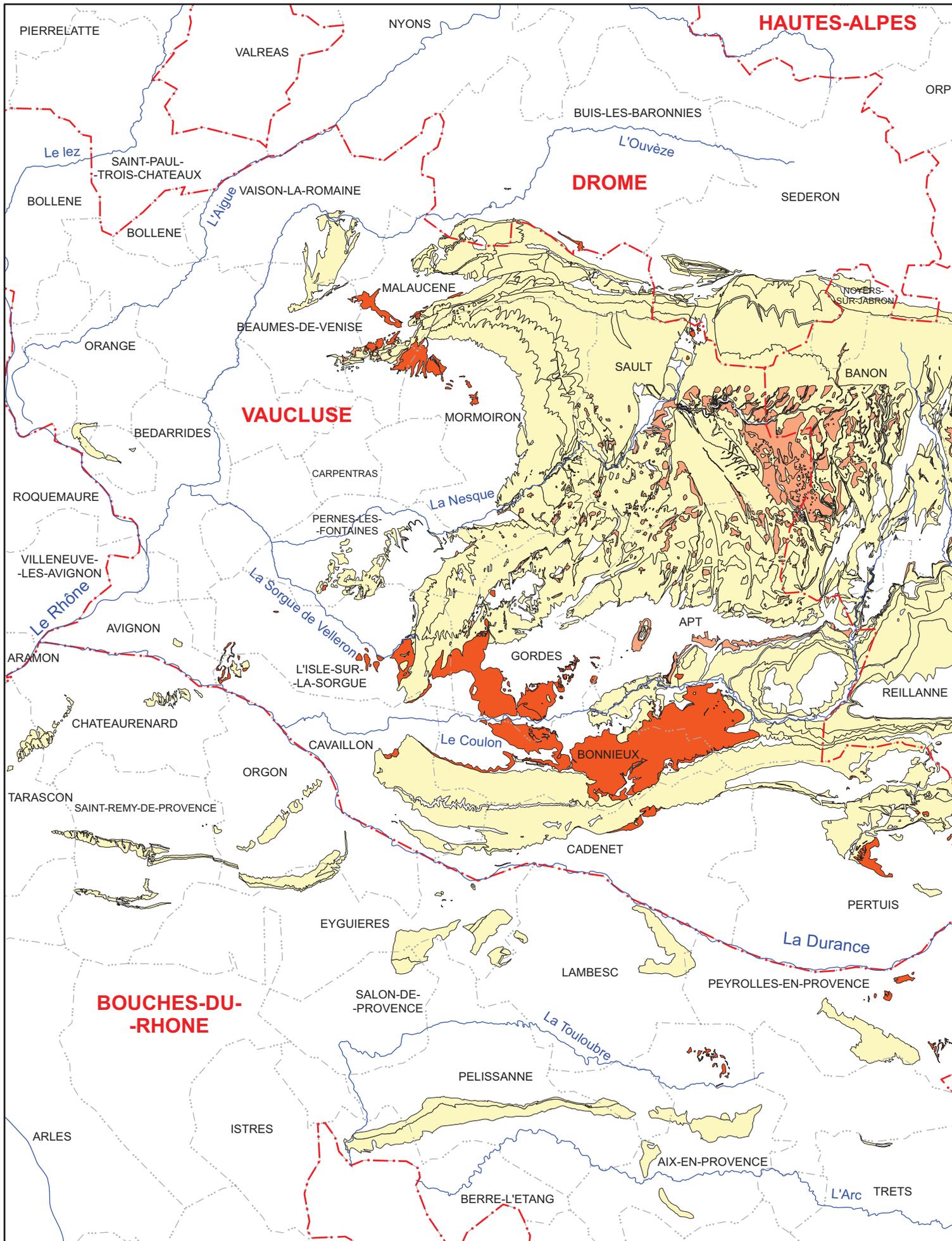
- Sur l'entête du champ nouvellement créé, par le clic droit de la souris la fonction « Calculer la géométrie... » est ouverte. Après validation de la fenêtre, les longueurs de chaque polyligne sont inscrites dans les cases adéquates.

- L'ouverture du fichier .dbf de la couche permet alors de calculer la somme totale des longueurs des polylignes.

Carte des zones de formation à classées selon les séries et étages



Carte des zones de formation à classées selon la position du silex



Annexe n°21 : Création d'une symbologie sur ArcGis en fonction des séries et des étages.

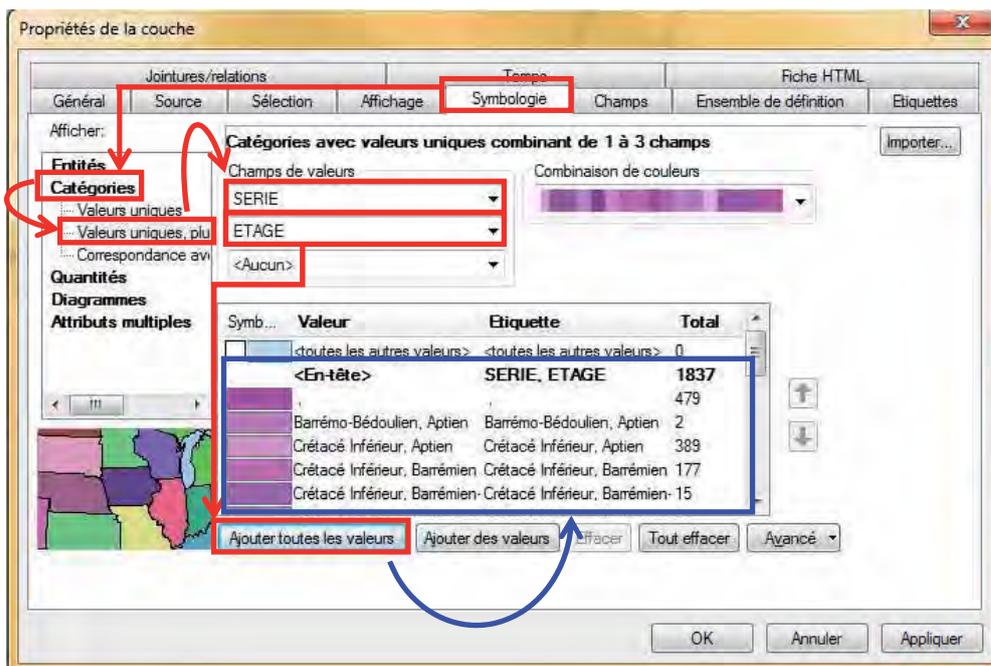


Schéma de la création d'une symbologie en fonction des séries et des étages sur ArcGIS.

SYSTÈME	SÉRIE	ÉTAGE	C	M	J	N	R	V	B
Néogène	Quaternaire	Alluvions	0	62	74	0	237	125	71
		Colluvions	0	85	95	0	229	68	31
	Pliocène		0	0	40	0	255	246	177
	Miocène		0	5	100	0	255	228	0
Paléogène	Oligocène		0	40	40	0	244	175	146
		Chattien	0	30	30	0	247	196	174
		Rupélien	0	50	50	0	241	152	121
	Éocène		0	35	85	0	247	178	52
		Priabonien	0	20	70	0	253	207	95
		Bartonien	0	30	80	0	249	188	67
		Lutétien	0	40	90	0	245	168	35
		Yprésien	0	50	100	0	241	147	0
	Paléocène		0	15	50	15	225	196	130
		Thanétien	0	15	50	0	253	220	145
		Sélandien	0	15	50	15	225	196	130
		Danien	0	15	50	30	195	171	116
Crétacé	supérieur		40	0	65	10	160	190	110
		Maastrichtien	10	0	35	0	238	239	187
		Campanien	25	0	50	0	206	222	152
		Santonien	40	0	65	0	173	205	118
		Coniacien	40	0	65	20	146	175	102
		Turonien	40	0	65	40	120	144	84
		Cénomaniens	40	0	65	60	90	111	65
	inférieur		65	0	55	10	87	169	128
		Albien	35	0	25	0	179	218	201
		Aptien	50	0	40	0	140	200	170
		Barrémien	65	0	55	0	94	181	138
		Hauterivien	65	0	55	20	79	155	119
		Valanginien	65	0	55	40	62	128	98
Jurassique	supérieur		25	0	0	0	200	232	247
		Tithonien	10	0	0	0	234	246	251
		Kimméridgien	25	0	0	0	200	232	247
		Oxfordien	40	0	0	0	161	217	243
	moyen		78	0	0	0	0	177	230
		Callovien	55	0	0	0	115	202	238
		Bathonien	65	0	0	0	68	191	234
		Bajocien	80	0	0	0	21	175	225
		Aalénien	100	0	0	0	34	155	211
	inférieur		100	0	0	50	0	98	139
		Toarciens	100	0	0	20	0	134	192
		Pliensbachien	100	0	0	40	0	111	158
		Sinemurien	100	0	0	60	0	84	122
		Hettangien	100	0	0	80	0	54	82
Trias	supérieur		30	30	0	0	188	181	214
	moyen		60	60	0	0	122	111	171
	inférieur		90	90	0	0	56	55	138
Permien			0	50	70	30	186	118	67
Carbonifère			0	50	70	55	138	88	50
Dévonien			0	50	70	80	86	53	29

Annexe n°23 : Application du code couleur des séries et des étages sur la symbologie

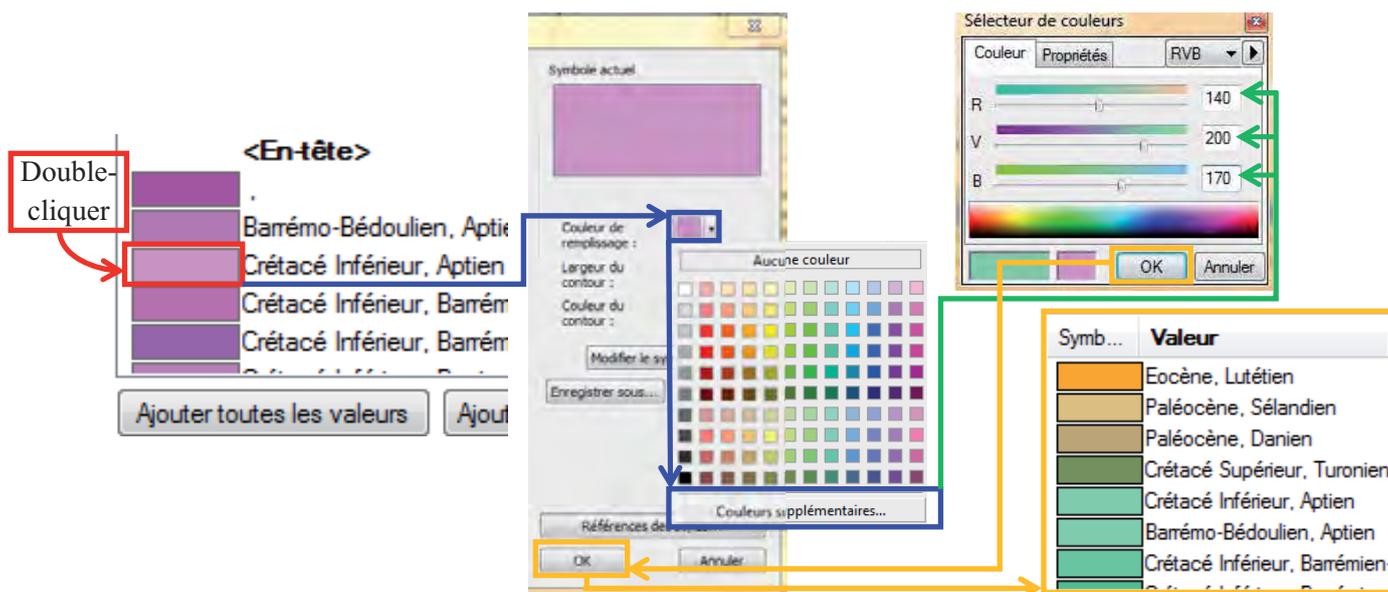


Schéma de l'application du code couleur des séries et des étages sur une symbologie ArcGIS.

Annexe n°24 : Enregistrement d'une symbologie pour réutilisation

Il est intéressant d'exporter cette symbologie afin de l'appliquer à toute autre couche contenant les mêmes champs. Pour cela, après avoir appuyé sur le clique-droit de la souris sur le nom de la couche dans la table des matières, la fonction « Enregistrer un fichier de couche... » est utilisée. Une nouvelle fenêtre est ouverte où le chemin du nouveau fichier est indiqué, ainsi que son nom. Un fichier .lyr est créé. Il peut être directement importé dans une symbologie de couche en suivant le prochain schéma :

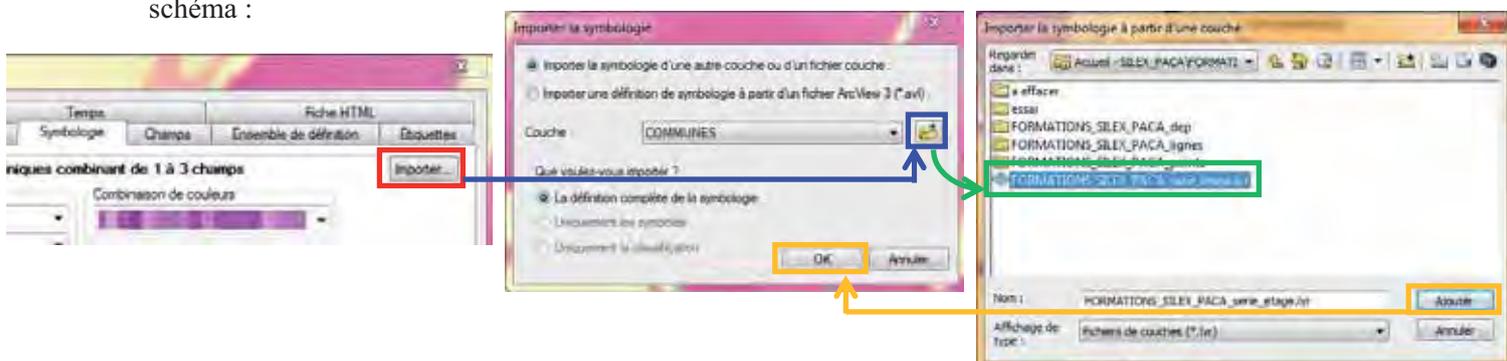


Schéma de l'importation d'une symbologie sur une couche dans ArcGIS.

Annexe n°25 : Création de cartes thématiques

Elle se fait par le mode mise en page d'ArcGIS : l'icône est située tout en bas à gauche de la fenêtre ArcMAP. Schéma (Figure) :



Schéma de la façon d'ouvrir le mode mise en page sur ArcGIS.

Annexe n°26 : Importation de couches SIG et de WMS

Les couches SIG et WMS sont ouvertes par l'outil « Ajouter » situé en haut à droite.

Pour l'importation des WMS, après avoir cliqué sur « Ajouter », l'outil « Ajouter une couche à partir du Web » est sélectionné. Il s'agit de choisir l'option « Service Web OGC WMS » du menu déroulant et d'inscrire le site suivant dans la barre de recherche :

<http://geoservices.brgm.fr/geologie>. Ce site permet de récupérer le WMS comme indiqué en partie I.3.1.2. La case « Utiliser comme fond de carte » n'est pas cochée. Le WMS s'affiche dans le contenu. En cliquant sur son nom, une liste se déroule avec des cases à cocher. Les 3 cases des cartes géologiques images de la France au 1/50 000, au 1/250 000 et au 1/1 000 000 sont activées.

Pour l'importation des couches SIG, après avoir cliqué sur « Ajouter », l'outil « Ajouter une couche à partir d'un fichier » est sélectionné. Les fichiers d'une couche SIG, préalablement convertis en fichier .zip, sont choisis un par un avec le bouton « Choisissez un fichier ». La case « Conserver les entités d'origine » est cochée. La validation est effectuée par le bouton « Importer une couche ». Une couche ne peut contenir que 1 000 entités. Il est donc nécessaire de créer autant de couches sur ArcGIS Desktop que de milliers d'entités.

La couche choisie est celle des zones de formation à silex. Lorsque toutes la couche est importée, il est très important de sauvegarder la nouvelle carte créée en cliquant sur l'onglet « Enregistrer », puis « Enregistrer sous ». C'est ici que le titre de la carte est choisi.

Annexe n°27 : Création d'une symbologie sur ArcGIS Online

La symbologie, comme sur ArcGIS Desktop, permet de caractériser les entités d'une couche par des couleurs en fonction de ses attributs pour différencier les données de cette couche.

Néanmoins, le choix de couleur est beaucoup moins grand sur ArcGIS Online que sur ArcGIS Desktop et la possibilité de distinguer les attributs n'est donnée que sur un seul champ. Aussi, pour les zones de formation à silex, la différenciation est effectuée uniquement par les séries et non plus par les étages des séries comme il avait été fait sur ArcGIS Desktop. On accède à la fenêtre de symbologie par un clic sur la petite flèche descendant à gauche du nom de la couche choisie. L'outil « Modifier les symboles » est sélectionné. La fenêtre suivante apparaît :

Cet outil permet de choisir le type de différenciation à utiliser : soit une seule couleur pour tous les attributs d'un champ (un seul symbole), soit une couleur par attribut d'un champ (des symboles uniques) et d'autres.

Champ où la différenciation des attributs sera effectuée.

Ici sont affichés les attributs du champ choisi. La première ligne correspond aux attributs non renseignés (pour les zones de formation à silex, il s'agit des colluvions et des altérites). Les couleurs sont modifiées en cliquant sur le trapèze à gauche du nom des attributs. La fenêtre si dessous s'affiche :

LA MODIFICATION DES SYMBOLES EST TERMINÉE

Schéma de l'application d'une symbologie sur une couche SIG sur ArcGIS Online.

Annexe n°28 : Création de fenêtres contextuelles sur ArcGIS Online

Une fenêtre contextuelle apparaît sur ArcGIS Online lorsqu'une entité est sélectionnée directement sur la carte. Par défaut, le logiciel affiche la liste des attributs de cette entité, liste correspondant aux champs de la couche. avec l'outil de configuration de fenêtre contextuelle obtenu par un clic gauche sur la petite flèche à droite du nom de la couche. La fenêtre suivante apparaît :

Propriétés de la fenêtre contextuelle

Les fenêtres contextuelles affichent des informations sur les entités de la couche. Définissez la fenêtre contextuelle ci-dessous.

Titre de la fenêtre contextuelle
Zone de formation à silex n° {IDF}

Contenu de la fenêtre contextuelle
Afficher : Un affichage de champ personnalisé

CONFIGURER

Configurer les attributs

Support de la fenêtre contextuelle
Afficher des images et des diagrammes dans la fenêtre contextuelle :

AJOUTER

Silex bland bédoulien

ENREGISTRER LA FENÊTRE CONTEXTUELLE

ANNULER

Titre de la fenêtre contextuelle : C'est le nom qui apparaît à chaque fois qu'une fenêtre contextuelle est ouverte. Ce nom est personnalisable pour chaque entité par les accolades. En effet, en indiquant au milieu le nom d'un champ, il sera renseigné le nom de l'entité (ici, l'identifiant de la zone de formation à silex sélectionnée).

La proposition « Un affichage de champ personnalisé » est choisie. Elle permet de renseigner la fenêtre contextuelle à sa convenance.

Affichage d'attribut personnalisé

Utilisez la zone ci-dessous pour définir, mettre en forme et disposer les informations à afficher.

Lieu : {LIEU}

Communes : {COMMUNES_1}, {COMMUNES_2}

Série : {SERIE}

Étage : {ETAGE}

Acronyme : {ACRONYME_C}

Numéro de carte géologique : {NUMERO_CAR}

Nature de la formation : {NATURE_FOR}

Position du silex : {POSITION_S}

Paléoenvironnement : {PALEOENVIR}

Information : {INFORMATIO} {INFORMAT_1} {INFORMAT_2}

Site internet : [lien](#)

Propriétés du lien
URL :
Description : lien
Définir Annuler

OK ANNULER

La fenêtre qui s'ouvre sert à configurer l'affichage des attributs des champs indiqués entre accolades. Par exemple, pour un champ de type numérique, il peut être indiqué au logiciel de ne pas utiliser de séparateur de milliers et de ne pas mettre de chiffres après la virgule.

Des images ou des diagrammes sont rajoutés ici si besoin. Pour une photo, le chemin Ajouter / Image permet d'en intégrer une dans la fenêtre contextuelle. Une fenêtre apparaît demandant le titre de l'image, sa légende, le lien URL du site internet où est située l'image, un autre lien (ou le même) pour ouvrir un site internet quand la souris clique sur l'image obtenue dans la fenêtre contextuelle.

Schéma de la création d'une fenêtre contextuelle sur ArcGIS Online.

BD CARTHAGE[®]

Version 3.0

Descriptif de livraison Format Shapefile

Date du document : mars 2006

Révisé :



Institut Géographique National

136 bis rue de Grenelle 75700 Paris 07 SP

www.ign.fr



SOMMAIRE

1. GÉNÉRALITES	3
1.1 DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE.....	3
1.2 INFORMATIONS TECHNIQUES GÉNÉRALES SUR LA BD CARTHAGE®.....	3
1.2.1 Généralités	3
1.2.2 Référence et résolution des coordonnées	4
2. INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR LE MODÈLE.....	5
2.1 STRUCTURATION DES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES : NOTIONS GÉNÉRALES.....	5
2.2 STRUCTURATION DES DONNÉES AU FORMAT SHAPEFILE– SPHÈRE EAU	5
2.3 EMPRISE GÉOGRAPHIQUE DES DONNÉES LIVRÉES	7
3. INFORMATIONS SUR LE FORMAT DE LIVRAISON	8
3.1 DESCRIPTION DES FICHIERS LIVRÉS	8
3.2 CONSEILS POUR L'INTÉGRATION SOUS ARC VIEW.....	8
3.3 GÉNÉRALITÉS SUR LA SYMBOLISATION LIVRÉE	9
4. PRÉSENTATION DES RUBRIQUES	10
5. DESCRIPTION DE LA BDCARTHAGE V 3.0 AU FORMAT SHAPEFILE– SPHERE- EAU 11	11
5.1 LA TABLE ATTRIBUTAIRE NŒUD_HYDROGRAPHIQUE	11
5.2 LA TABLE ATTRIBUTAIRE POINT_EAU_ISOLE	12
5.3 LA TABLE ATTRIBUTAIRE TRONÇON_HYDROGRAPHIQUE	13
5.4 LA TABLE ATTRIBUTAIRE COURS_D_EAU	17
5.5 LA TABLE ATTRIBUTAIRE LAISSE.....	18
5.6 LA TABLE ATTRIBUTAIRE HYDROGRAPHIE_TEXTURE	18
5.7 LA TABLE ATTRIBUTAIRE HYDROGRAPHIE_SURFACIQUE	19
5.8 LA TABLE ATTRIBUTAIRE ZONE_HYDROGRAPHIQUE.....	22
5.9 LA TABLE ATTRIBUTAIRE SOUS_SECTEUR.....	24
5.10 LA TABLE ATTRIBUTAIRE SECTEUR	24
5.11 LA TABLE ATTRIBUTAIRE REGION_HYDROGRAPHIQUE	25
ANNEXE 1 : ILLUSTRATION DE LA CODIFICATION HYDROGRAPHIQUE DES COURS D'EAU.....	26
ANNEXE 2 : MODELE LOGIQUE DE DONNEES DE LA BDCARTHAGE V 3.0 AU FORMAT SHAPEFILE– SPHERE EAU.....	29

1. Généralités

Ce document contient la description du produit BD CARTHAGE® Version 3.0 au format SHAPEFILE – sphère eau livré en vue d’une intégration sous Arc View ou ArcGIS.

Il donne tout d’abord des informations techniques générales sur ce produit.

Il présente ensuite le principe de modélisation de la BD CARTHAGE® au format SHAPEFILE - sphère eau, les fichiers livrés, quelques conseils d’intégration sous Arc View ou ArcGIS et des généralités sur la pré-symbolisation réalisée.

Il décrit enfin l’ensemble des thèmes que contient la BD CARTHAGE® au format SHAPEFILE.

Ce document fait partie intégrante d’une livraison BD CARTHAGE®.

1.1 Documents de référence

Le document auquel se réfère ce descriptif est :

BD CARTHAGE® Version 3.0 - descriptif de contenu.

1.2 Informations techniques générales sur la BD CARTHAGE®

1.2.1 Généralités

La BD CARTHAGE® regroupe les entités ayant trait à l’hydrographie : réseau hydrographique et équipement hydrographique. Les tronçons hydrographiques et les nœuds hydrographiques décrivent le réseau hydrographique structuré par la logique de l’écoulement des eaux.

Les notions propres à la codification hydrographique sont explicitées succinctement dans ce document. Pour plus de détails, il convient de se reporter à la circulaire n° 91-50 du 15 février 1991. Les documents relatifs à cette codification sont par ailleurs consultables sur le site Internet « <ftp://ftp.mde.tm.fr/carthage/circulaire91-50/> ».

Les classes d’objets, objets, attributs ou relations dont l’origine est propre aux Agences de l’Eau sont matérialisés par la référence [AE]

1.2.2 Référence et résolution des coordonnées

Toutes les coordonnées concourant à la description géométrique des données répondent aux caractéristiques suivantes :

Pour la France métropolitaine :

Système géodésique	NTF	RGF93 ¹
Ellipsoïde	Clarke 1880 IGN	GRS80
Point fondamental	Croix du Panthéon	
Méridien origine	Paris	3° E Greenwich
Latitude origine		46° 30' N
Projection associée	Lambert cartographique II étendu <i>En option, la projection peut être :</i> <i>Lambert cartographique I</i> <i>Lambert cartographique III</i> <i>Lambert cartographique IV</i>	Lambert 93
Système altimétrique	IGN 1969 pour la France continentale IGN 1978 pour la Corse	IGN 1969 pour la France continentale IGN 1978 pour la Corse
Unité	Mètre	Mètre

Les coordonnées sont fournies avec une **résolution métrique**.

¹ Le décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000 a défini ce nouveau système national de référence.

2. Informations générales sur le modèle

2.1 Structuration des données géographiques : notions générales

La description des données géographiques se décompose en deux niveaux, le niveau géométrique et le niveau sémantique.

Le niveau géométrique décrit la localisation des objets géographiques. Il s'appuie sur trois types d'objets géométriques : les sommets, les arcs et les faces.

Le niveau sémantique décrit les propriétés des objets de la base et les liens qui existent entre ces objets. Ces objets sont caractérisés par des attributs (*largeur d'un tronçon hydrographique élémentaire ...*) : ils sont regroupés en classes d'objets, qui sont des familles d'objets possédant les mêmes attributs. On distingue deux types d'objets :

- les objets simples directement localisés par des entités géométriques ;
- les objets complexes qui se construisent à partir d'objets simples et/ou d'objets complexes (exemple : les cours d'eau construits à partir de tronçons de cours d'eau élémentaires).

Les liens existant entre les objets sont de trois types :

- les liens de composition (exemple : un cours d'eau est composé de tronçons de cours d'eau élémentaire) ;
- les liens sémantiques (exemple : un nœud hydrographique est nœud exutoire d'une zone hydrographique).
- les liens topologiques (exemple : un tronçon de cours d'eau élémentaire a un nœud hydrographique initial et un nœud hydrographique final) ;

2.2 Structuration des données au format SHAPEFILE – sphère eau

Ce chapitre décrit le principe de structuration de la BD CARTHAGE® Version 3.0.

La BD CARTHAGE® au format SHAPEFILE contient des objets ponctuels, linéaires et surfaciques. Les paragraphes qui suivent décrivent la correspondance entre les thèmes livrés, et les classes d'objets et les relations décrites dans le descriptif de contenu de la BD CARTHAGE®.

Pour chaque classe d'objets simples de la BD CARTHAGE® est livré un thème au format SHAPEFILE et un fichier de légende :

- <classe_objet>.SHP : géométrie des entités
- <classe_objet>.SHX : indexation
- <classe_objet>.DBF : données attributaires
- <classe_objet>.PRJ : fichier de projection
- <classe_objet>.AVL : fichier de légende ArcView
- <classe_objet>.LYR : fichier de légende ArcGIS

Les classes d'objets complexes et les relations entre objets de la BD CARTHAGE® ont été codées sous la forme d'objets linéaires et surfaciques ou sous la forme de champs portés par les objets simples :

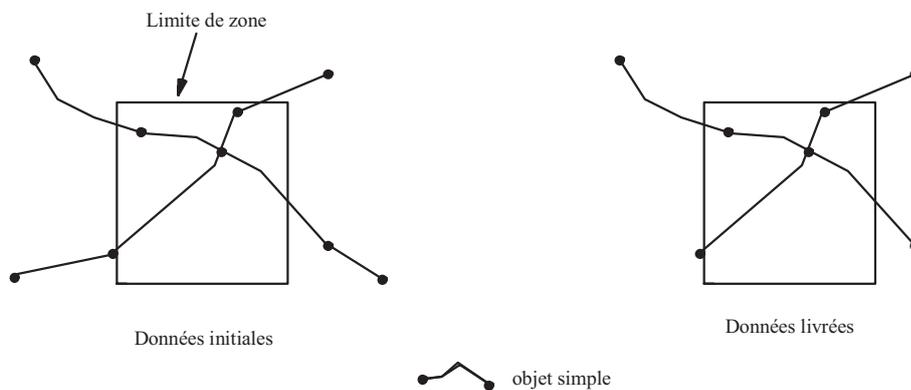
- la classe d'objets complexes « cours d'eau » est codée en tant qu'objets linéaires (thème COURS_D_EAU). Un objet du thème COURS_D_EAU a été obtenu par fusion géométrique des objets tronçons hydrographiques le composant.
- la relation de composition entre les cours d'eau et les tronçons hydrographiques élémentaires est codée sous la forme d'un champ porté par le thème TRONCON_HYDROGRAPHIQUE : ce champ donne le code hydrographique du cours d'eau auquel peut appartenir le tronçon hydrographique.
- la classe d'objets complexes « entité hydrographique de surface » et sa relation de composition sont codées sous la forme de champs portés par le thème HYDROGRAPHIE_SURFACIQUE : ces champs donnent le code de l'entité hydrographique surfacique contenant l'élément surfacique, le code du sous-milieu de cette entité, sa classification, son toponyme et une proposition pour remplacer ce toponyme.
- la classe d'objets complexes « sous-secteur » est codée de deux manières :
 - elle est codée en tant qu'objet surfacique (thème SOUS_SECTEUR). Un objet du thème SOUS_SECTEUR a été obtenu par fusion géométrique des objets zones hydrographiques le composant.
 - elle est codée partiellement sous la forme d'un champ porté par le thème ZONE_HYDROGRAPHIQUE : ce champ donne le libellé du sous-secteur auquel appartient la zone hydrographique.
- la classe d'objets complexes « secteur » est codée de deux manières :
 - elle est codée en tant qu'objet surfacique (thème SECTEUR). Un objet du thème SECTEUR a été obtenu par fusion géométrique des objets zones hydrographiques le composant.
 - elle est codée partiellement sous la forme d'un champ porté par le thème ZONE_HYDROGRAPHIQUE : ce champ donne le libellé du secteur auquel appartient la zone hydrographique.
- la classe d'objets complexes « région hydrographique » est codée de deux manières :
 - elle est codée en tant qu'objet surfacique (thème REGION_HYDROGRAPHIQUE). Un objet du thème REGION_HYDROGRAPHIQUE a été obtenu par fusion géométrique des objets zones hydrographiques le composant.
 - elle est codée partiellement sous la forme d'un champ porté par le thème ZONE_HYDROGRAPHIQUE : ce champ donne le libellé de la région hydrographique à laquelle appartient la zone hydrographique.
- les relations de composition entre zone hydro et sous-secteur, entre sous-secteur et secteur, entre secteur et région se déduisent des codes hydrographiques.
- la relation « réseau hydrographique » est codée sous la forme de deux champs portés par le thème TRONCON_HYDROGRAPHIQUE : ces derniers donnent les identifiants BD CARTHAGE des nœuds hydrographiques initial et final du tronçon.
- la relation « superposition » est codée sur le thème TRONCON_HYDROGRAPHIQUE : 2 tronçons élémentaires en superposition ont le même identifiant ; de plus le champ Numéro_Superposition donne les niveaux de superposition.
- la relation « exutoire » est codée sous la forme d'un champ porté par le thème ZONE_HYDROGRAPHIQUE : ce champ donne l'identifiant BD CARTHAGE du nœud hydrographique par lequel l'eau s'écoule de la zone hydrographique.

- la relation « drain principal » est codée sous la forme d'un champ porté par le thème ZONE_HYDROGRAPHIQUE : ce champ donne le code hydrographique du cours d'eau le plus important de la zone hydrographique passant par le point exutoire de cette zone.
- la relation « un tronçon hydrographique élémentaire passe par une entité hydrographique de surface » est codée sous la forme d'un champ porté par le thème TRONCON_HYDROGRAPHIQUE : ce champ donne le code de l'entité hydrographique de surface par laquelle passe le tronçon hydrographique élémentaire.
- la relation « une entité hydrographique de surface est traversée par un cours d'eau principal » est codée sous la forme d'un champ porté par le thème HYDROGRAPHIE_SURFACIQUE : ce champ donne le code hydrographique du cours d'eau principal traversant l'entité hydrographique de surface.

La structuration des données au format SHAPEFILE - sphère eau est illustrée sous forme graphique en annexe 2.

2.3 Emprise géographique des données livrées

Les données livrées correspondent à tous les objets simples intersectant la zone demandée dans leur intégralité.



En conséquence, la géométrie des objets complexes codés sous la forme d'objets linéaires et surfaciques peut-être incomplète en limite de zone livrée : ainsi la géométrie des « régions hydrographiques », des « secteurs » et des « sous-secteurs » au format SHAPEFILE est « limitée » à l'ensemble des zones hydrographiques touchant la zone de livraison. Dans le cas d'une livraison d'une région administrative par exemple, la géométrie des « secteurs hydrographiques » situés en bord de région sera amputée des zones hydrographiques ne touchant pas la région administrative. De même la géométrie des « cours d'eau » est « limitée » à l'ensemble des tronçons hydrographiques élémentaires touchant la zone de livraison.

3. Informations sur le format de livraison

3.1 Description des fichiers livrés

Selon que l'utilisateur possède une version 32 bits ou une version 16 bits d'Arc View, une livraison BD CARTHAGE® au format SHAPEFILE obéit à l'organisation suivante :

```
BDC<numéro>_
├─ BDCARTHAGE
│  └─ TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.SHP
│     └─ TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.SHX
│        └─ TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.DBF
│           └─ TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.PRJ
│              └─ TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.AVL
│                 └─ TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.LYR
│                    └─ .....SHP
│                       └─ .....SHX
│                          └─ .....DBF
│                             └─ .....PRJ
│                                └─ .....AVL
│                                   └─ .....LYR
```

Remarque : <numéro> est un numéro de deux chiffres permettant d'identifier la zone de livraison (numéro de bassin hydrographique, de région ...).

Les fichiers SHAPEFILE contiennent la description des objets de la BD CARTHAGE ® et sont directement intégrables sous Arc View ou ArcGIS.

3.2 Conseils pour l'intégration sous Arc View

Importation des données :

L'exemple ci-après suppose une recopie des fichiers .SHP, .SHX, .DBF livrés dans le répertoire C:\BDCARTHAGE. L'utilisateur commencera par créer un nouveau projet Arc View (fichier .APR), qui lui servira de base de travail. Il ouvrira ensuite dans ce projet une nouvelle vue pour laquelle il choisira le titre adéquat et le mètre comme unités (Menu « Vue » → « Propriétés »).

L'ouverture des thèmes livrés s'effectue à partir de la commande « Ajouter un thème » du menu « Vue ». La fenêtre « Ajouter un thème » apparaît alors. Pour ouvrir le thème TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.SHP, on la complètera de la sorte :

Répertoire :	C:\BDCARTHAGE
Fichier :	TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.SHP
Type de sources de données:	sources de données vectorielles

Cliquez ensuite sur **OK**

⇒ Le thème TRONCON_HYDROGRAPHIQUE.SHP est ajouté à la vue courante.

L'utilisateur doit répéter la même opération pour chaque thème livré.

3.3 Généralités sur la symbolisation livrée

Afin que les données de la BD CARTHAGE® n'apparaissent pas, après l'importation sous Arc View ou ArcGIS, comme un enchevêtrement aveugle de lignes, de surfaces et de points, sans distinction de couleurs et de formes, il a été choisi de les symboliser par défaut dans les fichiers SHAPEFILE livrés. A l'issue de l'importation, tous les objets d'un même thème sont représentés :

- soit par un symbole unique,
- soit par des symboles variés ; chaque symbole correspond alors à une valeur particulière d'un des champs. Le champ, qui sert à différencier les représentations des objets d'une même table, est unique.

Par exemple, tous les objets du thème ZONE_HYDROGRAPHIQUE sont représentés par un symbole unique : un fond transparent bordé de noir. Par contre, les objets du thème TRONCON_HYDROGRAPHIQUE sont représentés par trois symboles différents, chaque symbole correspondant à une valeur du champ Largeur : l'épaisseur du trait dépend de la largeur du tronçon.

Cette symbolisation permet une identification rapide de chaque classe d'objets de la BD CARTHAGE®. Son but est de favoriser la lisibilité des données de la BD CARTHAGE® à l'écran pour que l'utilisateur puisse les exploiter plus facilement.

Priorités d'affichage entre les tables :

L'utilisateur trouvera ci-dessous un ordre d'affichage des thèmes Arc View livrés, dont il pourra s'inspirer pour améliorer la lisibilité « écran » des données. Cette hiérarchisation peut être retrouvée « en montant et en descendant » les thèmes dans la table des matières de la vue courante.

Ordre d'affichage proposé :

REGION_HYDROGRAPHIQUE
SECTEUR
SOUS_SECTEUR
ZONE_HYDROGRAPHIQUE
HYDROGRAPHIQUE_TEXTURE
HYDROGRAPHIE_SURFACIQUE
COURS_D_EAU
TRONCON_HYDROGRAPHIQUE
LAISSE
NOEUD_HYDROGRAPHIQUE
POINT_EAU_ISOLE

Remarque : dans l'ordre proposé, le thème REGION_HYDROGRAPHIQUE doit être dessiné en premier : les objets des autres thèmes seront dessinés au-dessus des objets du thème REGION_HYDROGRAPHIQUE. Le thème POINT_EAU_ISOLE doit être dessiné en dernier.

Échelle de validité de la légende :

La symbolisation fournie n'est pas adéquate pour travailler à une échelle inférieure au 1 : 100 000 car l'affichage des données à une échelle inférieure apparaît comme saturé et peu lisible.

4. Présentation des rubriques

Ce document liste tous les thèmes d'objets de la BD CARTHAGE® Version 3.0 et leurs champs à l'issue de leur intégration sous Arc View.

Les définitions fournies dans ce document constituent un premier niveau relativement détaillé de la description du contenu de la BD CARTHAGE®.

En cas de doute sur l'une des définitions, il convient de se référer au texte du descriptif de contenu de la BD CARTHAGE® Version 3.0.

Chaque thème est décrit par :

- sa dénomination,
- son genre géométrique : ponctuel, linéaire, surfacique,
- une référence qui donne le nom des classes d'objets et/ou des relations correspondant dans le descriptif de contenu de la BD CARTHAGE® permettant de disposer des spécifications complémentaires,
- une définition,
- une rubrique légende qui donne des explications sur la symbolisation fournie.

Chaque champ est décrit par :

- sa dénomination,
- une définition,
- un type (numérique, chaîne, ...),
- une liste des valeurs possibles pour les champs énumérés,
- une unité (éventuellement).

5. Description de la bdcarthage v 3.0 au format SHAPEFILE– sphere-eau

5.1 La table attributaire NŒUD_HYDROGRAPHIQUE

Genre : ponctuel
Référence : nœud hydrographique
Définition : un nœud hydrographique correspond à une modification de l'écoulement de l'eau. C'est une extrémité d'un tronçon hydrographique.
Légende : les objets du thème NOEUD_HYDROGRAPHIQUE sont représentés par un symbole unique.

Cette table contient les champs suivants :

Champ ID_BDCARTH [AE]

Définition : identifiant BD CARTHAGE du nœud hydrographique. Ce champ est égal à l'ancien champ SOMHAE de la BDCARTHAGE V2.4 : le 1^{er} caractère correspond au code de l'Agence à laquelle appartient le nœud (cf page 23)

Type : numérique

Champ NATURE

Définition : nature du nœud hydrographique

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Inconnue*
- *Sans nature* : nœud hydrographique sans nature particulière
- *Barrage de retenue sans ouvrage* : barrage de retenue sans ouvrage de franchissement
- *Barrage de retenue avec ouvrage* : barrage de retenue avec ouvrage de franchissement
- *Barrage au fil de l'eau sans ouvrage* : barrage au fil de l'eau sans ouvrage de franchissement
- *Barrage au fil de l'eau avec ouvrage* : barrage au fil de l'eau avec ouvrage de franchissement
- *Ouvrage de franchissement de chutes* : écluse, pente d'eau, ascenseur à bateaux
- *Chute d'eau* : chute d'eau, cascade remarquable
- *Source d'intérêt touristique*
- *Autres ouvrages* : portes de gardes ...
- *Franchissement* : franchissement hydro/hydro
- *Embouchure* : embouchure, estuaire, delta
- *Perte*
- *Changement d'attribut*
- *Source simple* : source simple, confluent
- *En attente de mise à jour*
- *Autre valeur* : extrémité d'un tronçon « zéro NGF »

Champ TOPONYME

Définition : toponyme du nœud hydrographique

Type : chaîne

Champ CANDIDAT [AE]

Définition : proposition pour remplacer l'attribut « toponyme » ; cet attribut est rempli en attendant que la commission de toponymie de l'IGN lui accorde le statut de toponyme officiel

Type : chaîne

Champ COTE

Définition : altitude du nœud hydrographique ou du point d'eau isolé. La valeur 9999 correspond à une cote non renseignée.
Type : numérique
Unité : mètre

5.2 La table attributaire POINT_EAU_ISOLE

Genre : ponctuel
Référence : point d'eau isolé
Définition : un point d'eau isolé est un point d'eau non susceptible d'être relié au réseau hydrographique ; il s'agit des objets suivants, situés sur le territoire national : réservoirs, châteaux d'eau, stations de pompage, stations de traitement des eaux et plans d'eau inférieurs à 1ha.
Légende : les objets du thème POINT_EAU_ISOLE sont représentés par un symbole unique.

Cette table contient les champs suivants :

Champ ID_BDCARTH

Définition : identifiant BD CARTHAGE du point d'eau isolé
Type : numérique

Champ NATURE

Définition : nature du point d'eau isolé

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Inconnue*
- *Château d'eau*
- *Station de traitement* : station de traitement des eaux
- *Station de pompage*
- *Réservoir*
- *Plan d'eau* : plan d'eau < 1 ha

Champ TOPONYME

Définition : toponyme du point d'eau isolé

Type : chaîne

Champ CANDIDAT [AE]

Définition : proposition pour remplacer le champ « Toponyme » ; ce champ est rempli en attendant que la commission de toponymie de l'IGN lui accorde le statut de toponyme officiel

Type : chaîne

Champ COTE

Définition : altitude du point le plus haut de l'objet. La valeur 9999 correspond à une cote non renseignée.

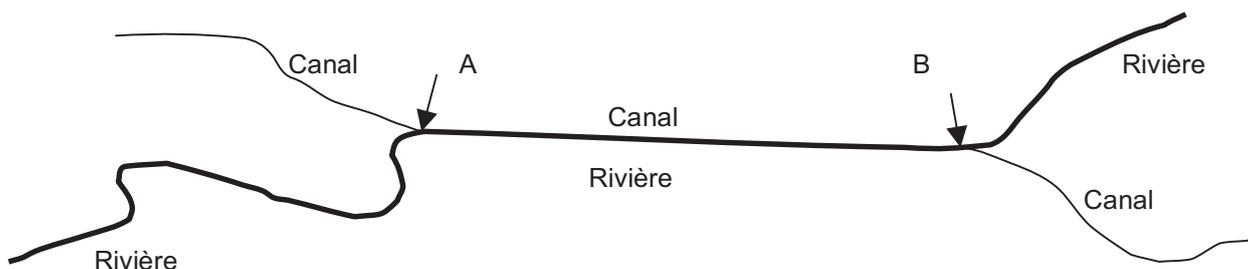
Type : numérique

Unité : mètre

5.3 La table attributaire TRONCON_HYDROGRAPHIQUE

Genre : linéaire
 Référence : tronçon hydrographique élémentaire, cours d'eau, relation « superposition entre tronçon », relation « tronçon élémentaire passe par entité hydrographique surfacique » et relation de composition « cours d'eau passe par tronçon élémentaire »
 Définition : un tronçon hydrographique élémentaire correspond à l'axe du lit d'une rivière, d'un ruisseau ou d'un canal.

gestion des superpositions de cours d'eau :



Dans ce cas de figure, la BD CARTHAGE® contient deux tronçons hydrographiques élémentaires portant le même identifiant entre A et B : le premier tronçon « porte » le canal (de code « A---0082 ») et le deuxième tronçon « porte » la rivière (de code « A---0060 »). Si la rivière est plus « importante » que le canal au sens de la BD CARTHAGE® (en général, la partie rivière est considérée comme principale par rapport à la partie canalisée), le tronçon « portant la rivière » est le tronçon « principal ». Le champ Num_Superp indique le niveau de superposition des tronçons éventuellement superposés au tronçon principal. Les tronçons superposés sont identiques géométriquement, mais diffèrent sémantiquement au niveau des champs liés aux cours d'eau passant par les tronçons (Code_hydro, Ss_Milieu, Toponyme1, Candidat1, FPKH, TPKH et C_Hyd_CDO) et du numéro de superposition. Voici un exemple de ce que pourraient valoir les champs des deux tronçons :

Champs	Tronçon portant la rivière	Tronçon portant le canal
ID_BDCARTH	200 000 001	200 000 001
NUM_SUPERP	0	1
ETAT	Permanent	Permanent
SENS	Sens du tronçon	Sens du tronçon
LARGEUR	Plus de 50 mètres	Plus de 50 mètres
NATURE	Cours d'eau naturel	Cours d'eau naturel
NAVIGABLE	Navigable	Navigable
GABARIT	Sans objet	Sans objet
POS_SOL	A ciel ouvert	A ciel ouvert
CODE_HYDRO	A5850060	A5850082
SS_MILIEU	A	G
C_HYD_CDO	A---0060	A---0082
C_ENT_SURF		
TOPONYME1	Rivière	Canal
CANDIDAT1		
TOPONYME2		
CANDIDAT2		
FPKH	642 850	0
TPKH	643 793	0
ID_ND_INI	200 000 101	200 000 101
ID_ND_FIN	200 000 102	200 000 102

Légende : les objets du thème TRONCON_HYDROGRAPHIQUE (*TR_HYDRO*) sont symbolisés suivant les valeurs du champ Largeur : ils sont donc représentés par quatre symboles différents.

Cette table contient les champs suivants :

Champ ID_BDCARTH [AE]

Définition : identifiant BD CARTHAGE du tronçon hydrographique élémentaire. Ce champ est égal à l'ancien champ ARCHAE de la BDCARTHAGE V2.4 : le 1^{er} caractère correspond au code de l'Agence à laquelle appartient le tronçon (cf page 23)

Type : numérique

Champ NUM_SUPERP [AE]

Définition : nombre numérique donnant le niveau de superposition du tronçon superposé sur le tronçon « principal » : vaut 1 pour le premier tronçon qui se superpose, 2 pour le second ... Il est déterminé selon l'importance de chaque cours d'eau. Ce champ est nul, si aucun tronçon n'est superposé au tronçon décrit ou si le tronçon décrit est le tronçon principal

Type : numérique

Champ ETAT

Définition : état du tronçon hydrographique élémentaire

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Inconnu* : l'existence d'un écoulement est certaine, mais le tracé n'est pas connu avec précision.
- *Permanent* : écoulement permanent
- *Intermittent* : écoulement intermittent
- *Fictif* : tronçon créé pour assurer la continuité des cours d'eau à la traversée des éléments surfaciques (valeurs « Eau douce permanente » ou « Eau salée permanente » du champ Nature des éléments surfaciques) ou lorsque le tracé n'est pas connu avec précision (parcours souterrain).
- *A sec* : canal abandonné, à sec
- *En attente de mise à jour*

Champ SENS

Définition : sens d'écoulement des eaux sur le tronçon élémentaire

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Inconnu*
- *Sens du tronçon* : le sens d'écoulement des eaux est le sens du tronçon (nœud initial → nœud final). Le sens d'un tronçon est aussi donné par le sens des arcs qui le composent.
- *Sens variable* : sens d'écoulement variable dont bief de partage
- *En attente de mise à jour*

Champ LARGEUR

Définition : largeur du tronçon hydrographique

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *De 0 à 15 mètres*
- *Entre 15 et 50 mètres*
- *Plus de 50 mètres*
- *Sans objet* : seulement si l'état est inconnu ou fictif.
- *En attente de mise à jour*

Champ NATURE

Définition : ce champ marque le caractère naturel ou artificiel du cours d'eau

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Sans objet* : seulement si l'état est inconnu ou fictif
- *Cours d'eau naturel*
- *Canal, chenal* : voie d'eau artificielle
- *Aqueduc, conduite forcée* : tuyau ou chenal artificiel conçu pour le transport de l'eau (usage hydroélectrique, industriel ...)
- *Estuaire* : écoulement d'un cours d'eau dans la zone d'estran
- *En attente de mise à jour*
- *Autre valeur* : tronçon allant de la cote « zéro NGF » à la laisse des plus basses eaux

Champ NAVIGABLE

Définition : navigabilité du tronçon élémentaire

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Inconnue*
- *Navigable* : inscrit à la nomenclature des voies navigables
- *Non navigable*
- *En attente de mise à jour*

Champ GABARIT [AE]

Définition : classement des voies navigables selon la circulaire de 1976

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Sans objet* : si la navigabilité est inconnue ou non navigable
- *0* : classe 0
- *1* : classe 1
- *2* : classe 2
- *3* : classe 3
- *4* : classe 4
- *5* : classe 5
- *6* : classe 6
- *7* : classe 7
- *En attente de mise à jour*

Champ POS_SOL

Définition : position du tronçon élémentaire par rapport au sol

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Au sol* : tuyau posé au sol
- *Sur pont* : élevé sur pont, arcade ou mur
- *Souterrain*
- *A ciel ouvert* : au sol, à ciel ouvert
- *Inconnue*
- *En attente de mise à jour*

Champ CODE_HYDRO [AE]

Définition : code du tronçon hydrographique, composé de huit caractères. Les quatre premiers correspondent à la zone hydrographique contenant le tronçon élémentaire, les trois suivants représentent le code du tronçon dans la zone hydrographique. Le huitième caractère est le code milieu (0 = cours d'eau naturel, 1 = bras naturel, 2 = voie d'eau artificielle, ...). Peut éventuellement ne porter aucun caractère.

Type : chaîne

Champ SS_MILIEU [AE]

Définition : Code du sous-milieu hydrographique. Peut éventuellement ne porter aucune valeur

Type : chaîne

Valeurs possibles :

Cours d'eau naturel ou aménagé (code milieu = 0) :

- A : Naturel et/ou aménagé
- B : Canalisé
- C : Karstique
- D : Autres (endoréique, phréatique ...)

Bras naturel ou aménagé (code milieu = 1) :

- 1 : Bras naturel ou aménagé

Voies d'eau artificielles (code milieu = 2) :

- G : Canal de navigation
- H : Canal de contre-digue
- J : Canal d'alimentation ou de restitution
- K : Bief de partage
- L : Canal de décharge
- M : Conduite forcée
- N : Autres écoulements artificiels (Watergang, chenaux ...)

Champ C_HYD_CDO [AE]

Définition : code générique du cours d'eau (identifiant pour la codification hydrographique) passant par le tronçon élémentaire. Si le tronçon n'appartient à aucun cours d'eau, ce champ est vide.

Type : chaîne

Champ C_ENT_SURF [AE]

Définition : code générique de l'entité hydrographique de surface traversée par le tronçon hydrographique élémentaire. Si le tronçon hydrographique ne traverse aucune entité hydrographique de surface, ce champ est vide.

Type : numérique

Champ TOPONYME1

Définition : nom IGN du cours d'eau passant par le tronçon élémentaire. Il peut éventuellement ne comporter aucune valeur

Type : chaîne

Champ CANDIDAT1 [AE]

Définition : premier nom donné localement au cours d'eau par les Agences de l'Eau. C'est dans la plupart des cas le nom du cours d'eau passant par le tronçon. Cet attribut peut être vide. Ce champ sera proposé à la commission de toponymie de l'IGN qui décidera s'il peut remplacer le champ « Toponyme1 ».

Type : chaîne

Champ TOPONYME2 [AE]

Définition : second nom donné localement au cours d'eau par les Agences de l'eau. Il peut éventuellement ne comporter aucune valeur.

Type : chaîne

Champ CANDIDAT2 [AE]

Définition : troisième nom local du tronçon. Il n'a pas vocation à remplacer « Toponyme2 ».

Type : chaîne

Champ FPKH [AE]

Définition : valeur en **mètres** du point kilométrique du nœud initial du tronçon hydrographique. Le nœud initial du tronçon est déterminé d'après la logique d'écoulement des eaux ; il s'agit du nœud situé en amont. FPKH est calculé par rapport à l'embouchure du cours d'eau passant par le tronçon ; ce champ est nul, si aucun cours d'eau ne passe par le tronçon ou si il n'a pas été calculé.

Type : numérique

Unité : mètre

Champ TPKH [AE]

Définition : valeur en **mètres** du point kilométrique du nœud final du tronçon hydrographique. Le nœud final du tronçon est déterminé d'après la logique d'écoulement des eaux ; il s'agit du nœud situé en aval.

TPKH est calculé par rapport à l'embouchure du cours d'eau passant par le tronçon ; ce champ est nul, si aucun cours d'eau ne passe par le tronçon ou si il n'a pas été calculé. Le point kilométrique de l'embouchure d'un cours d'eau vaut 1000000. Les points kilométriques vont en décroissant lorsque l'on remonte le cours d'eau.

Type : numérique

Unité : mètre

Champ ID_ND_INI

Définition : identifiant BD CARTHAGE du nœud initial du tronçon

Type : numérique

Champ ID_ND_FIN

Définition : identifiant BD CARTHAGE du nœud final du tronçon

Type : numérique

5.4 La table attributive COURS_D_EAU

Genre : linéaire

Référence : cours d'eau

Définition : portion connexe du réseau hydrographique lié à un toponyme, possédant une source ou origine et un confluent ou embouchure. **La géométrie des « cours d'eau » n'est pas forcément complète et est « limitée » à l'ensemble des tronçons hydrographiques touchant la zone de livraison.**

Légende : les objets du thème COURS_D_EAU sont représentés par un symbole unique.

Cette table contient les champs suivants :

Champ CODE_HYDRO [AE]

Définition : code générique du cours d'eau (identifiant pour la codification hydrographique).

Type : chaîne

Champ CLASSE

Définition : la classification établit une hiérarchie décroissante entre les cours d'eau.

Type : chaîne

Valeurs possibles :

- 1 : tout cours d'eau d'une longueur supérieure à 100 km ou tout cours d'eau se jetant dans une « embouchure logique »¹ et d'une longueur supérieure à 25 km.
- 2 : tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 50 et 100 km ou tout cours d'eau se jetant dans une « embouchure logique » et d'une longueur supérieure à 10 km.
- 3 : tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 25 et 50 km.
- 4 : tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 10 et 25 km.
- 5 : tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 5 et 10 km.
- 6 : tous les autres cours d'eau hormis ceux issus de la densification du réseau.
- 7 : cours d'eau issus de la densification du réseau.

Champ TOPONYME

Définition : nom du cours d'eau.

Type : chaîne

¹ Une embouchure logique est une interruption du réseau formé par les cours d'eau naturels : mer, puits ...

Champ CANDIDAT [AE]

Définition : proposition pour remplacer le champ « Toponyme » ; ce champ est rempli en attendant que la commission de toponymie de l'IGN lui accorde le statut de toponyme officiel

Type : chaîne

Les toponymes « cartographiques » des cours d'eau avec les majuscules sont disponibles sur le site internet « <ftp://ftp.rndc.tm.fr/carthage> ».

5.5 La table attributaire LAISSE

Genre : linéaire
Référence : laisse
Définition : en bord de mer , limite des plus hautes et des plus basses eaux
Légende : les objets du thème LAISSE (*LAISSE*) sont symbolisés suivant les valeurs du champ Nature.

Cette table contient les champs suivants :

Champ ID_BDCARTH

Définition : identifiant BD CARTHAGE de la laisse
Type : numérique

Champ NATURE

Définition : nature de la laisse
Type : chaîne

Valeurs possibles :

- *Laisse des plus hautes eaux non rocheuse* : limite des plus hautes eaux naturelle, non rocheuse
- *Laisse des plus hautes eaux rocheuse* : limite des plus hautes eaux naturelle, rocheuse
- *Laisse des plus hautes eaux artificielle*
- *Laisse des plus hautes eaux arbitraire* : fermeture arbitraire d'un estuaire
- *Laisse des plus basses eaux naturelle* (zéro bathymétrique)
- *Laisse des plus basses eaux arbitraire* : fermeture arbitraire d'un estuaire

5.6 La table attributaire HYDROGRAPHIE_TEXTURE

Genre : surfacique
Référence : hydrographie de texture
Définition : zone plate au drainage complexe dans laquelle circule un ensemble de portions de cours d'eau formant un entrelacs de bras d'égale importance.
Légende : les objets du thème HYDROGRAPHIQUE_TEXTURE (*HDT*) sont représentés par un symbole unique

Cette table contient les champs suivants :

Champ ID_BDCARTH

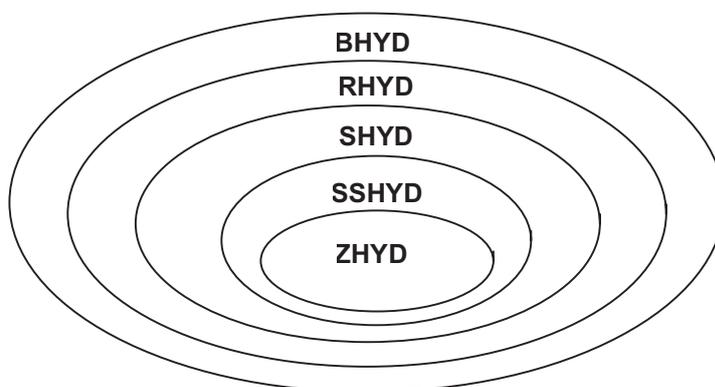
Définition : identifiant BD CARTHAGE de l'élément d'hydrographie de texture
Type : numérique

Champ TOPONYME

Définition : toponyme de l'élément d'hydrographie de texture. Ce champ peut être vide.
Type : chaîne

5.8 La table attributaire ZONE_HYDROGRAPHIQUE

- Genre : surfacique
- Référence : zone hydrographique, relation « une zone hydrographique a un nœud hydro pour exutoire », relation « une zone hydrographique a un cours d'eau pour drain principal » et en partie sous-secteur, secteur et région hydrographique
- Définition : la zone hydrographique correspond au découpage en bassins versants élémentaires. Le territoire métropolitain français est composé de six bassins hydrographiques¹ (BHYD) correspondant aux limites hydrographiques des 6 Agences de l'Eau².
Les bassins hydrographiques sont découpés en éléments de plus en plus fins, emboîtés selon quatre niveaux :
- une région hydrographique **RHYD** contient au maximum dix secteurs hydrographiques,
 - un secteur hydrographique **SHYD** contient au maximum dix sous-secteurs hydrographiques,
 - un sous-secteur hydrographique **SSHYD** contient au maximum dix zones hydrographiques,
 - la zone hydrographique **ZHYD** est l'élément le plus fin de la partition du territoire en bassins versants hydrographiques.



¹ Découpage des six bassins hydrographiques :

Le bassin Artois-Picardie contient les régions hydrographiques **D** et **E**

Le bassin Rhin-Meuse contient les régions hydrographiques **A** et **B**

Le bassin Seine-Normandie contient les régions hydrographiques **F**, **G**, **H** et **I**

Le bassin Loire-Bretagne contient les régions hydrographiques **J**, **K**, **L**, **M**, **N** et les secteurs **Z4** et **Z5**

Le bassin Adour-Garonne contient les régions hydrographiques **O**, **P**, **Q**, **R**, **S** et le secteur **Z6**

Le bassin Rhône-Méditerranée-Corse contient les régions hydrographiques **U**, **V**, **W**, **X**, **Y** et le secteur **Z8**

² Code des Agences de l'Eau :

Code de l'Agence de l'Eau	de	Libellé de l'Agence de l'eau	de	Nom de l'Agence de l'Eau
1		AP		Artois-Picardie
2		RM		Rhin-Meuse
3		SN		Seine-Normandie
4		LB		Loire-Bretagne
5		AG		Adour-Garonne
6		RMC		Rhône-Méditerranée-Corse

Légende : les objets du thème ZONE_HYDROGRAPHIQUE sont représentés par un symbole unique

Cette table contient les champs suivants :

Champ CODE_ZONE [AE]

Définition : code de la zone hydrographique composé de 4 caractères. Les 3 premiers caractères permettent d'identifier dans quelle région, secteur et sous-secteur hydrographiques se situe la zone hydrographique.

Type : chaîne

Champ LIBELLE [AE]

Définition : désignation de la zone hydrographique

Type : chaîne

Champ ID_ND_EXUT

Définition : identifiant BD CARTHAGE du nœud hydrographique exutoire de la zone hydrographique, c'est à dire le nœud par lequel l'eau s'écoule de la zone. Ce champ est nul, si la zone ne contient pas de cours d'eau.

Type : numérique

Champ C_HYD_CDO [AE]

Définition : code générique du cours d'eau « drain principal » de la zone hydrographique : c'est le cours d'eau le plus important passant par le point exutoire de la zone ou la « ligne » exutoire dans le cas d'une zone littorale ou d'une zone s'appuyant sur le contour d'un plan d'eau. Ce champ est vide, si la zone ne contient pas de cours d'eau.

Type : chaîne

Champ PKHEXUT [AE]

Définition : valeur du point kilométrique de l'exutoire sur le cours d'eau le plus important de la zone (appelé aussi drain principal de la zone) passant par ce nœud. Il prend la valeur « 0 » s'il n'existe pas de drain principal dans la zone ou si il n'a pas été calculé.

Type : numérique

Unité : mètre

Champ LIB_SS_SEC [AE]

Définition : désignation du sous-secteur contenant la zone hydrographique

Type : chaîne

Champ LIB_SECT [AE]

Définition : désignation du secteur contenant la zone hydrographique

Type : chaîne

Champ LIB_REGION [AE]

Définition : désignation de la région hydrographique contenant la zone hydrographique

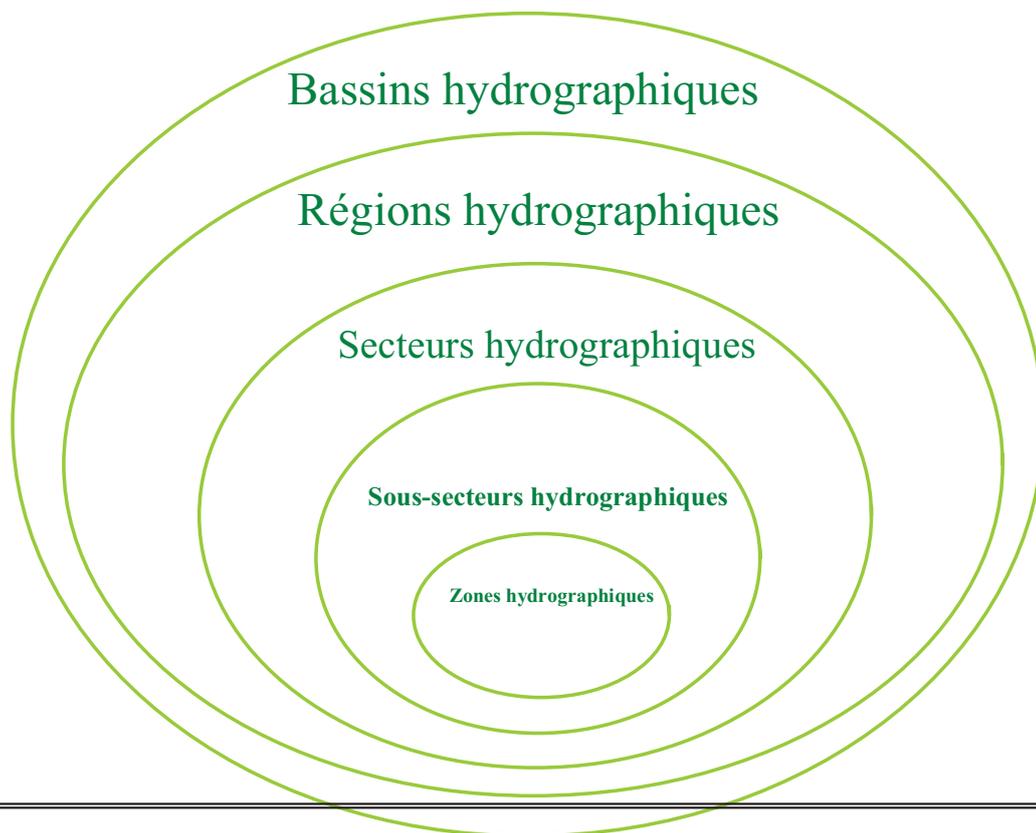
Type : chaîne

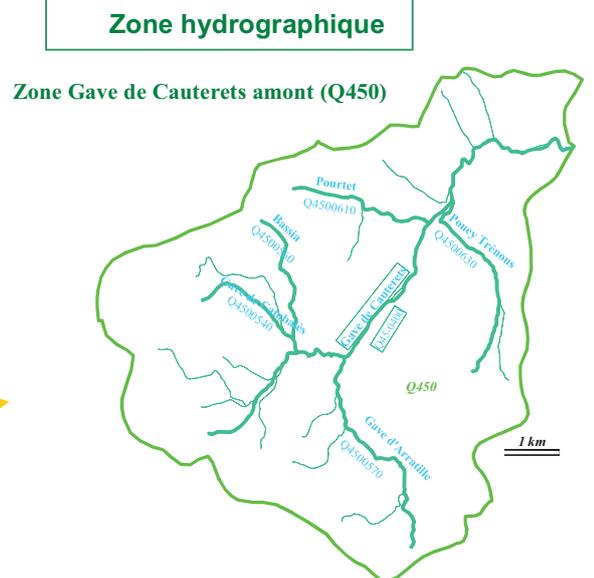
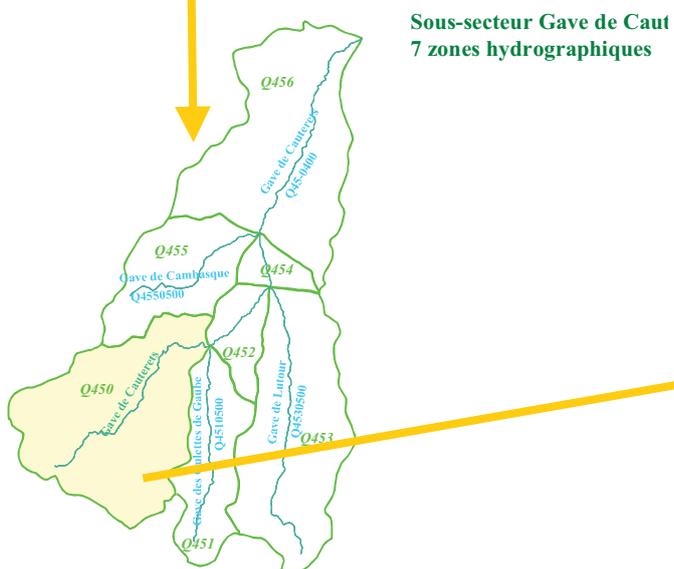
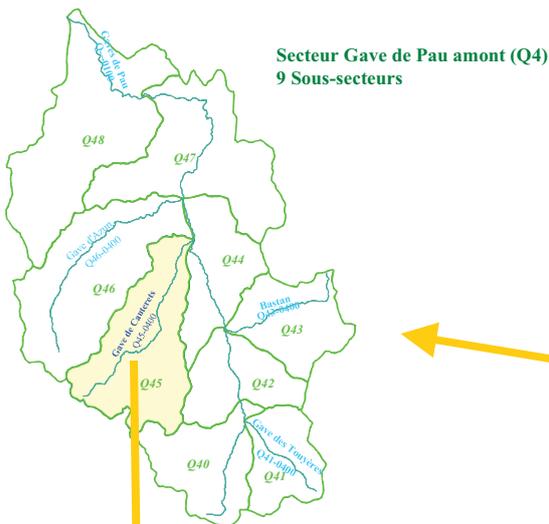
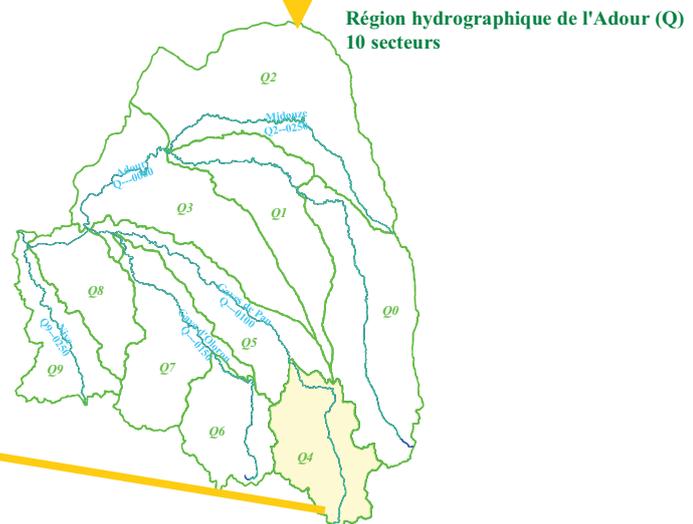
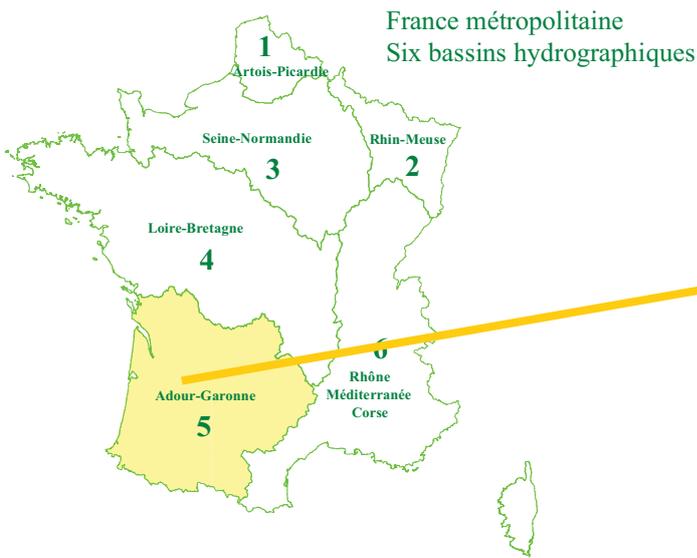
Annexe 1 : illustration de la codification hydrographique des cours d'eau

Code hydrographique
= identifiant national unique sur 8 caractères

- les quatre premiers  référence à une surface (zone hydrographique)
- les trois suivants  référence au tronçon de cours d'eau dans la zone hydrographique
- le dernier  identification du milieu aquatique du tronçon (0=naturel, 1=bras, 2=canal, 3=plan d'eau, 4=zone humide, 5=littoral)

Organisation du découpage hydrographique national en zones hydrographiques





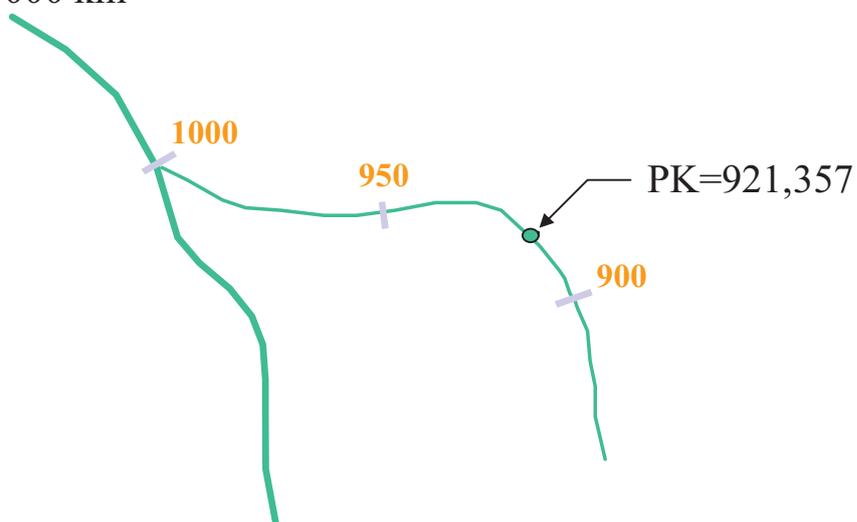
Exemples de codification des cours d'eau

- Cours d'eau à l'intérieur d'une seule zone hydrographique (codifiés de **050** à **999**) : la Viveronne
> **P7370500**
- Cours d'eau traversant plusieurs zones hydrographiques (codifiés de **040** à **049**) : la Tude
> **P73-0430** (3^{ème} caractère variable)
- Cours d'eau traversant plusieurs sous-secteurs et plusieurs zones hydrographiques (codifiés de **025** à **039**) : la Dronne
> **P7-0250** (2^{ème} et 3^{ème} caractères variables)

Localisation des ouvrages ou évènements sur un cours d'eau

Le Point Kilométrique (PK)

- Coordonnée curviligne pour repérer un point sur un cours d'eau
- Calculé à partir du point confluent dont le PK est fixé à 1000 km



Annexe n°30 : Explication des champs de la table des zones hydrographiques

Les champs de la table des zones hydrographiques sont les suivants :

- CODE_ZONE : il s'agit du code à quatre caractères du bassin versant de la zone hydrographique. Arrive en premier une lettre. Elle correspond à l'identifiant du bassin versant régional (de U à Z8 pour le bassin RMC), arrive ensuite un chiffre. Il se rapporte au numéro de secteur (de 0 à 9). Le deuxième chiffre indique le numéro de sous-secteur (de 0 à 9). Le troisième chiffre est le numéro de zone hydrographique (de 0 à 9). Ainsi, la zone hydrographique de l'embouchure du Rhône est nommée V730.
- LIBELLE : désignation de la zone hydrographique.
- ID_ND_EXUT : identifiant du nœud hydrographique exutoire de la zone hydrographique.
- C_HYD_CDO : code du cours d'eau « drain principal » de la zone hydrographique. C'est le cours d'eau le plus important passant par le point exutoire de la zone.
- PKHEXUT : valeur en mètre du point kilométrique de l'exutoire sur le cours d'eau le plus important de la zone passant par ce nœud. Cette notion est expliquée lors de la description de la couche des tronçons hydrographiques.
- LIB_SS_SEC : désignation du sous-secteur contenant la zone hydrographique.
- LIB_SECT : désignation du secteur contenant la zone hydrographique.
- LIB_REGION : désignation de la région hydrographique contenant la zone hydrographique.

L'IGN prend en compte 6 grands bassins hydrographiques constituant l'ensemble de la France (schéma page 27 de l'annexe n°) : 1 : Artois-Picardie, 2 : Rhin-Meuse, 3 : Seine-Normandie, 4 : Loire-Bretagne, 5 : Adour-Garonne, 6 : Rhône Méditerranée Corse.

Ensuite, ces 6 bassins sont divisés en secteurs hydrographiques, selon les affluents des cours d'eau principaux. Pour le bassin Rhône-Méditerranée-Corse (RMC), il y en a 6 : U, V, W, X, Y et Z8. Chaque lettre de l'alphabet est utilisée sur les 6 bassins hydrographiques et la lettre Z est divisée en Z4, Z5 (pour Loire-Bretagne), Z6 (pour Adour-Bretagne) et donc Z8. Les autres lettres sont divisées selon la page 22 de l'annexe n°.

Ces secteurs sont ensuite divisés en sous-secteurs hydrographiques avec un maximum de dix par secteurs (de 0 à 9).

Enfin, les sous-secteurs sont divisés en zones hydrographiques avec un maximum de dix par sous-secteurs (de 0 à 9).

Annexe n°31 : Explication des champs de la table des tronçons hydrographiques

Les champs de la table des tronçons hydrographiques sont les suivants :

- ID_BDCARTH : identifiant BD CARTHAGE du tronçon hydrographique élémentaire. Le 1^{er} caractère correspond au code du bassin hydrographique auquel appartient le tronçon (pour RMC : 6).
- NUM_SUPERP : niveau de superposition du tronçon superposé sur le tronçon « principal » : *1 pour le premier tronçon superposé, 2, pour le second...*
- ETAT : état du tronçon hydrographique élémentaire : *inconnu, permanent, intermittent, fictif, à sec, en attente de mise à jour.*
- SENS : sens d'écoulement des eaux sur le tronçon élémentaire : *inconnu, sens du tronçon (nœud initial vers nœud final), sens variable, en attente de mise à jour.*
- LARGEUR : largeur du tronçon hydrographique : *de 0 à 15 mètres, entre 15 et 50 mètres, plus de 50 mètres, sans objet, en attente de mise à jour.*
- NATURE : caractère naturel ou artificiel du cours d'eau : *sans objet ; cours d'eau naturel ; canal, chenal ; aqueduc, conduite forcée ; estuaire ; en attente de mise à jour ; autre valeur.*

- NAVIGABLE : navigabilité du tronçon élémentaire : *inconnue, navigable, non navigable, en attente de mise à jour.*
- GABARIT : classement des voies navigables selon la circulaire de 1976 : *classe 0, classe 1, classe 2, classe 3, classe 4, classe 5, classe 6, classe 7, en attente de mise à jour.*
- POS_SOL : position du tronçon élémentaire par rapport au sol : *au sol, sur pont, souterrain, à ciel ouvert, inconnue, en attente de mise à jour.*
- CODE_HYDRO : code du tronçon hydrographique, composé de huit caractères. Les 4 premiers correspondent à la zone hydrographique comme expliqué dans la description de la zone hydrographique. Les trois suivants correspondent au code du tronçon dans la zone hydrographique et le huitième est le code milieu : 0 = cours d'eau naturel, 1 = bras naturel, 2 = voie d'eau artificielle, 3 = plan d'eau, 4 = zone humide et 5 = littoral.
- SS_MILIEU : code du sous-milieu hydrographique.
- C_HYD_CDO : code générique du cours d'eau passant par le tronçon élémentaire.
- C_ENT_SURF : code générique de l'entité hydrographique traversée par le tronçon hydrographique.
- TOPONYME1 : nom IGN du cours d'eau passant par le tronçon élémentaire.
- CANDIDAT1 : premier nom donné localement au cours d'eau par les Agences de l'Eau. Dans la plupart des cas, il s'agit du nom du cours d'eau passant par le tronçon. Ce champ est proposé à la commission toponymie de l'IGN qui décide s'il peut remplacer le champ « Toponyme1 ».
- TOPONYME2 : second nom donné localement au cours d'eau par les Agences de l'Eau.
- CANDIDAT2 : troisième nom local du tronçon. Il n'a pas vocation à remplacer « Toponyme2 ».
- FPKH : valeur en mètres du point kilométrique du nœud initial du tronçon hydrographique. Le nœud initial du tronçon est le nœud hydrographique situé en amont. FPKH est calculé par rapport à l'embouchure du cours d'eau passant par le tronçon.
- TPKH : valeur en mètres du point kilométrique du nœud final du tronçon hydrographique. Le nœud final du tronçon correspond au nœud hydrographique situé en aval. TPKH est calculé par rapport à l'embouchure du cours d'eau passant par le tronçon. Le point kilométrique de l'embouchure d'un cours d'eau vaut 1 000 000. Les points kilométriques vont en décroissant lorsque l'on remonte le cours d'eau.
- ID_ND_INI : identifiant BD CARTHAGE du nœud initial du tronçon.
- ID_ND_FIN : identifiant BD CARTHAGE du nœud final du tronçon.

Annexe n°32 : Explication des champs de la table des cours d'eau

Les champs de la table des cours d'eau sont les suivants :

- CODE_HYDRO : code générique des cours d'eau (correspondant à C_HYD_CDO de la table des zones hydrographiques et des tronçons hydrographiques).
- CLASSE : hiérarchie décroissante entre les cours d'eau de 1 à 7. Le Rhône a la classe 1.
- TOPONYME : nom du cours d'eau (correspondant à TOPONYME1 de la table des tronçons hydrographiques).
- CANDIDAT : proposition pour remplacer le champ « Toponyme » : ce champ est rempli en attendant que la commission de toponymie de l'IGN lui accorde le statut de toponyme officiel.

Annexe n°33 : Explication des champs de la table des noeuds hydrographiques

Les champs de la table des noeuds hydrographiques sont les suivants :

- ID_BDCARTH : identifiant ID BDCARTHAGE du nœud hydrographique.
- NATURE : la nature du nœud hydrographique est selon *inconnue, sans nature, barrage de retenue sans ouvrage, barrage de retenue avec ouvrage, barrage au fil de l'eau sans ouvrage, barrage au fil de l'eau avec ouvrage, ouvrage de franchissement de chutes, chute d'eau, source d'intérêt touristique, autres ouvrages, franchissement, embouchure, perte, changement d'attribut, source simple, en attente de mise à jour, autre valeur.*
- TOPONYME : toponyme du nœud hydrographique
- CANDIDAT : proposition de remplacement de l'attribut « toponyme ». L'attribut est rempli en attendant que la commission de toponymie de l'IGN lui accorde le statut de toponyme officiel.
- COTE : altitude du nœud hydrographique ou du point isolé. La valeur 9999 correspond à une cote non renseignée.

Annexe n°34 : Interface pgAdmin III

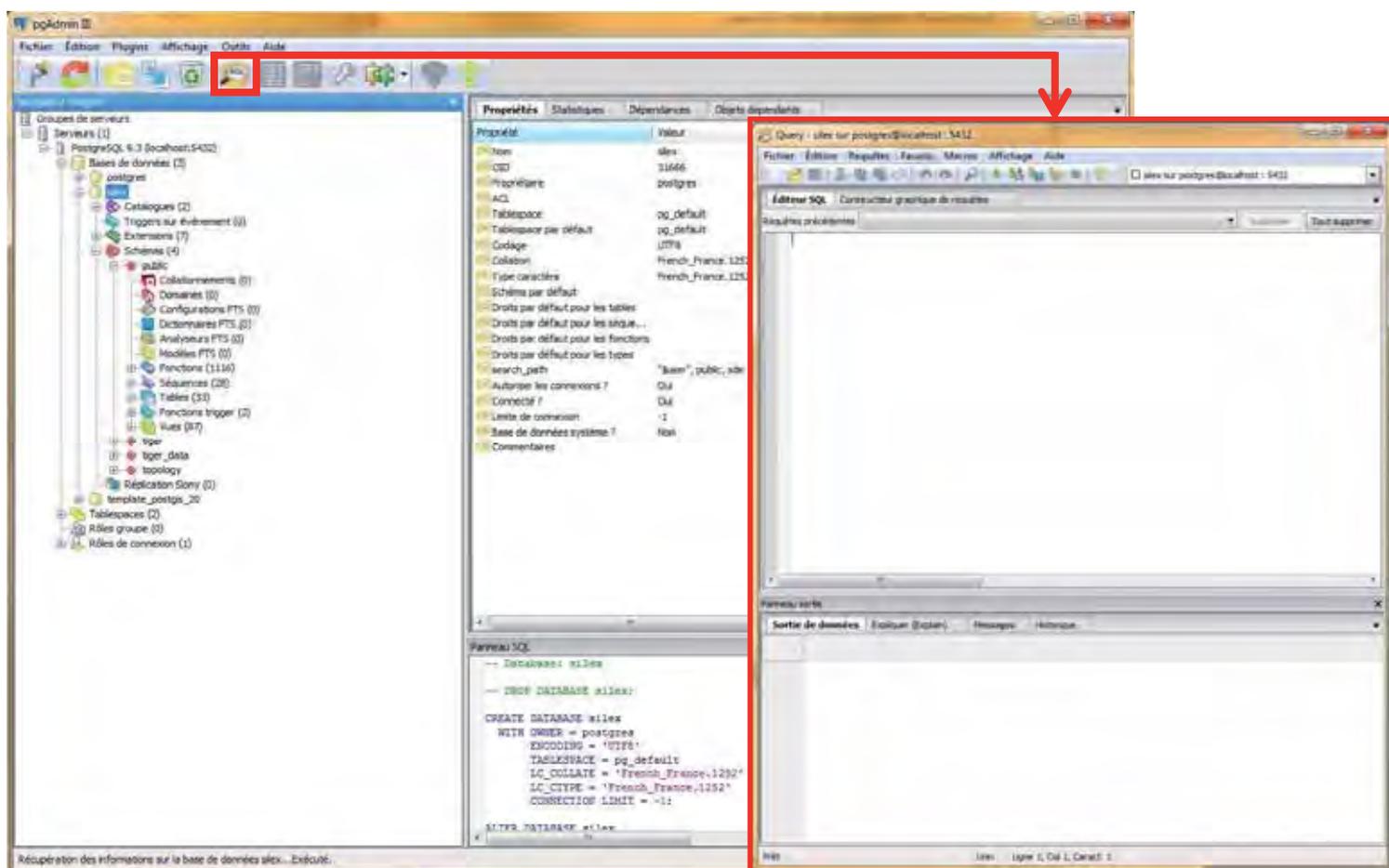


Figure : Schéma de l'interface pgAdmin III du logiciel SGBD PostgreSQL (à gauche) et de l'éditeur de requête SQL (à droite).

Annexe n°35 : Sélectionner selon les attributs

Cette fonction a deux localisations :

- dans la barre d'outils d'ArcGIS après avoir cliqué sur l'onglet « Sélection »
- dans la table attributaire de la couche département après un clic sur l'onglet en haut à gauche

Dans le premier cas, une fenêtre s'ouvre. Schéma :

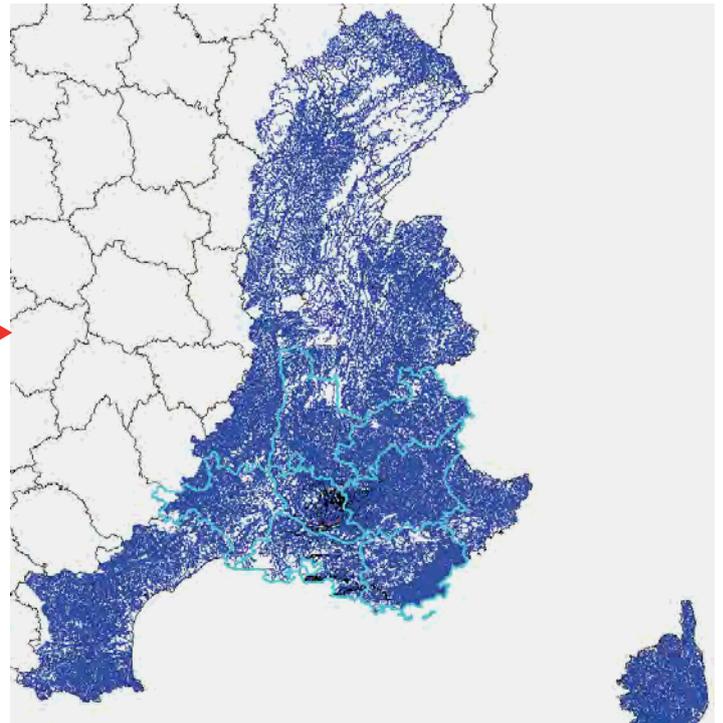
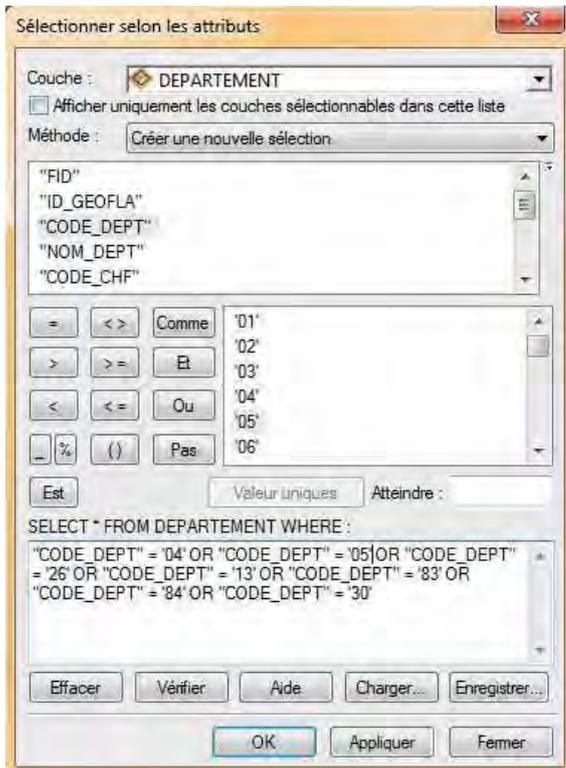


Schéma de la sélection de départements (à gauche) sur ArcGIS et de son résultat sur ArcMap (à droite en bleu clair).

Annexe n°36 : Sélectionner selon l'emplacement

Cette fonction est localisée dans la barre d'outils d'ArcGIS après avoir cliqué sur l'onglet « Sélection ». Schéma :

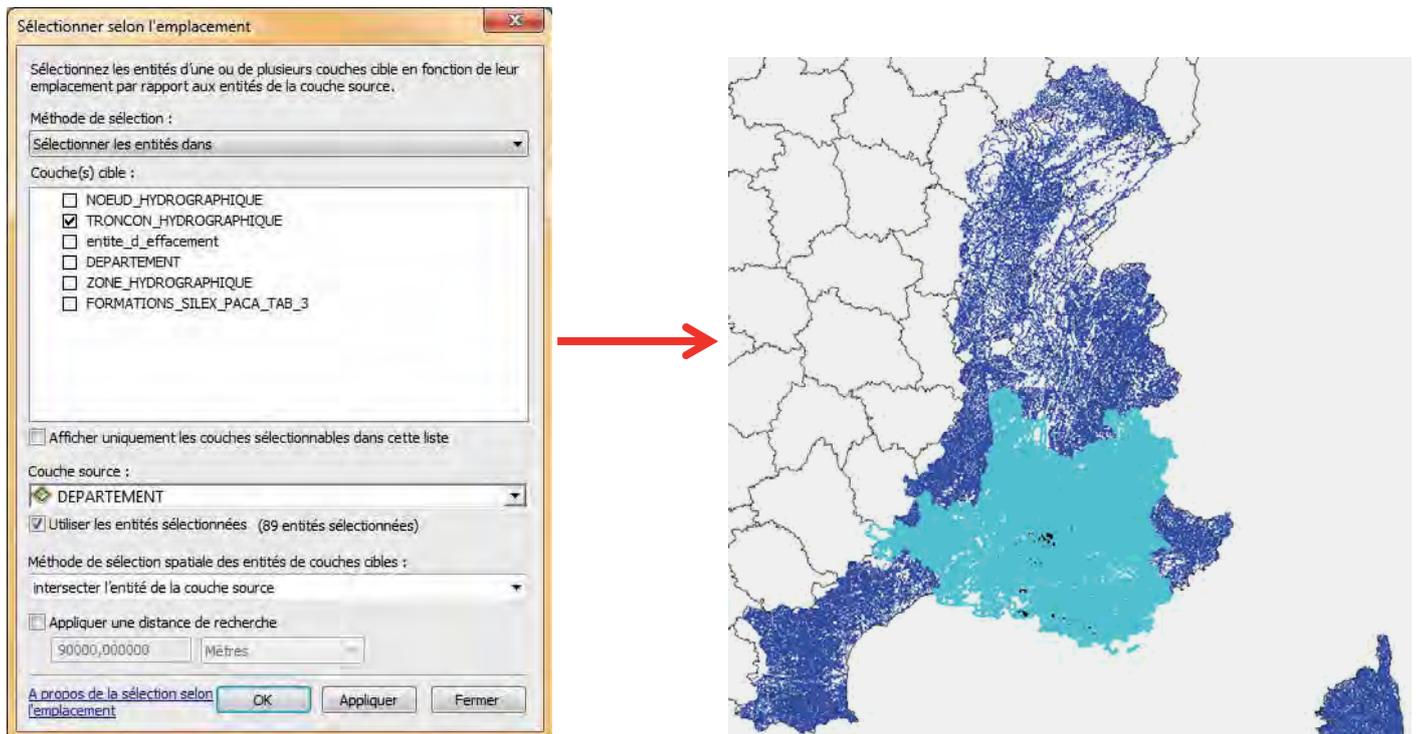


Figure : Schéma de la sélection des tronçons hydrographiques superposés aux départements choisis figure sur ArcGIS.

Avec l'outil « Créer une couche à partir des entités sélectionnées », obtenu après avoir effectué un clic droit sur la couche des tronçons hydrographiques, une nouvelle couche apparaît. Elle ne contient que les tronçons sélectionnés dans la couche précédente.

Annexe n°37 : Découper

Cette fonction permet de superposer la couche donnée en entrée avec la couche de découpage et d'en produire une nouvelle couche. Celle-ci contient les données attributaires de la première couche ainsi que l'intersection de sa géométrie avec la deuxième couche.

Elle est obtenue en cliquant sur « Découper » dans l'onglet « Géotraitement » de la barre d'outils. Schéma :



Schéma explicatif de l'utilisation de la fonction « découper » d'ArcGIS.

Annexe n°38 : Tri des cours d'eau par leur nature

Pour cela, en ouvrant la table attributaire de la couche, un double-clic est effectué sur le nom du champ NATURE. Cela permet un tri par ordre croissant de la table suivant la colonne NATURE. Les lignes contenant les identifiants : « Aqueduc, conduite forcée » ou « Canal, chenal » sont sélectionnées. Puis, après avoir ouvert une session de mise à jour sur la couche des tronçons hydrographiques, ces lignes sont supprimées en appuyant sur l'onglet croix, à droite des onglets de la barre d'outils de la table attributaire. Ce même tri est effectué sur la colonne TOPONYME1, les lignes correspondant aux béals, aux canaux, aux combes béals, aux fosses et aux fossés, eux aussi artificiels sont effacées.

Annexe n°39 : Fusionner

Cette fonction permet de fusionner des entités à l'intérieur d'une même couche selon un champ spécifié. Dans ce champ, une récurrence d'attributs est observée, c'est-à-dire que plusieurs mêmes valeurs interviennent plusieurs fois dans de mêmes cases. L'outil permet de réduire cette récurrence en une seule ligne, ainsi la géométrie des entités des lignes fusionnée est conservée et injectée dans une seule entité.

La fonction « Fusionner » est obtenue en cliquant sur « Fusionner » dans l'onglet « Géotraitement » de la barre d'outils. Schéma :

Couche à fusionner

Couche à créer après la fusion

Champ de fusion : champ sur lequel la fonction fusionnera les récurrences d'attributs

Choix des champs à afficher dans la table de la couche à créer.

Le type de statistique permet de choisir, lors de la fusion des récurrences d'attributs, quelle case du champ choisir : LAST (la dernière), FIRST (la première), MAX (la plus grande), MIN (la plus petite), SUM (la somme des cases), STD (l'écart-type), MEAN (la moyenne), RANGE (plage de valeur MAX-MIN) et

Autorisation ou non de créer des entités multi-parties : une même entité est en réalité soit une agglomération d'entités non jointives, case cochée, soit une et une seule entité, case non cochée

Champ	Type de statistique
ID_ID_PNT	LAST
PP01	MIN

Schéma explicatif de l'utilisation de la fonction « fusionner » d'ArcGIS.

Annexe n°40 : Importation d'une couche SIG sur pgAdmin

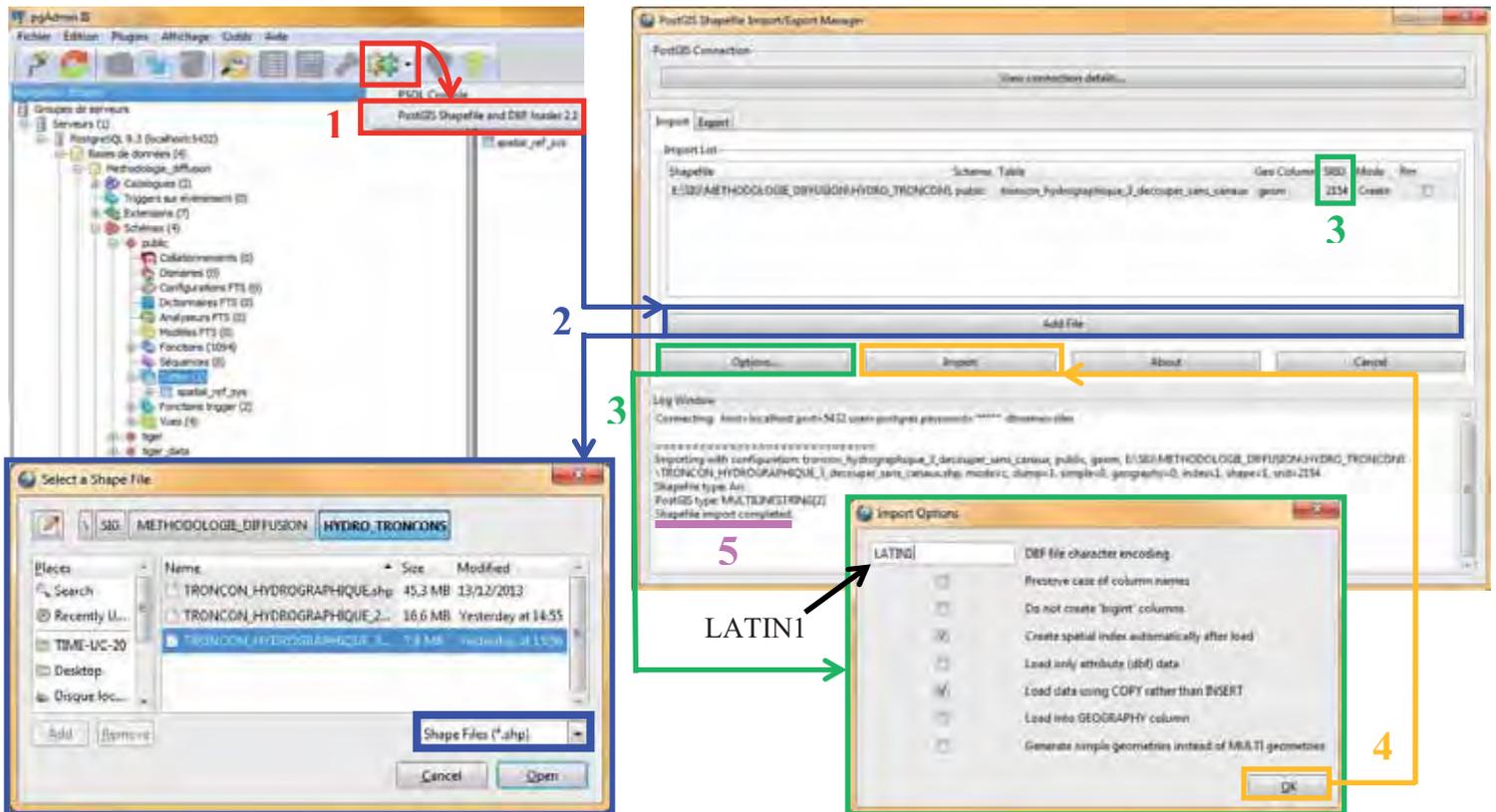


Schéma de l'importation d'une couche SIG sur pgAdmin.

A chaque importation d'une couche SIG, l'arborescence de pgAdmin doit être rafraîchie : clic droit sur le nom de la base de données et « Rafraîchir ». La nouvelle couche s'affiche dans « Nom de la base de données » / Schémas / public / Tables.

Annexe n°41 : Création d'une vue

Une vue permet de créer une table à partir du résultat d'une requête SQL. Exemple :

```
DROP VIEW ma_vue CASCADE
```

```
CREATE OR REPLACE VIEW ma_vue AS
SELECT *
FROM ma_table
```

« CREATE VIEW » est la fonction qui crée la vue. Elle se nomme « ma_vue ». Le corps de la requête SQL elle-même est SELECT * FROM ma_table.

Ainsi, le logiciel va exécuter la requête. Il s'agit, dans cet exemple, d'afficher tous les champs de la table « ma_table ». Le logiciel crée la table qui est enregistrée en tant que vue dans l'arborescence pgAdmin : « Nom de la base de données » / Schémas / public / Vues.

Cette vue peut être affichée dans ArcMap via le driver reliant PostgreSQL à ArcGIS.

Si la requête est changée après la création de la vue, le fait de rajouter « OR REPLACE » après « CREATE » entraîne sa mise à jour. Néanmoins, si la modification de la requête revient à changer l'ordre des champs ou à en rajouter, il convient de supprimer la vue, puis de la recréer. La fonction « DROP VIEW » permet cette suppression. Le complément « CASCADE » supprime toutes les autres vues créées à partir de cette vue dans d'autres scripts.

Annexe n°42 : ORDER BY

La fonction « ORDER BY » sert à trier une table en fonction d'un ou plusieurs champs selon l'ordre croissant ou décroissant. Le complément « ASC » après le nom du champ indique que le tri est en ordre croissant, le complément « DESC » précise, lui, un tri en ordre décroissant.

Si un seul champ est indiqué dans la fonction, la table sera triée selon celui-ci.

Un deuxième champ peut être indiqué après le premier. Ainsi, si le premier champ voit des récurrences dans ses attributs, ceux-ci sont triés suivant l'ordre du deuxième champ.

Il peut y avoir autant de champs indiqués dans la fonction « ORDER BY » que de champs dans la table. Voici un exemple :

```
SELECT code_hydro, tpkh
FROM troncon_hydrographique_3_decouper_sans_canaux
ORDER BY code_hydro ASC, tpkh DESC
```

Avec cette requête, le logiciel affiche les champs code_hydro et tpkh de la table indiquée après « FROM ». Ceux-ci sont ordonnés par rapport à code_hydro dans l'ordre croissant, puis, les récurrences des attributs de ce champ sont ordonnées par tpkh dans l'ordre décroissant. Voici la table affichée par le logiciel :

	code_hydro character varying(8)	tpkh integer
7280	V7171420	1000000
7281	V7171420	999126
7282	V7171420	998884
7283	V7171420	998781
7284	V7171420	998471
7285	V7171420	998373
7286	V7171440	1000000
7287	V7171460	1000000
7288	V7171460	998341

Les attributs de la colonne code_hydro sont récurrents : V7171420 intervient 6 fois. Ils sont donc classés par le champ tpkh en ordre décroissant.

Extrait de la table affichée par PostgreSQL sur la requête SQL ORDER BY.

Annexe n°43 : Renommage d'un champ d'une table

Une fonction simple permet de renommer le champ d'une table :

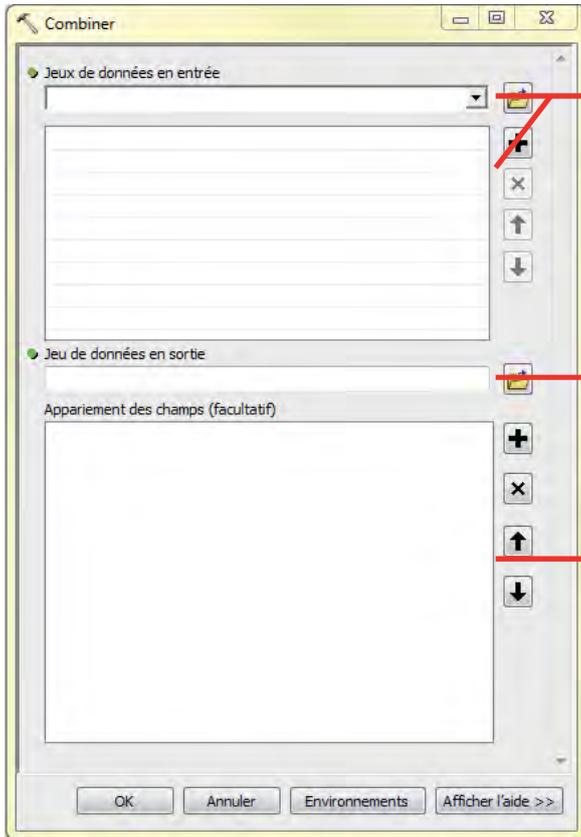
```
ALTER TABLE ma_table RENAME COLUMN colonne TO colonne_2
```

Le champ « colonne » de la table « ma_table » est renommé en « colonne_2 ».

Annexe n°47 : Combiner

Cette fonction permet de regrouper des jeux de données du même type (point avec point, polygone avec polygone,...).

La fonction « Combiner » est disponible dans l'onglet « Géotraitement » d'ArcGIS. Schéma :



Couches à combiner

Résultat de la combinaison : couche unique.

Dans cette fenêtre apparaissent les noms des champs des couches à combiner. Le choix est donné de ne conserver que les champs voulus. Si les couches ont des champs différents, le résultat sera une table avec des attributs en diagonal : la première couche sera représentée en haut à gauche, puis la deuxième en dessous à droite, puis la troisième en dessous à droite,...

Si les couches ont les mêmes champs, ceux-ci n'apparaissent qu'une fois et les attributs des différentes couches en entrée sont superposés les uns aux autres.

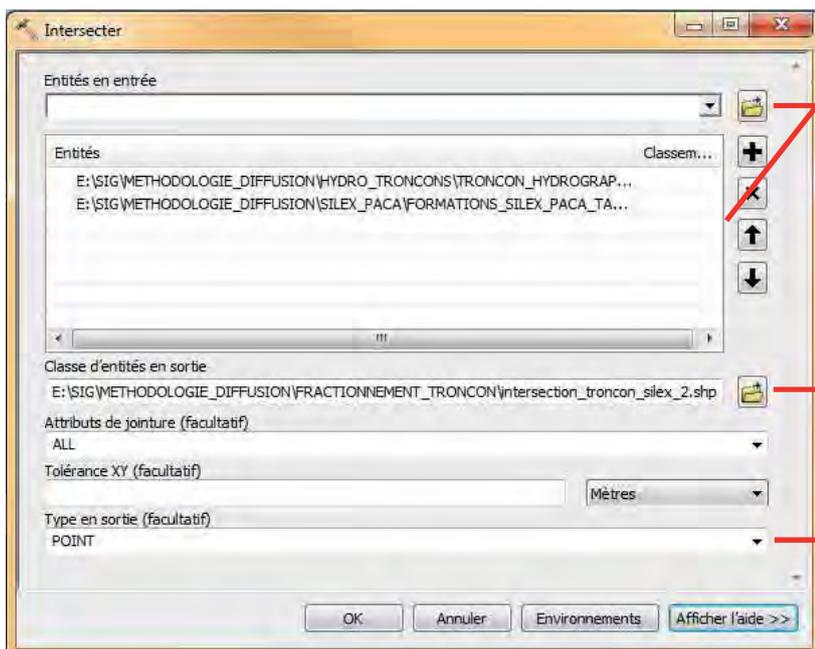
Schéma de la fenêtre de la fonction « Combiner » d'ArcGIS.

Annexe n°48 : Intersecter

Cette fonction permet de récupérer la géométrie de l'intersection des entités données en entrée.

À chaque entité en sortie, les attributs des entités données en entrée sont renseignés.

La fonction « Intersecter » est disponible dans l'onglet « Géotraitement ». Schéma :



Couches à intersecter

Couche à créer

Type de géométrie en sortie :
 INPUT : la plus petite dimension des géométries en entrée.
 POINT : géométrie de type point.
 LINE : géométrie de type ligne.

Schéma explicatif de l'utilisation de la fonction « Intersecter » d'ArcGIS.

Annexe n°49 : Multi-parties vers une partie

Dans une couche, une entité peut regrouper plusieurs formes non jointives. Pour que chacune des formes soit représentée par une et une seule entité, la fonction « Multi-parties vers une partie » est nécessaire.

Cette fonction est disponible dans l'application ArcToolbox par le chemin : Outils de gestion des données / Entités / Multi-parties vers une partie. Schéma :



Schéma de la fenêtre de la fonction « Multi-parties vers une partie » d'ArcGIS.

Annexe n°50 : Création d'une polyligne entre deux points situés sur une même polyligne

Cette fonction permet de créer une polyligne entre deux points situés sur une première polyligne en la superposant. Voici l'architecture de cette fonction :

```
ST_Line_Substring(Linestring, start, end)
```

« ST_Line_Substring » est le nom de la fonction. « Linestring » est la géométrie de la polyligne à partir de laquelle est créée la nouvelle polyligne. « start » est un chiffre de 0 à 1, il indique la position du premier point sur la polyligne. « end » est un chiffre de 0 à 1, il indique la position du deuxième point sur la polyligne.

Pour que cette fonction soit exécutée, le chiffre « start » doit être inférieur au chiffre « end ».

Annexe n°51 : Calcul de la longueur d'une polyligne

Cette fonction sert à calculer la longueur d'une polyligne. Voici son architecture :

```
ST_Length(geometry)
```

« ST_Length » est le nom de la fonction. « geometry » correspond au champ de géométrie de la couche dont la longueur est voulue. Le type de géométrie ne peut être que « Linestring », c'est-à-dire « polyligne ».

Annexe n°52 : Conversion du type d'une polyligne de « Multilinestring » à « Linestring »

Cette fonction est indispensable pour la bonne marche de ST_Line_Substring expliquée en annexe n°49. Puisque cette dernière fonction exige des géométries de type Linestring.

```
ALTER TABLE ma_table  
ALTER COLUMN col_geom TYPE geometry(linestring,2154) USING ST_GeometryN(geom, 1)
```

Cette fonction prend la table « ma_table », elle va à la colonne « col_geom » et elle y renseigne le type « linestring » à chaque valeur attributaire.

Annexe n°53 : Ajout du champ code_zone à une couche SIG

Pour ajouter le champ code_zone à l'une des couches, sa table attributaire est ouverte. Si une session de mise à jour est en cours, elle est fermée. L'outil « Ajouter un champ... » de l'onglet à gauche de la fenêtre de la table attributaire est activé. Une nouvelle fenêtre s'ouvre. Il est demandé :

- le nom du champ : code_zone
- le type de champ : texte
- le nombre de caractère : 4

Après validation, le logiciel ajoute le champ code_zone à la couche.

Les attributs de ce champ sont néanmoins vides. Pour les remplir de manière efficace, le fichier .dbf de la couche est ouvert. Il est situé dans le fichier où la couche SIG a été sauvegardée. Un tableur OpenOffice apparaît. Il est composé de tous les champs de la table. Le dernier champ tout à droite est celui qui vient d'être créé : code_zone. Il est vide.

La première case de cette colonne est renseignée comme suit :

=GAUCHE(K2 ; 4)

« GAUCHE » est le nom de la fonction du tableur. Elle a pour effet de prendre la case renseignée dans la parenthèse (ici, « K2 » qui correspond à la première case du champ code_hydro) et de ne garder que le nombre de caractère indiqué après le point-virgule (ici, 4, comme le nombre de caractères des codes des zones hydrographiques).

Après validation de cette fonction et vérification de son résultat, elle est renseignée à toutes les autres cases de la colonne code_zone. Le tableur modifié est sauvegardé puis quitté. La couche est réinsérée dans ArcMap et un passage est effectué dans sa table attributaire pour contrôler que la colonne a bien été mise à jour.

Annexe n°54 : Jointure attributaire

La jointure attributaire regroupe sur une même table les champs de deux tables différentes. Cette jointure s'effectue sur un champ de chaque table qui regroupe des attributs égaux. Voici son architecture :

```
SELECT mt1.col_1, mt1.col_2, mt1.col_3, mt2.col_11, mt2.col_12, mt2.col_13
FROM ma_table_1 AS mt1
JOIN ma_table_2 AS mt2
ON (mt1.col_2=mt2.col_12)
```

« JOIN ... ON » permet la jointure. On indique au logiciel quelles colonnes doivent s'afficher (après « SELECT »). Les deux tables de jointures sont inscrites après « FROM » et « JOIN ». Le « AS » placé après chaque table permet de donner un raccourci à leur nom afin d'économiser de la place dans le script. L'égalité des champs des tables est renseignée après « ON ».

Ici, le logiciel va afficher une table avec les six champs de « SELECT ». La jointure est faite par l'égalité de la colonne 2 de la table 1 avec la colonne 12 de la table 2 et le logiciel ne va afficher que les lignes qui font l'objet de la jointure. Si certaines lignes de la table 1 ne peuvent pas être jointes à la table 2, parce que la case col_2 de ces lignes ne correspond à aucune case col_12 des lignes de la table 2, elles ne seront pas affichées.

Si toutes les lignes de la première table, en plus de celles qui font l'objet d'une jointure, doivent être affichées, il est inscrit « LEFT OUTER JOIN » en lieu et place de « JOIN ».

Pour afficher toutes les lignes de la deuxième table, il est inscrit « RIGHT OUTER JOIN »

Pour afficher toutes les lignes des deux tables, il est inscrit « FULL OUTER JOIN ».

Annexe n°55 : Fonction de numérotation

Cette fonction, placée dans un « SELECT », permet l'ajout d'une colonne au résultat de la requête. Elle numérote de 1 à n (n étant le numéro de la dernière ligne de la table) la table donnée en résultat par le logiciel PostgreSQL. Il est indispensable qu'une table soit numérotée par des numéros uniques afin de pouvoir l'ouvrir sur le logiciel ArcGIS depuis PostGIS.

Voici l'architecture de la fonction :

```
row_number()OVER()::integer
```

Le « row_number()OVER() » est la fonction en elle-même, le supplément « ::integer » permet de transformer le type du résultat en entier.

Annexe n°56 : Fonction de localisation d'un point sur une polyligne

Cette fonction permet de localiser un point sur une polyligne par un chiffre entre 0 (début de la polyligne) et 1 (fin de la polyligne). Elle est indispensable pour la bonne marche de ST_Line_Substring.

Voici son architecture :

```
ST_Line_Locate_Point(linestring, point)
```

« ST_Line_Locate_Point » est le nom de la fonction. « linestring » correspond à la géométrie de la polyligne et « point » à la géométrie du point à localiser.

Annexe n°57 : Résumés statistiques

Cette fonction est similaire à « Fusionner » (partie III.2.1.2.2) car elle permet de réduire le nombre de lignes d'une table en fonction de champs particuliers. Toutefois la fonction « Résumés statistiques » n'agglomère pas les géométries. La table de sortie de cette fonction n'est pas un shapefile, mais un fichier de données alphanumériques (tableur) sans géométrie.

La fonction « Résumés statistiques » est disponible dans l'ArcToolbox par le chemin : Outils d'analyse / Statistiques / Résumés statistiques. Schéma :

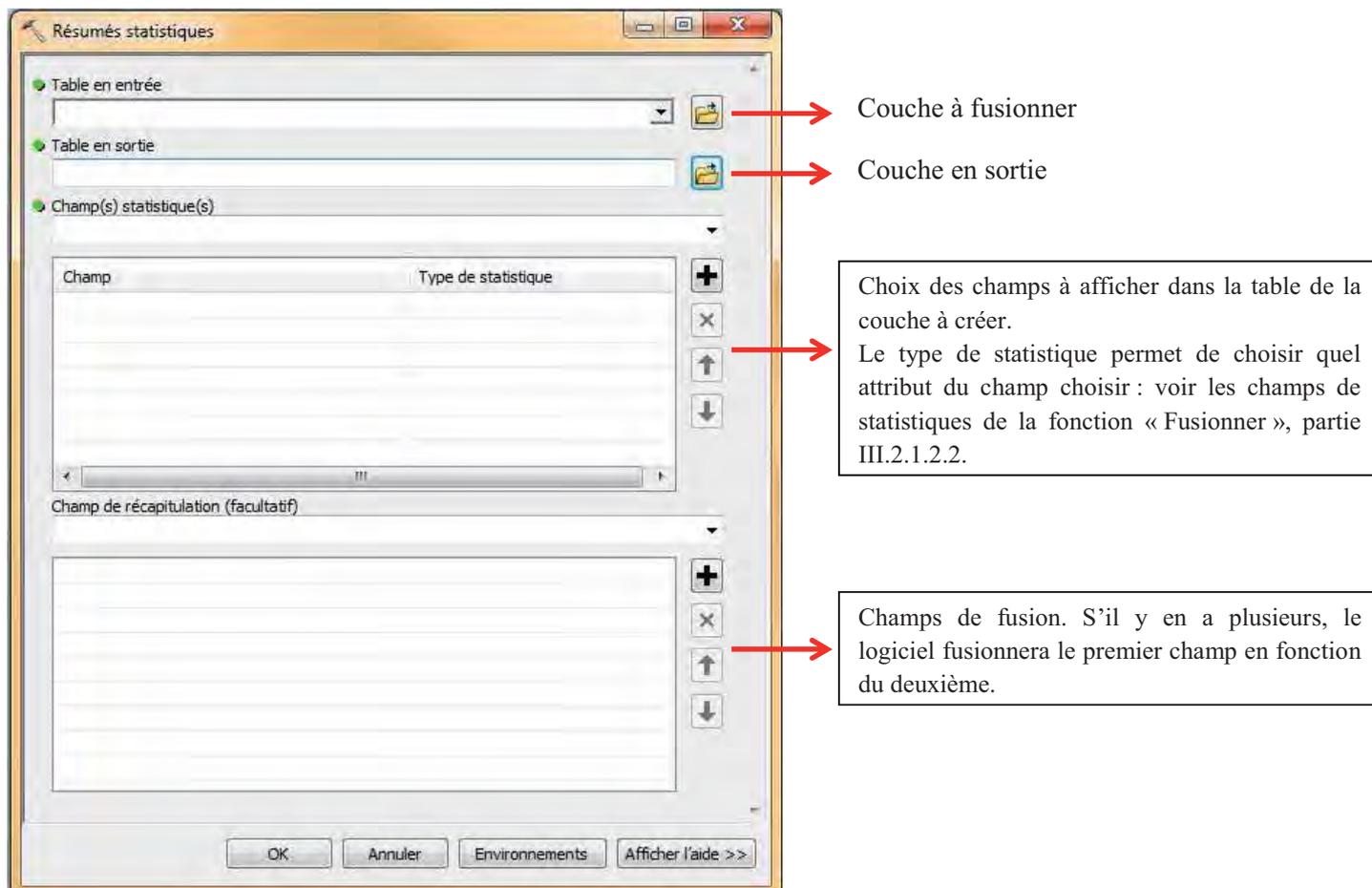


Schéma de la fenêtre de la fonction « Résumés statistiques » d'ArcGIS.

Annexe n°58 : Création de la couche des sources hydrographiques

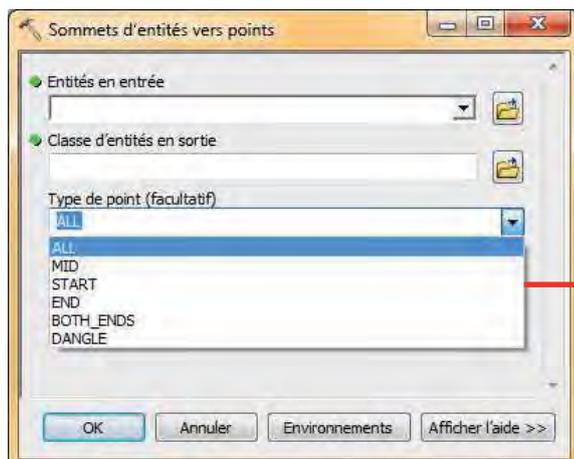
La fonction ArcGIS « Sommets d'entités vers points » (annexe n°59) est appliquée sur les tronçons hydrographiques. Il est renseigné « BOTH_ENDS » au type de point. Cela aboutit à modéliser chaque extrémité de tronçon hydrographique par un point.

Par la fonction d'ArcGIS « Sélectionner selon l'emplacement... » (annexe n°36), une sélection est effectuée sur la table des nœuds hydrographiques depuis la table réalisée par la fonction précédente avec une distance de recherche d'un mètre. Une couche est tirée de cette sélection.

Une nouvelle sélection selon l'emplacement est utilisée sur cette couche et depuis la couche des nœuds hydrographiques exutoires avec une distance de recherche d'un mètre. La sélection est inversée et une couche est réalisée à partir de celle-ci. Par cette fonction, les sources hydrographiques sont identifiées.

Annexe n°59 : Sommets d'entités vers points

Cette fonction présente dans l'ArcToolbox (Outils de gestion des données / Entités / Sommets d'entités vers points) permet de transformer une entité (polyligne ou polygone) en point selon plusieurs choix. Schéma :



ALL : un point est créé par sommet d'entité.
MID : un point est créé au centre de chaque ligne en entrée ou limite de polygone.
START : un point est créé au début de chaque entité.
END : un point est créé en fin de chaque entité
BOTH_ENDS : deux points sont créés au début et à la fin de chaque entité.
DANGLE : un point d'arc pendant est créé pour tout point de début ou de fin de ligne en entrée.

Schéma de la fenêtre de la fonction « Sommets d'entités vers points » d'ArcGIS.

Annexe n°60 : Création d'une couche regroupant les nœuds exutoires, les sources hydrographiques et les points d'entrée

La fonction « Combiner » d'ArcGIS (annexe n° 47) intervient. Ces trois couches, placées en entrée de la fonction, nécessitent d'avoir les mêmes noms de champ pour que leurs attributs soient superposés dans la couche en sortie.

Voici les trois champs : « gid », « id_bdcarth » et « code_zone ».

Comme la codification des zones hydrographiques (code_zone) intervient, il est accolé ce champ à la couche des nœuds hydrographiques exutoires. Cette opération a déjà été effectuée en partie III.2.2.3.2. Le nom de la vue créée était « nœud_hydro_exu_BV ».

Voici les deux requêtes SQL écrites sur PostgreSQL qui permettent de choisir les colonnes adéquates des couches des nœuds exutoires et des points d'entrée pour en créer des vues (annexe n°41) utilisables sur ArcGIS :

```
DROP VIEW noeuds_hydro_pre_combi CASCADE
CREATE or replace VIEW noeuds_hydro_pre_combi as
SELECT gid, id_bdcarth, code_zone, geom_3 as geom
FROM noeud_hydro_exu_bv
```

```
DROP VIEW points_d_entree_pre_combi CASCADE
CREATE or replace VIEW points_d_entree_pre_combi as
SELECT gid, id_bdcarth, code_zone as code_zone, geom
FROM points_d_entree
```

La première requête crée une vue sur les colonnes « gid », « id_bdcarth », « code_zone » et « geom » pour la table des nœuds hydrographiques exutoires.

La deuxième requête réalise la même chose sur la table des points d'entrée.

Pour les nœuds hydrographiques sources, une requête SQL similaire à celle qui a accolé la colonne « code_zone » aux nœuds hydrographiques exutoires en partie III.2.2.3.2 est appliquée. Sauf que celle-ci utilise la jointure spatiale par la fonction ST_Intersects (annexe n°61). Voici le script :

```

DROP VIEW noeud_hydro_sources_BV CASCADE
CREATE OR REPLACE VIEW noeud_hydro_sources_BV AS
SELECT row_number()OVER()::integer AS gid, nh.id_bdcarth, zh.code_zone, nh.geom
FROM noeud_hydrographique_2_sources AS nh
join zone_hydrographique AS zh
ON ST_Intersects(nh.geom, zh.geom)

```

Annexe n°61 : Jointure spatiale (ST_Intersects)

Une jointure spatiale permet de joindre deux couches aux géométries superposées. La fonction « ST_Intersects » permet de joindre deux couches selon leurs géométries.

Architecture de la fonction « ST_Intersects » :

```
ST_Intersects (geometry, geometry)
```

« ST_Intersects » est le nom de la fonction. Les deux termes « geometry » correspondent aux colonnes de géométrie des deux couches.

Annexe n°62 : Le principe de récursivité

Le principe de récursivité permet d'effectuer, au niveau du logiciel PostgreSQL, une action tant qu'une condition est vraie. Ce qu'une requête SQL standard ne peut pas accomplir.

Voici l'architecture d'une requête utilisant le principe de récursivité :

```

WITH RECURSIVE nom_recursion (liste_champ) AS(
SELECT liste_champ
FROM ma_table
UNION ALL
SELECT liste_champ
FROM nom_recursion, ma_table
WHERE condition)
SELECT * FROM nom_recursion

```

La récursion en elle-même se trouve de « WITH RECURSIVE » à « WHERE condition) ». La ligne d'après sert à afficher les colonnes créées par la récursion.

Après le « WITH RECURSIVE », il est indiqué le nom de la récursion à créer, c'est-à-dire le nom de la table que va créer la récursion. Entre parenthèse, à côté de ce nom, est indiquée la liste des champs que la requête récursive doit afficher. Après la parenthèse du « AS », commence la requête récursive. Elle finit lorsque la parenthèse se ferme.

Comme il peut être remarqué, cette requête est en deux parties. L'une avant le « UNION ALL », c'est la partie non récursive, l'autre après, c'est la partie récursive. Grâce à cela, la requête utilise sa propre sortie (« nom_recursion ») pour pouvoir répondre à une condition (après le « WHERE »), là où une requête normale réaliserait une simple jointure attributaire.

Annexe n°63 : Jointure spatiale (ST_DWithin)

Une jointure spatiale permet d'assembler deux couches avec des géométries superposées. La fonction « ST_DWithin » permet de joindre deux couches quand la deuxième est à l'intérieur d'un rayon donné de la première.

Architecture de la fonction « ST_DWithin » :

ST_DWithin (geometry, geometry, double precision)

« ST_DWithin » est le nom de la fonction. Le premier « geometry » est la géométrie de la couche à partir de laquelle est créé le rayon. Le deuxième « geometry » est la géométrie de la couche cherchée dans ce rayon. « double precision » correspond au nombre réel représentant le rayon de recherche. L'unité est le mètre.

Annexe n°64 : Création de la colonne « gid_tr6 » dans la table des tronçons hydrographiques fractionnés

La fonction de création de colonne dans une table (annexe n°65) et la fonction de mise à jour d'une colonne d'une table (annexe n°66) interviennent pour cette création. Voici la méthode pour créer la colonne « gid_tr6 » :

```
ALTER TABLE troncon_hydrographique_6_fractionnes_restreints ADD COLUMN gid_tr6 integer
```

```
UPDATE troncon_hydrographique_6_fractionnes_restreints SET gid_tr6=gid-1
```

La première ligne crée la colonne, la deuxième lui renseigne les valeurs « gid-1 ». Le champ « gid » correspond à la numérotation de la table des tronçons fractionnés. Comme la numérotation PostgreSQL s'effectue de 1 à n, il faut retirer 1 pour respecter la numérotation ArcGIS, de 0 à n-1.

Annexe n°65 : Créer une colonne dans une table

```
ALTER TABLE ma_table ADD COLUMN nom_champ type_champ
```

La partie « type_champ » indique si le nouveau champ est un entier, un réel ou un texte.

Annexe n°66 : Mettre à jour une colonne d'une table

```
UPDATE ma_table SET nom_champ=valeur
```

La partie « valeur » contient ce qui met à jour la colonne de la table.

Annexe n°67 : Jointure spatiale

Cette fonction d'ArcGIS sert à joindre deux couches qui se superposent géométriquement. Elle est disponible sur l'ArcToolbox par le chemin : Outils d'analyse / Superposition / Jointure spatiale. Schéma :

Entités cible
E:\SIG\METHODOLOGIE_DIFFUSION\HYDRO_TRONCONS\T

Entités jointes
E:\SIG\METHODOLOGIE_DIFFUSION\SILEX_PACA\FORMATI

Classe d'entités en sortie
Connexions aux bases de données\methodologie_diffusion.sde\meth

Opération de jointure (facultatif)
JOIN_ONE_TO_ONE

Conserver toutes les entités cible (facultatif)

Appariement des champs des entités jointes (facultatif)

- gid (Double)
- gid_1 (Double)
- n_gid (Double)
- id_bdcarth (Double)
- num_superp (Double)
- etat (Texte)
- sens (Texte)
- largeur (Texte)
- nature (Texte)
- navigable (Texte)
- gabarit (Texte)
- pos_sol (Texte)
- code_hydro (Texte)
- ss_milieu (Texte)
- c_hyd_cdo (Texte)

Option de correspondance (facultatif)
INTERSECT

Rayon de recherche (facultatif)
Mètres

Nom du champ de distance (facultatif)

OK Annuler Environnements Afficher l'aide >>

Couche où est effectuée la jointure

Couche jointe

JOIN_ONE_TO_ONE : Si plusieurs entités jointes présentent une relation spatiale identique avec une même entité cible, les attributs des entités jointes sont agrégés en une seule ligne.
JOIN_ONE_TO_MANY : Si plusieurs entités jointes présentent une relation spatiale identique avec une même entité cible, les attributs des entités jointes sont représentés sur plusieurs lignes.

Choix des colonnes à afficher dans la couche en sortie.

Choix du type de jointure spatiale.

Rayon de recherche de la couche jointe par rapport à la couche en entrée. Le rayon peut être négatif pour un polygone situé en entité jointe.

Schéma de la fenêtre de la fonction « Jointure spatiale » d'ArcGIS.

table_types

Famille	Type	nature	etage	habitus	neo_cortex	structure
L-0201	L-0201A1	silex marin	n5U3	talus	rognon	homogène
L-0201	L-0201A2	silex marin	n5U3	talus	rognon	homogène
L-0201	L-0201A3	silex marin	n5U3	talus	rognon	homogène
L-0201	L-0201A4	silex marin	n5U3	talus	rognon	homogène
L-0201	L-0201B1	silex marin	n5U3	talus	rognon	homogène
L-0201	L-0201B2	silex marin	n5U3	talus	rognon	homogène
L-0201	L-0201B3	silex marin	n5	talus	rognon	homogène
L-0201	L-0201B4	silex marin	n5U3	talus	rognon	homogène

mineralogie_authigene	mineralogie_authigene secondaire	matrice	mt_taille_moyenne	detritique	dt_taille_moyenne μ	texture_origine
		cryptocristalline (+microcristalline à n		quartz	63	
		cryptocristalline (+microcristalline à n		quartz	63	
		cryptocristalline (+microcristalline à n		quartz	63	
		cryptocristalline (+microcristalline à n		quartz	63	
		microcristalline à mésocristalline		quartz	63	
		cryptocristalline (+microcristalline à n		quartz	63	
		cryptocristalline (+microcristalline à n		quartz	63	
		cryptocristalline (+microcristalline à n		quartz	63	

texture_acquise	abondance	classement	cl_taille_moyenne	sphericite	arrondi	spongiaires
mudstone						1
mudstone						1
mudstone						1
mudstone						1
wackestone						1
wackestone						1
wackestone						1
wackestone						1

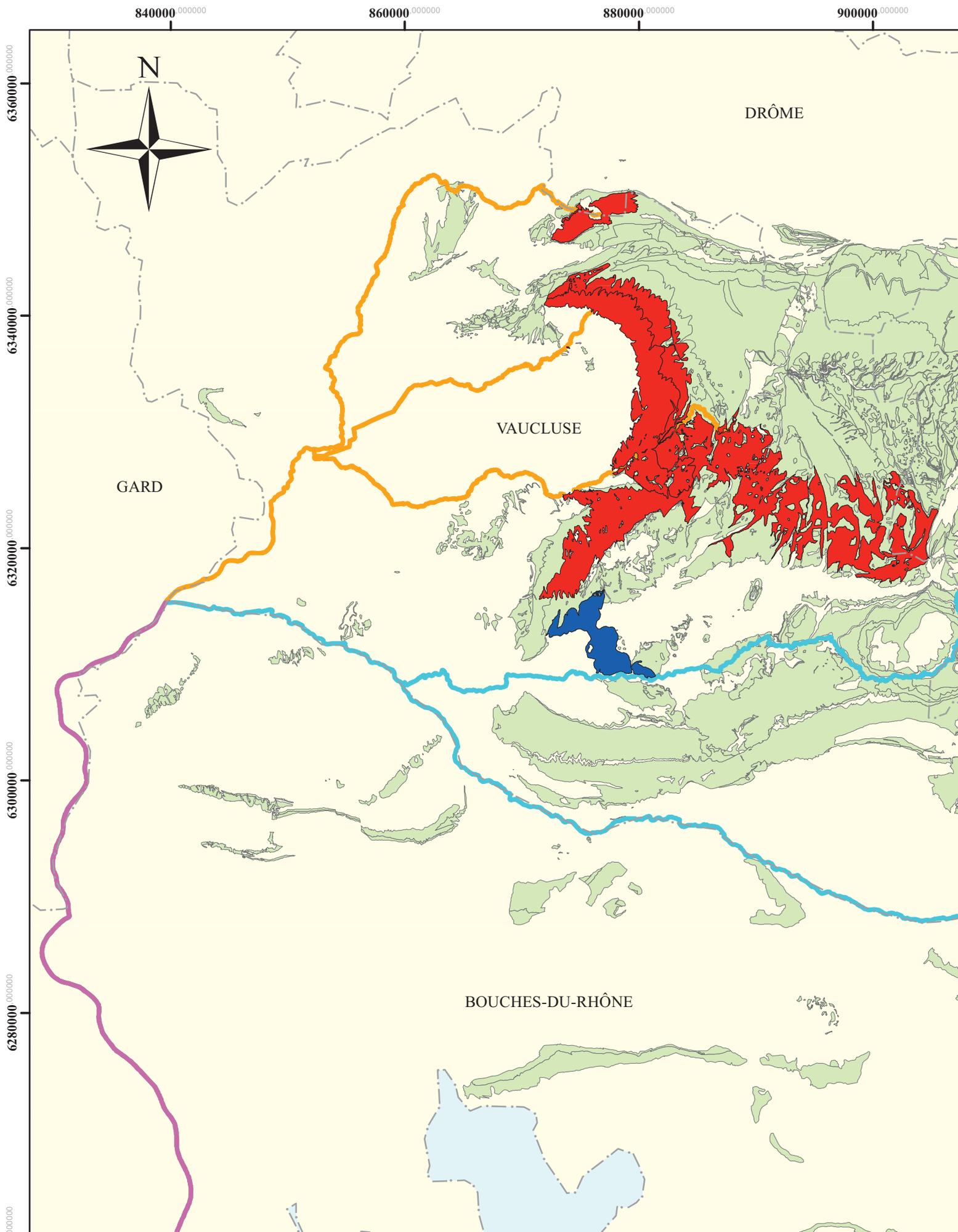
algues	bryo_et_coraux	crinoides	foram_benthiques	foram_planctoniques	autres_bioclastes
	0		0		
	0		0		
	0		0		
	0		0		
	1		1		
	1		1		
	1		1		
	1		1		

clé

IDF	Famille	Type
41555	L-0201	L-0201B6
41570	L-0201	L-0201B6
841321	L-0201	L-0201A0
841105	L-0201	L-0201A0
841470	L-0201	L-0201A0
841326	L-0201	L-0201A0
841425	L-0201	L-0201A0
841811	L-0201	L-0201A0
842401	L-0201	L-0201A0
841314	L-0201	L-0201A0
841402	L-0201	L-0201A0
40714	L-0201	L-0201A0
840612	L-0201	L-0201A0
840614	L-0201	L-0201A0
841108	L-0201	L-0201A1
841470	L-0201	L-0201A1
841326	L-0201	L-0201A1
841425	L-0201	L-0201A1
841470	L-0201	L-0201A2
841326	L-0201	L-0201A2
841321	L-0201	L-0201A3
841425	L-0201	L-0201A3
841314	L-0201	L-0201A3
841314	L-0201	L-0201A4
841401	L-0201	L-0201B1
841321	L-0201	L-0201B1
841470	L-0201	L-0201B1
841326	L-0201	L-0201B1
841314	L-0201	L-0201B1
841402	L-0201	L-0201B1
841406	L-0201	L-0201B1
841401	L-0201	L-0201B2
841108	L-0201	L-0201B2
841470	L-0201	L-0201B2
44601	L-0201	L-0201B2
41517	L-0201	L-0201B3
841108	L-0201	L-0201B4
841470	L-0201	L-0201B4
841425	L-0201	L-0201B4
44601	L-0201	L-0201B4
841811	L-0201	L-0201B5
840502	L-0201	L-0201B5

Carte de diffusion des types de L-0201B1 et L-0201B3

Système de coordonnées: RGF93 Lambert 93



Annexe n°71 : méthodologie de la création de la carte de la diffusion des types de silex

Le vecteur de diffusion est le réseau hydrographique. La couche finale de la partie III.2 est prise en compte pour cette diffusion. Elle regroupe, pour chaque tronçon hydrographique, la liste des zones de formation et les types de silex situés en amont. Ainsi, l'outil de sélection selon les attributs d'ArcGIS (annexe n°35) sélectionne tous les tronçons contenant théoriquement un même type de silex. La carte représente d'une même couleur les zones de formation autochtone (c'est-à-dire primaire) renfermant un même type de silex ainsi que les zones de formation subautochtone ou allochtone (c'est-à-dire subprimaire ou secondaire) qui sont traversés par les cours d'eau diffuseur de ce type de silex. Sur les tronçons hydrographiques qui ne traversent pas les zones suscitées, une zone tampon de 1 km de large apparaît sous une autre couleur. La réalisation de la carte s'effectue de la manière suivante :

- une couche est créée à partir de la sélection des tronçons contenant un même type de silex.
- une couche correspond aux zones de formation à silex en position autochtone contenant ce type de silex.

- toutes les zones de formation à silex en position subautochtone ou allochtone sont sélectionnées dans une autre couche.

- de cette couche, les zones traversées par les tronçons hydrographiques vecteurs de la diffusion sont choisies par l'outil de sélection selon l'emplacement d'ArcGIS (annexe n°36) et placées dans une couche à part.

- les tronçons hydrographiques superposés aux zones du deuxième et du quatrième tiret sont effacés par la fonction d'effacement d'ArcGIS (annexe n°72)

- les tronçons hydrographiques rescapés sont réunis par la fonction de fusion d'ArcGIS (annexe n°39). Il n'y a ni champ de fusion, ni champ de statistique, seule la géométrie est intéressante. La case « Créer des entités multi-parties » est cochée afin de n'obtenir qu'une seule entité.

- les zones de formation à silex du deuxième et du quatrième tiret contenant un même type de silex sont dessinées d'une couleur.

- la fonction « zone tampon » d'ArcGIS (annexe n°73) est utilisée sur les tronçons hydrographiques qui n'ont pas été effacés. La distance est de 200 m. La couche en sortie est placée en-dessous des couches des zones de formation créées aux tirets 2 et 4.

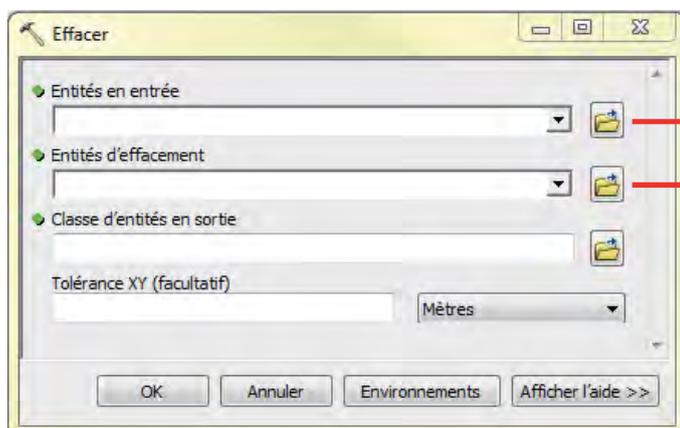
- les zones tampons obtenues contenant un même type de silex sont dessinées d'une autre couleur que celle des zones de formation.

- Les opérations précédentes sont répétées autant de fois que de types de silex.

- La fonction d'ArcGIS "découpage" (annexe n°37) permet de récupérer les zones où les zones tampons des différents types de silex se superposent. Une couleur différente leur est appliquée.

Annexe n°72 : Effacer

Cette fonction, présente dans l'application ArcToolbox par le chemin Outils d'analyse / Superposition / Effacer, efface une partie des entités de la couche donnée en entrée par superposition avec les entités d'une autre couche. Schéma :



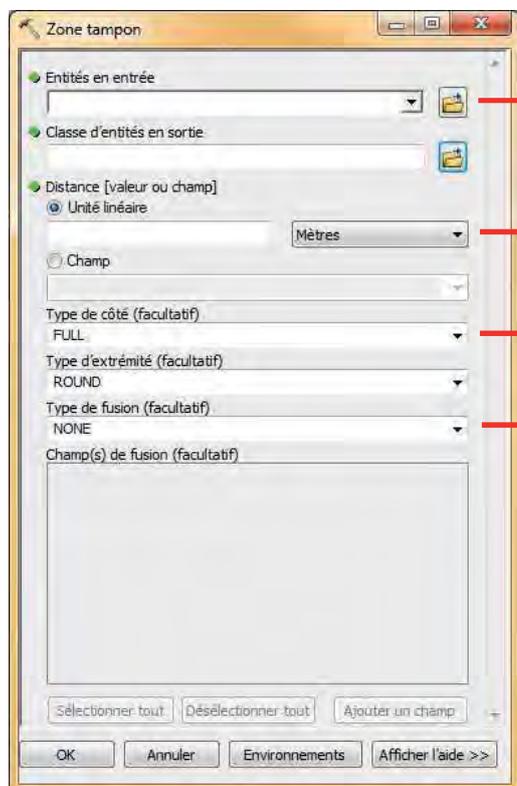
Couche dont une partie des entités sont effacées.

Couche dont la superposition des entités avec celles de la couche en entrée sert d'effacement.

Schéma de la fenêtre de la fonction « Jointure spatiale » d'ArcGIS.

Annexe n°73 : Zone tampon

Cette fonction, présente dans l'application ArcToolbox par le chemin Outils d'analyse / Proximité / Zone tampon, permet de créer une zone tampon autour d'entités, qu'elles soient ponctuelles, linéaires ou surfaciques. Schéma :



Couche d'où sont créées les zones tampons

Rayon de la zone tampon

Choix, pour une entité linéaire, de l'endroit où est créée la zone tampon : de part et d'autre (FULL), à gauche (LEFT) ou à droite (RIGHT).

Choix de fusionner ou non les entités linéaires en sortie. La fusion est surtout utile lorsque plusieurs zones tampons sont superposées.

Schéma de la fenêtre de la fonction « Zone tampon » d'ArcGIS.

Résumé

Le comportement de l'homme préhistorique est un sujet qui intéresse tous les archéologues. C'est pourquoi, la recherche d'un outil adéquat pour la détermination des lieux de collectes de silex est très importante. Ce mémoire crée un outil cartographique harmonisé, dynamique et raisonné qui permet d'engager une démarche pétroarchéologique dynamique pour arriver à une telle détermination. Grâce au regroupement des données des prospections archéologiques et des caractérisations des types de silex du Mont Ventoux combiné à une analyse cartographique par le réseau hydrographique, la carte de diffusion des types de silex des gîtes primaire aux zones secondaires les plus distales est créée pour ce massif. Par la suite, des analyses complémentaires seront nécessaires pour améliorer l'outil : étendre la zone d'étude à d'autres régions riches en silex, analyser l'altimétrie des bassins versants, créer des outils de diffusion et de mise à jour interactive des cartes par le réseau internet.

Abstract

The prehistoric man behaviour is a topic which is of interest to all of archeologist. The search of an appropriate tool for flint gathering location determining is very important. This work create an harmonized, dynamic and reasoned cartographic tool which start a petro-archaeological analytical methodology to get such a determining. With the grouping of archaeological surveys data and types of flints characterization from Mont Ventoux combined to a cartographic analysis by the river system, the types of flints distribution from primary to distal secondary deposits map is created for this massif. Afterwards complementary analysis will be necessary to improve the tool : spread the study zone to others rich in flints region, analyse the catchment basin height finding, create share and interactive update tools from map by the internet network.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir
le DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM

Spécialité : Géomètre et Topographe

par

David TALEC

Des formations à silex à la visualisation des itinéraires :
Vers les cartes des gîtes potentiels

Soutenu le 17 Septembre 2015

JURY

PRESIDENT : Mr. Jérôme VERDUN

MEMBRES : Mr. Vincent HABCHI Professeur référent
Mr. Paul FERNANDES Maître de stage
Mr. Stéphane KONIK Maître de stage

Remerciements

Ce document est le reflet de 20 semaines de travail recherche et de rédaction ainsi que l'aboutissement de 3ans d'étude à l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes du Mans.

Tout d'abord, je souhaite remercier profondément Mme Geneviève Pinçon pour m'avoir si bien accueilli au sein du Centre Nationale de Préhistoire (CNP) à Périgueux, et pour son dynamisme et l'intérêt porté à mon travail. Je remercie également M. Stéphane Konik, mon maitre de stage pour toute l'aide qu'il m'a apportée au cours de ses cinq mois, qu'elle ait été méthodologique ou technique.

Je remercie M. Paul Fernandes sans qui ce projet n'aurait jamais vu le jour. Son encadrement et sa disponibilité en toute circonstance ont été des atouts précieux pour le mener à bien.

J'adresse également mes remerciements les plus chaleureux à l'équipe du PCR « Réseau de Lithotèques », Jean-Pierre Platel, André Morala, Alain Turq et Christophe Tuffery, ainsi qu'à Jean-Baptiste Caverne pour leurs expertises sur l'ensemble des différents aspects du projet. Malgré la distance, ils ont chacun trouvé le temps et les mots pour me faire progresser au fil du projet.

Je remercie M. Vincent Habchi pour la relecture de ce mémoire.

Je suis reconnaissant envers tous les membres du CNP pour leur accueil et leur professionnalisme durant les cinq mois de ce stage.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis pour leur soutien permanent.

Liste des abréviations

BRGM:	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS:	Banque du Sous-Sol
CTE:	Common Table Expression
MFD:	Multiple Flow Direction
MNT:	Modèle Numérique de Terrain
INRAP:	Institut National de Recherches Archéologiques Préventives
INSEE:	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
GRASS:	Geographic Ressources Analysis Support System: Système d'analyse des ressources géographiques
PCR:	Projet Commun de recherche
RGE:	Référenciel Grande Échelle
SIG:	Système d'Information Géographique
SQL:	Structured Query Language: Langage de requêtes structuré
WMS:	Web Map Service

Glossaire

Pétroarchéologie: discipline archéologique utilisant les outils de caractérisation minéralogique, pétrographique et micropaléontologique pour déterminer les milieux de genèse des roches

Palétopographie: topographie existant à l'époque préhistorique.

BD Carto® : base de données Vecteur qui décrit l'ensemble des départements français et les collectivités d'Outre-mer Saint-Martin et Saint-Barthélemy. Elle contient les réseaux routiers et ferrés, les unités administratives, le réseau hydrographique, l'occupation du sol, la toponymie et les équipements divers comme le réseau électrique.

Lithique: relatif à l'industrie de la pierre (terme utilisé en préhistoire)

Centroïde : terme utilisé par les logiciels SIG pour désigner le barycentre d'un polygone

Gélifract : roche issue du processus géomorphologique de gélifraction, fragmentation des roches par des alternances de gel et dégel.

Langage SQL : langage informatique normalisé servant à exploité des bases de données

Série géologique : subdivision d'un système sur l'échelle des temps géologiques. Les limites de chaque série sont marquées principalement par des renouvellements et des variations des faunes et flores fossiles dans les sédiments

Étage géologique : Unité de base de l'échelle des temps géologiques et subdivision d'une série. Sa durée est en moyenne de quelques millions d'années.

Formation géologique : ensemble de couches géologiques regroupées sur la base de leur lithologie et de leurs relations spatiales et temporelles (stratigraphie). Les formations sont les unités lithostratigraphiques de base.

RGE Alti® : C'est la représentation altimétrique de la composante topographique du RGE®. Elle a pour objectif à terme de couvrir l'ensemble du territoire national concerné par le RGE® avec un modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 1m ayant partout une précision d'au moins 50cm.

Table des matières

Remerciements	3
Liste des abréviations	4
Glossaire.....	5
Introduction	8
I. Mise en place d'un modèle statique	11
I.1. Méthodologie de la digitalisation des formations.....	12
I.2. Les attributs des formations à silex	14
I.3. Méthodologie de renseignement de ces attributs.....	16
I.3.1. Renseignement des attributs stratigraphiques :	16
I.3.2. Renseignement des attributs de localisation.....	16
II. Proposition d'un modèle dynamique qualitatif	19
II.1. Notion de chaîne évolutive et de domaine exploitable.....	19
II.2. Présentation de l'environnement de travail et des données utilisées	21
II.2.1. Environnement de travail	21
II.2.2. Données	22
II.3. Établissement des relations entre les formations.....	23
II.3.1. Traitement du MNT.....	24
II.3.2. Création des limites du bassin versant.....	24
II.3.3. L'analyse des bassins de retenue d'eau avec l'outil r.watershed.....	24
II.3.4. La création de bassin d'inondation avec l'outil r.wateroutlet.....	25
II.3.5. Extraction des lignes de contours des formations du bassin versant	25
II.3.6. Obtention des relations entre polygones à partir du MNT	26
II.3.7. Obtention des itinéraires de déplacement des silex	27
II.4. Représentation des résultats du modèle qualitatif	28
II.4.1. Représentation par un tableau :	28
II.4.2. Représentation par un graphe	29
II.4.3. Explication du contenu du script R utilisé :	30
II.4.4. Limite de la représentation en graphe :	31
III. Quantification des apports en silex.....	32
III.1. Méthodologies mises en place.....	32
III.2. Perspectives d'évolution.....	35
III.2.1. Utilisation de la RGE Alti® pour notre étude :	35
III.2.2. Limite du modèle quantitatif : traitement de la topographie actuelle :	36

III.2.3. Perspectives d'amélioration de la méthode de quantification :	36
III.2.4. Perspective d'utilisation : établissement d'une carte des zones riches en silex :	37
III.2.5. Conclusion :	37
Conclusion générale	38
Bibliographie	39
Table des figures	40
Table des annexes.....	41

Introduction

« Les roches aptes à la taille [dont les silex] constituent la majorité des objets présents dans les gisements [sites archéologiques] pendant la plus grande partie de la préhistoire. Elles ont été utilisées pour leur dureté et pour les bords acérés de leurs éclats » (*Dictionnaire de la Préhistoire, André Leroi-Gourhan*). Elles constituent donc une source d'informations essentielles sur le mode de vie des hommes préhistoriques et en particulier pour l'étude des espaces qu'ils ont parcourus. En reconstituant les aires d'approvisionnement en matières premières lithiques ayant servi à réaliser des outils, l'archéologue dispose ainsi d'indices pour appréhender **l'étendue du territoire** d'un groupe.

L'objectif de ce mémoire est de contribuer à la résolution d'une problématique ancienne sur **la provenance des matières premières**. Il s'appuie sur une perception novatrice (*Fernandes, 2012*), qui permet de préciser l'origine des silex.

Pour appréhender notre sujet, il faut connaître l'histoire de la roche depuis sa formation jusqu'à sa collecte par les hommes préhistoriques.

Le silex est une roche qui se forme en milieu marin ou lacustre au cours de la diagenèse, terme qui désigne l'ensemble des processus physico-chimiques et biochimiques par lesquels les sédiments sont transformés en roches sédimentaires. Au départ le silex est une boue qui s'infiltre dans les vides, les fissures ou les terriers présents dans les roches calcaire. Cette silice provient de l'altération des roches siliceuses sur le continent, des organismes possédant un squelette de silice et des volcans sous-marins.

Suite des changements chimiques, thermiques et mécaniques, la structure de la silice change et précipite à l'intérieur de son encaissant. Ce qui n'était qu'une boue se solidifie pour former des rognons ou des bancs dont l'épaisseur peut aller de quelques centimètres jusqu'à plusieurs mètres.

Suite aux bouleversements géologiques et climatiques de la fin du Jurassique (-145 millions d'années) et de celle du Crétacé (-65 millions d'années), l'océan se retire et il s'en suit à chaque fois un phénomène d'exondation. Les roches disposées en strates sont profondément altérées puis creusées par le réseau hydrographique, ce qui fait apparaître des bancs de silex à l'affleurement et libère des nodules. Ces derniers sont alors susceptibles de subir des déplacements par gravité en fonction de paramètres topographiques et géomorphologiques (valeur et longueur de la pente, exposition et morphologie du versant, relation avec d'éventuelles formations superficielles...) ainsi que des paramètres bioclimatiques: pluie, enneigement, alternances gel-dégel, couvert végétal. Certains nodules de silex ont aussi subi des transports alluviaux sur de plus ou moins grandes distances.

Chacun des lieux où se trouve le silex constitue ce qu'on appelle un gîte. Il en existe plusieurs :

- Gîte primaire : c'est le lieu de formation du silex. Il est physiquement rattaché à sa formation d'origine.
- Gîte subprimaire : le silex est détaché de son encaissant d'origine mais s'est très peu déplacé (altérites)
- Gîte secondaire : le silex a subi des déplacements significatifs par les phénomènes cités précédemment (colluvions, alluvions)

À chacun de ces gîtes, le silex a pu être prélevé par des hommes préhistoriques pour ensuite être taillé en outils.

Par conséquent, pour pouvoir localiser les aires d'approvisionnement des groupes préhistoriques (des gîtes ayant des silex de qualité suffisantes pour faire des outils), il faut étudier les déplacements des silex liés aux dynamiques naturelles. La modélisation du transport par le réseau hydrographique ayant fait l'objet d'une précédente étude (*Dalphiné, 2014*), nous allons nous attacher à celle du déplacement par gravité.

Notre étude est menée en majeure partie sur le département de la Dordogne. Cette région, très riche en silex, est habitée par les hommes depuis 450 000 ans. Elle ne compte pas moins d'un tiers des grottes et abris ornés de France (source: CNP) dont une des plus célèbre est celle de Lascaux. Elle représente donc un lieu privilégié pour mener notre stage.

Nous nous intéresserons plus particulièrement au bassin versant du Manaurie, délimité au Nord par la commune de Rouffignac-Saint-Cernin-de-Reilhac et au Sud par celle de Manaurie. Cette zone est bien connue par les archéologues qui encadrent ce projet et permet une étude locale du déplacement par gravité des silex. Elle présente aussi l'avantage d'être en partie couverte par la RGE Alti®, un MNT au pas de 1m développé par l'IGN (ressources CNP)

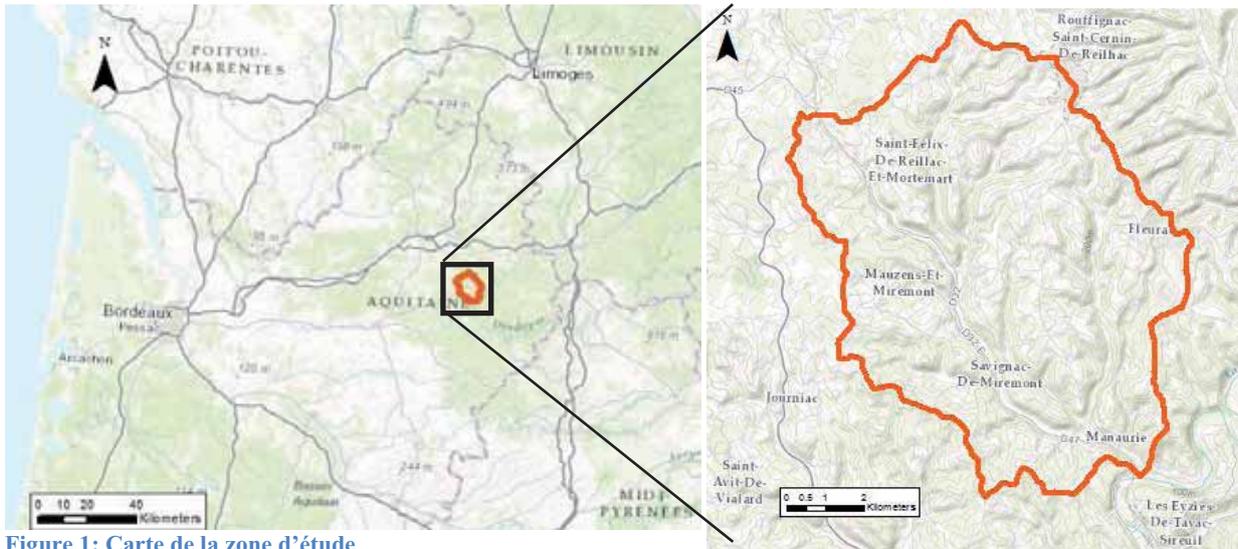


Figure 1: Carte de la zone d'étude

En effet, notre travail ne remplace pas celui des pétrologues, qui étudient la composition, la texture et la morphologie de la matière première pour en déterminer le degré d'évolution et retracer théoriquement son parcours. Mais il s'articule autour de plusieurs enjeux :

- Alimentation d'une base de données nationale en cours d'élaboration en numérisant les formations géologiques contenant des silex
- Mise en place d'une méthode de visualisation des déplacements des silex
- Cartographie des gîtes d'approvisionnement

Ce projet s'inscrit dans un contexte favorable au sein du PCR « Réseau de lithothèques » et couvre les domaines de la préhistoire, de la géologie, de l'archéologie et des SIG. Il bénéficie de la contribution de professionnels de différents secteurs pour avoir une synthèse des visions de la problématique:

- Jean-Pierre Platel, ingénieur géologue honoraire du BRGM, auteur de la majorité des cartes géologiques de la Dordogne connaît donc parfaitement notre terrain d'étude et apporte des informations complémentaires aux documents ;
- André Morala et Alain. Turq, respectivement ingénieur d'études et conservateur au Musée National de Préhistoire, seront parmi les futurs utilisateurs de la base de données et des outils d'analyse mis en place, et connaissent les gîtes à silex de la région ;
- Christophe Tuffery, ingénieur de recherche à l'INRAP, gère la mise en place des bases de données et apporte son expertise de géomaticien dans la conception et la validation des analyses SIG.
- Paul Fernandes, pétroarchéologue à Paléotime, est le créateur de la méthode de localisation des matières premières et instigateur du projet ;

- Stéphane Konik, environnementaliste et archéologue, ingénieur de recherche au CNP, lieu d'accueil du stage ;

Tout d'abord, nous verrons la mise en place du modèle statique avec la description des supports et documents utilisés pour numériser les zones de formations à silex et l'automatisation de la saisie des champs de la table attributaire associée.

Ensuite, nous aborderons la proposition d'un modèle qualitatif linéaire pour modéliser la diffusion des silex entre les formations via différents moyens de représentation.

Enfin, nous terminerons par la proposition d'un modèle dynamique quantitatif, précisant les dimensions des aires d'approvisionnement au sein des formations géologiques.

I. Mise en place d'un modèle statique

Pour analyser le déplacement des silex, il faut avant tout localiser ses origines possibles (gîtes primaires), c'est-à-dire cartographier l'ensemble des formations géologiques pouvant en contenir. Cette carte est appelée modèle statique car les silex décrits sont encore dans leur encaissant calcaire, leur lieu de formation, et n'ont subi aucun déplacement gravitaire ou alluvial.

Avant 2011, les cartes représentant la localisation des silex étaient faites sous la forme de points symbolisant les gîtes découverts lors de coupes sur le terrain. Cette représentation non surfacique ne traduit pas la possibilité d'avoir des gisements de silex à d'autres endroits que les points prospectés, et est donc par nature non exhaustive.

C'est pourquoi, le PCR « Réseau de lithothèque » a établi une cartographie proposant une comparaison aux formations géologiques pour enrichir ces observations faites séparément sur chaque site. Ce ne sont plus les points de collectes qui sont recensés mais l'ensemble de la formation géologique porteuse du ou des même(s) type(s) de silex. Sur cette carte figurent les limites topographiques et l'origine stratigraphique (étage et série géologique) des principales formations à silex. Ces surfaces traduisent des potentialités de présence de silicifications: bien que non prospectées, elles sont supposées pouvoir théoriquement contenir du silex.

Cette carte a été établie à partir des documents suivants:

- Les cartes géologiques à 1/50 000 du BRGM
- Les fiches issues de la base de données du sous-sol BSS (Banque du sous-sol)
- Des articles et des thèses traitant des formations à silex dans les régions étudiées

Cette carte a été dessinée par P.Tallet pour quatre régions du Sud de la France: Auvergne, Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Aquitaine. Elle est actuellement en format PDF dynamique. Pour une question de durée du projet, notre travail se concentrera uniquement sur le bassin Aquitain.

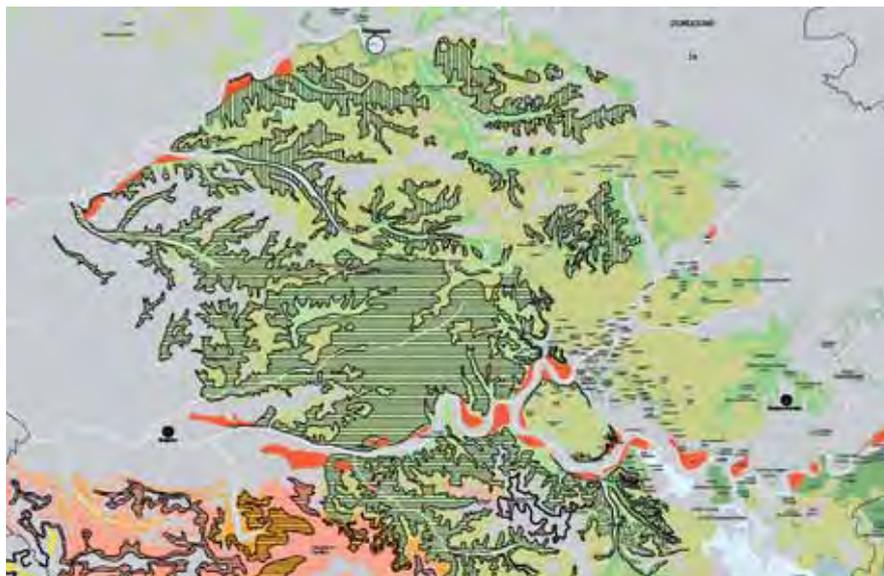


Figure 2: Carte des formations à silex de P.Tallet (Fernandes et al, 2012)

I.1. Méthodologie de la digitalisation des formations

Notre premier travail est de convertir la représentation de P.Tallet en une couche SIG et de renseigner en attributs les données utiles aux géologues pour sa future interrogation dans une base de données. Pour cela, nous croisons les informations issues de plusieurs documents :

La carte géologique image à 1/50 000 :

Le fond de plan utilisé est celui fourni par le flux WMS du BRGM, la carte géologique au 1/50000^{ème}, sur laquelle on zoome à l'échelle 1/10 000. Cette échelle de travail permet de numériser les couches géologiques à silex sans risquer d'en fusionner plusieurs ou d'en oublier certaines qui seraient peu étendues ainsi que de bien distinguer les limites qui peuvent apparaître confuses au milieu des différentes autres lignes de la carte (lignes de failles, trait de raccords aux noms des formations). Par ailleurs cette échelle de digitalisation est nécessaire pour bien distinguer la notation des formations inscrites sur les cartes (acronyme).

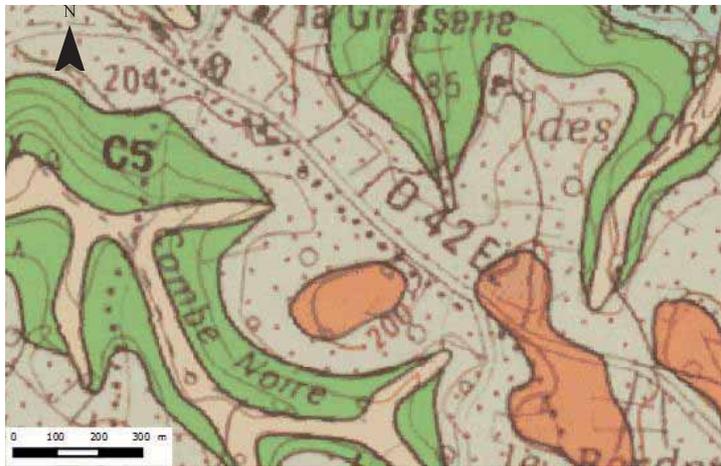


Figure 3: Extrait de la carte géologique image au 1/50 000^{ème}

La carte des formations à silex :

On ne digitalise pas toutes les formations géologiques de Dordogne, seulement celles qui ont été répertoriées comme contenant des silex (carte PDF de P.Tallet). Ces couches sont des gîtes primaires potentiels de silex. La notice de cette carte n'est pas encore finalisée donc nous ne connaissons pas le types de silex que contiennent ses formations ni leurs caractéristiques. C'est pourquoi notre travail s'attachera à les numériser sous la forme de polygones et à renseigner en attributs les informations à notre disposition mais sans présumer de la nature des silex présents à l'intérieur. Ceci relève d'un travail de pétrologie, qui sera entrepris après la fin de notre projet.

Table des équivalences entre notations de J.P.Platel :

Les cartes géologiques image à 1/50 000 de notre zone d'étude ont été réalisées entre 1980 pour la plus vieille et 1999 pour la plus récente. Entretemps, les notations (acronymes) des formations ont changés. Pour pouvoir digitaliser les polygones de façon homogènes, J.P.Platel a établi un tableau de corrélation entre les acronymes des différentes cartes et les étages géologiques auxquels ils correspondent. Celui-ci s'avère particulièrement utile pour renseigner les attributs des formations situés à cheval entre deux cartes levées à des époques différentes.

série-étage			
N° Cartes géologiques	706	707	708
Campanien 5	c7	c6e	c7
Campanien 3	c6c	c6c	c6
Campanien 2	c6b	c6b	c6

Figure 4: Extrait de la table des équivalences de J.P.Platel

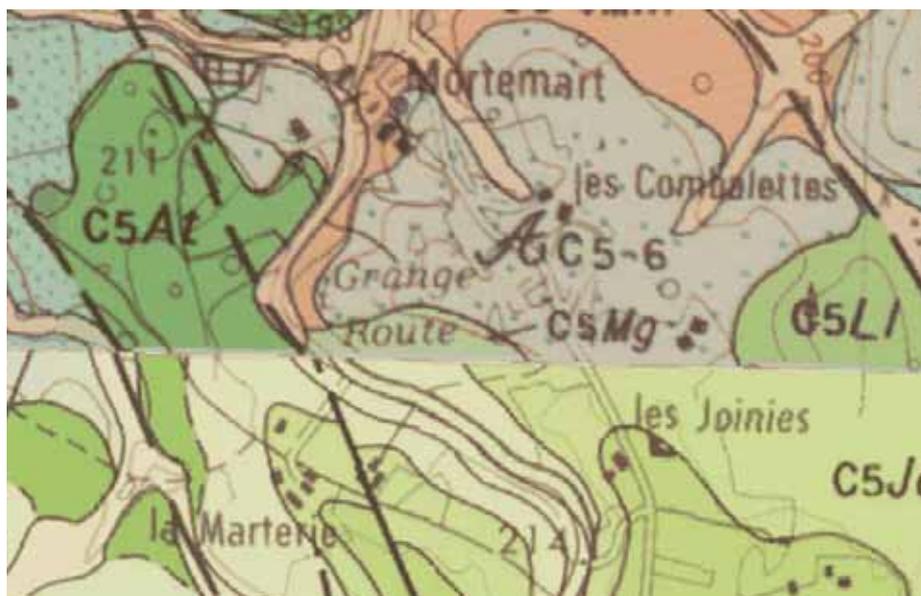


Figure 5: Limite entre la carte géologique au 1/50 000 de Thénon (en haut) et du Buge (en bas), exemple d'harmonisation nécessaire

La carte géologique vecteur à 1/50 000 :

Il a été décidé de ne pas utiliser les polygones de cette carte. En effet, à une échelle de travail de 1/10 000, on note des décalages entre les lignes des polygones et les limites des formations de la carte image (Figure 2). Le décalage entre les deux couches est de l'ordre de 10 m, soit 1 mm à notre échelle de travail. Or il est plus long de modifier ces polygones que d'en créer de nouveaux. De plus, la modification des points composant des polygones jointifs entraîne souvent des problèmes topologiques ensuite (géométries invalides ou superpositions). Enfin, la carte vecteur contient toutes les couches géologiques et non uniquement celles qui contiennent du silex. Un travail de sélection aurait ainsi été nécessaire.

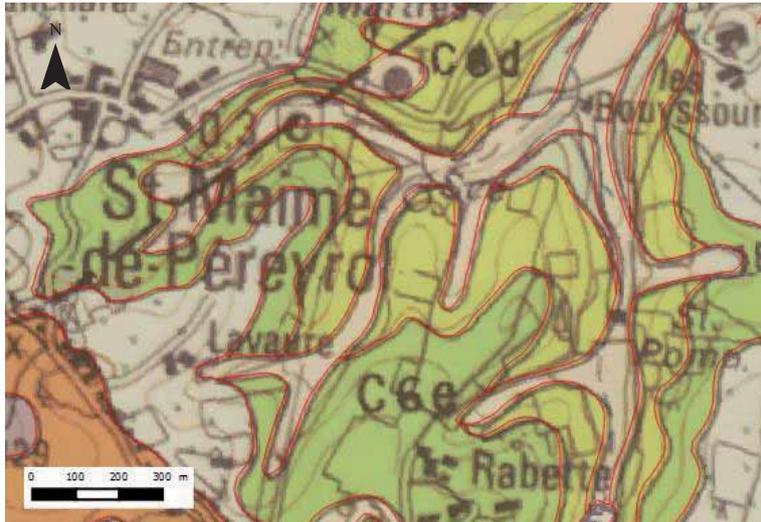


Figure 6: Comparaison entre la carte vecteur (en rouge) et la carte image

Toutefois, cette carte vecteur est utile en cas de conflits en bord de carte image, elle permet d'appréhender la forme de polygones à ces endroits. Néanmoins, à plusieurs reprises, le problème de jointure entre deux cartes s'est posé et n'a pas pu être résolu en se référant à cette carte vecteur. L'aide de J.P Platel, ayant élaboré certaines des cartes géologiques que nous utilisons, a donc été nécessaire.

Description de la méthode de numérisation

Une partie de la numérisation a été commencée au sud de la zone d'intérêt, dans le Lot-et-Garonne. Nous avons décidé de la poursuivre en remontant vers le Nord et en s'arrêtant à Périgueux, en raison de la limite du temps imparti au stage. La numérisation se fait grâce aux outils de digitalisation de QGis, pour tracer des polygones simples et jointifs. Une transparence est appliquée à la couche de saisie de façon à voir la carte géologique en image de fond. Pour digitaliser deux polygones jointifs, il faut utiliser l'option *Accrochage aux objets* et *Eviter les intersections* du menu Préférence de QGis, ce qui permet de partir de la limite d'un polygone pour en numériser un second sans avoir à tracer deux fois leur frontière commune.

Nous n'avons pas digitalisé les formations alluviales, car si le silex atteint un cours d'eau pendant son déplacement, il entre dans le modèle de diffusion hydrologique, ce qui sort du cadre de notre étude.

En environ deux mois de numérisation, 2 429 polygones ont été digitalisés, couvrant une superficie de 3 160 km².

1.2. Les attributs des formations à silex

Les champs de la table attributaire de la couche des formations à silex sont des entrées pour les futures requêtes des archéologues. Ils ont été définis par les membres du PCR, pour leurs pertinences au cours des futures interrogations de la base de données.

A l'issue du travail de numérisation, la table attributaire ne contient qu'un unique champ, l'acronyme (notation) de la formation.

La description d'un polygone s'opère en trois parties : sa numérotation, sa localisation et les informations géologiques qui lui sont associées, à travers 8 champs :

- IDF: la numérotation de chaque polygone se fait à travers un code unique. Sa forme a été mise au point par l'équipe du projet et reprise pour ce travail de façon à être en cohérence avec la base de données des formations à silex existante dans la région PACA (Dalphinnet, 2014). Il s'agit d'un code à 7 chiffres : les deux premiers indiquent le numéro du département, les deux suivant le numéro du type de formation géologique (il s'agit d'un numéro associé à chaque acronyme différent), les trois derniers correspondent à un numéro de polygone qui le rend unique.
- ACRONYME : acronyme de la formation géologique tel qu'indiqué dans la notation sur la carte géologique image à 1/50 000 et renseigné pendant la digitalisation
- COMMUNE : noms de toutes les communes dont le territoire est traversé par le polygone
- COMMUNE_2 : ce champ est nécessaire car chaque case de la table attributaire ne peut comporter que 255 caractères. Comme notre champ « Commune » les dépasse pour 5 polygones (sur 2 429 au total), une partie de son contenu a été copié manuellement dans ce champ pour que le champ « Commune » puisse être affiché.
- CODE_INSEE : code INSEE de toutes les communes dont le territoire est traversé par le polygone. Ce champ est intéressant car en France, deux communes peuvent avoir des noms identiques mais ne peuvent pas avoir le même code INSEE. Ce champ répond donc à un souci de cohérence pour une base qui sera publiée à l'échelle nationale.
- NOM_CARTE : Nom(s) de la ou des carte(s) géologique(s) traversée(s) par le polygone
- NUM_CARTE: Numéro(s) national(s) de la ou des carte(s) géologique(s) traversée(s) par le polygone
- SERIE : nom de la série géologique
- ETAGE : nom de l'étage géologique
- NOM_FORM : nom employé dans la littérature pour désigne cette formation. Cette information se trouve dans le tableau des équivalences entre notations de J.P.Platel (Figure 3).

IDF	ACRONYME	COMMUNE	COMMUNE_2	CODE_INSEE
427	C5Tm	JOURNIAC, LE BUGUE	NULL	24217, 24067

NOM_CARTE	NUM_CARTE	SERIE	ETAGE	NOM_FORM
Le Bugue	807	Crétacé supérieur	Campanien 1-2	formation de Tremolat

Figure 7: Exemple d'une ligne de contenu de la table attributaire de la table des formations

On remarque qu'aucun des champs ne concerne les silex contenus dans les formations. En effet, les formations digitalisées sur la carte de P.Tallet n'ont pas encore fait l'objet d'une notice complète. Des champs concernant les informations géologiques et archéologiques seront donc à ajouter ultérieurement par les membres du PCR, notamment sur les types de silex que l'on trouve dans ces formations. Cela pourra se faire à l'aide d'une couche séparée les référençant, et d'une jointure attributaire entre les deux couches. Cette relation étant de type « plusieurs à plusieurs », une table de liaison sera nécessaire.

I.3. Méthodologie de renseignement de ces attributs

La numérisation des formations est une partie assez fastidieuse du projet mais indispensable pour mener les analyses de diffusion ensuite. Comme cette base de données est destinée à être étendue à d'autres régions par le PCR, nous devons rendre le renseignement des attributs le plus automatique possible par les outils SIG. Cela permettra au futur opérateur d'économiser du temps et d'effectuer la digitalisation de manière similaire aux précédentes saisies, dans l'optique d'avoir une base de données générale homogène.

Nous nous appuyons sur deux faits pour renseigner la table attributaire :

- Les champs présentent des récurrences attributaires : les mêmes informations sont portées par plusieurs attributs. En effet, l'acronyme formation porte à la fois des informations stratigraphiques codées (la série et l'étage ainsi que parfois le nom de la formation). L'acronyme correspond aussi à une partie du numéro IDF, au troisième et quatrième chiffre.
- Certains champs contiennent des informations surfaciques qui peuvent s'extraire d'autres couches. Ce sont tous les champs ayant trait à la localisation du polygone : commune, code_INSEE, Nom_carte, num_carte.
De même, les deux premiers chiffres du numéro IDF peuvent être obtenus par la couche des départements.

I.3.1. Renseignement des attributs stratigraphiques :

On utilise la calculatrice de champs de la table des polygones pour obtenir la valeur du champ « étage » à partir du champ « acronyme » et la condition CASE. Elle s'écrit sous la forme :

```
CASE WHEN <condition> THEN <résultat> END
```

On identifie à quels étages chacun des 51 acronymes différents correspond.

Exemple: CASE WHEN "ACRONYME" = 'C4' THEN "ETAGE" = 'Coniacien' END

Puis on opère de même en partant de l'étage cette fois et en renseignant la série géologique. C'est assez rapide puisque nous n'avons que 15 étages et 5 séries.

I.3.2. Renseignement des attributs de localisation

On s'appuie sur les couches vecteurs des communes et des départements issus de la BD CARTO® et une vectorisation de la carte d'assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 issue du

flux WMS du BRGM. Cette couche permet de savoir dans quelle carte géologique est réalisée la numérisation.

L'outil de jointure spatial de QGis n'est pas adaptée pour trouver pour chaque formation, l'ensemble des communes qu'elle intersecte. Nous avons donc recours à la composante spatiale appelée PostGis, version 2.0, du système de gestion de base de données Postgres version 2.4. Il travaille automatiquement en connexion avec QGIS. Nous l'utilisons pour effectuer des requêtes SQL sur nos les couches de polygones et en extraire des tables (fichiers dbf). Nous utilisons pour ce projet l'interface pgAdminIII, permettant d'insérer les couches SIG dans une base de données et d'écrire nos requêtes.

Nous chargeons les fichiers SHP à l'aide du plugin « POSTGIS Shapefile and DBF Loader 2.1 » et en sélectionnant l'encodage LATIN1 afin de pouvoir travailler avec les accents.

Nous utilisons la fonction ST_INTERSECTS (cf annexe) sur les colonnes contenant les géométries des couches. Ainsi la table en sortie de la requête contiendra une ligne pour chaque intersection entre une formation et une commune.

Par exemple, nous observons sur le tableau de la figure 8 que plusieurs lignes contiennent le même « gid » (qui est un numéro de ligne unique pour la table des formations). Ici, cela signifie que la formation 2 se trouve à cheval sur les communes de Pressignac-Vicq et Mauzac-et-Grand-Castaing.

gid integer	acronyme character varying	nom_comm character varying(50)
1	AC5-6	PEZULS
2	AC5-6	PRESSIGNAC-VICQ
2	AC5-6	MAUZAC-ET-GRAND-CASTANG
3	AC5-6	PRESSIGNAC-VICQ
4	AC5-6	LALINDE
5	C5Jo	LALINDE
6	AC5-6	LALINDE
7	C5Cz	SAINT-LAURENT-DES-BATONS
7	C5Cz	SAINTE-FOY-DE-LONGAS

Figure 8: Extrait de la table en sortie de la requête d'intersection

Nous concaténons les lignes ayant le même gid en utilisant la fonction string_agg (cf annexe) prévue à cet effet : pour chaque gid, elle regroupe les noms de toutes les communes intersectées dans le même champ en les séparant par des virgules.

gid integer	acronyme character varying	nom_comm text
1	AC5-6	PEZULS
2	AC5-6	PRESSIGNAC-VICQ, MAUZAC-ET-GRAND-CASTANG
3	AC5-6	PRESSIGNAC-VICQ
4	AC5-6	LALINDE
5	C5Jo	LALINDE
6	AC5-6	LALINDE
7	C5Cz	SAINT-LAURENT-DES-BATONS, SAINTE-FOY-DE-LONGAS

Figure 9: Extrait de la table en sortie de la requête de concaténation

Une méthode similaire est utilisée pour obtenir les noms des départements, communes et cartes, sur lesquels se trouvent les polygones. Cependant, nous souhaitons n'avoir qu'un seul attribut pour chaque formation : un seul numéro de département par exemple.

Nous utilisons pour cela la couche des centroïdes des polygones (obtenue par l'outil *Qgis Vecteur/Outils de géométrie/Centroïde des polygones*). Un centroïde étant un point, il ne peut pas appartenir à plusieurs surfaces qui ne se recouvrent pas. Cela en fait un critère discriminant.

Cette couche est placée en entrée de la requête d'intersection et non celle des formations elles-mêmes. En s'appuyant sur le champ gid, nous effectuons pour finir une jointure attributaire pour lier la table des centroïdes à celle des formations.

Méthode de numérotation unique des formations : l'attribut IDF

Jusqu'à présent nous avons obtenu les deux premiers chiffres de l'IDF avec le numéro de département et les deux seconds avec l'acronyme. Le nombre formé par ces quatre chiffres (appelé idf_temp) n'est pas unique dans notre table des polygones. Nous souhaitons donc lui associer une numérotation. Ainsi l'identifiant IDF sera unique et de longueur minimale.

	idf_temp character varying(254)	numérotation character varying(254)
1	2415	1
2	2415	2
3	2415	3
4	2415	4
5	2409	1
6	2415	5
7	2408	1
8	2408	2
9	2408	3
10	2408	4

24: Numéro de département
15: Numéro d'acronyme

Numérotation de idf_temp 2415

Figure 10: Extrait de la table en sortie de la requête de numérotation

On utilise la fonction ROW_NUMBER()OVER() (cf annexe) qui permet de découper la table en partitions à l'aide des valeurs d'un champ (ici le idf_temp) et d'associer un numéro séquentiel aux lignes d'une partition en commençant par 1 pour la première ligne de chaque partition.

L'avantage de ces requêtes est qu'en cas d'ajout ou de suppression de formation, il suffit de les relancer sur la couche modifiée pour obtenir une numérotation correcte sans perdre de temps.

Conclusion :

Le modèle statique est une cartographie des gîtes primaires des silex, qui restent fixes. Nous avons un état des lieux des ressources disponibles en profondeur. Notre étude des déplacements des silex en surface se base sur ces formations.

II. Proposition d'un modèle dynamique qualitatif

II.1. Notion de chaîne évolutive et de domaine exploitable

Le silex ne doit pas être considéré comme une entité fixe auquel on peut attribuer un positionnement géographique unique. Il a une histoire complexe : formation/cristallisation, arrivée à l'affleurement, déplacement gravitaire, transport et tout ceci avant d'être collecté par les hommes préhistoriques, c'est la « chaîne évolutive ». Le silex enregistre jusque dans sa structure les événements qui lui arrivent. Certaines abrasions, patines, traces de chocs, altérations sont caractéristiques d'un transport gravitaire suivant la pente. Ces transformations déterminent ce que l'on appelle un « type gîtologique » (Fernandes et al, 2012). Il est à distinguer du type génétique qui est issu des mécanismes intervenus pendant la formation du silex dans son encaissant (compaction et diagénèse).

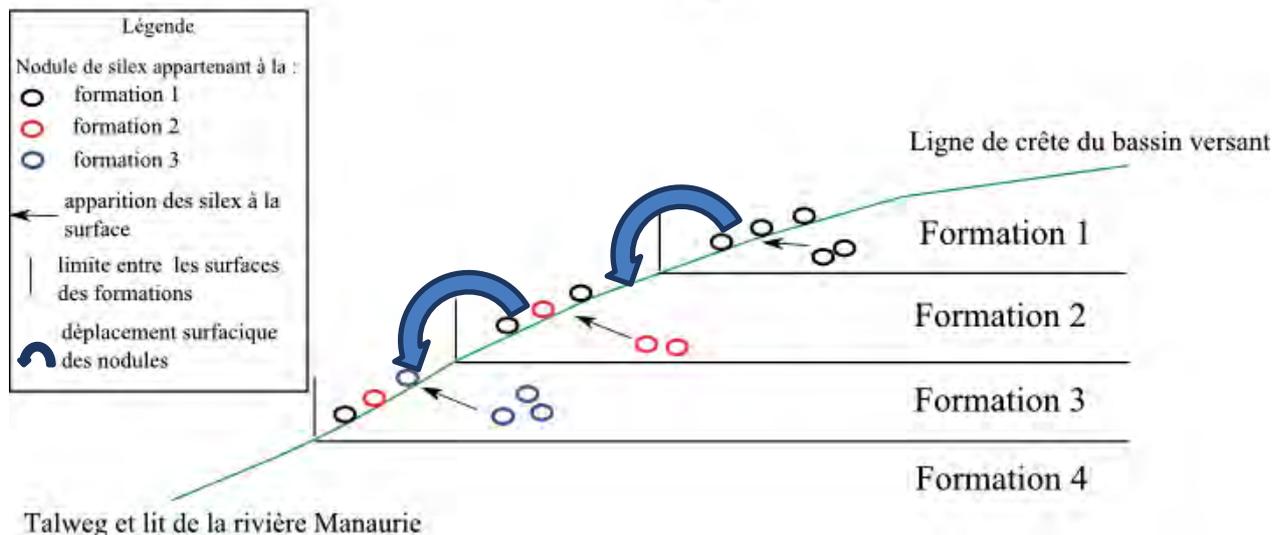


Figure 11: Schéma d'une vue en coupe d'un demi-bassin versant montrant le déplacement des silex

Seule une vision intégrant l'échantillon dans un itinéraire optimise l'appréciation des lieux de collecte. Il est donc utile de connaître le **domaine exploitable** : l'ensemble des gîtes primaires et la totalité des aires de dispersion de chaque type génétique. Cette zone diffère des gîtes réellement exploités par les hommes mais donne une aire de recherche pour les trouver.

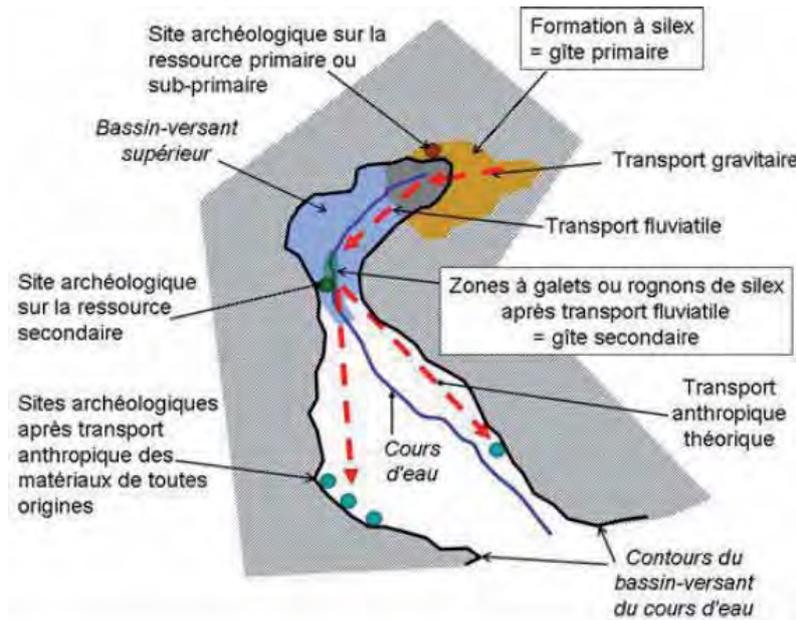


Figure 12: Graphique des relations entre gîtes

Pour délimiter cet espace, il faut nous concentrer sur un petit nombre de formations géologiques afin d'étudier l'ensemble des relations de diffusion du silex entre elles. Avec les membres du PCR, nous avons choisi le bassin du Manaurie, délimité au Nord par la commune de St Reillac-de-Miremont et au Sud par celle de Manaurie, pour les raisons suivantes :

- les gîtes secondaires de ce secteur sont bien connus par les archéologues, A.Turq et A. Morala, et la stratigraphie du site a été étudiée par J.P.Platel
- il est couvert dans sa partie sud par le RGE alti, un MNT que nous pourrions utiliser dans les futures analyses



Figure 13: Carte des couches géologiques à silex du bassin du Manaurie

II.2. Présentation de l'environnement de travail et des données utilisées

II.2.1. Environnement de travail

Nous prenons comme hypothèse de travail que le déplacement des nodules de silex par gravité, dans son ensemble, a le même comportement que l'eau : il s'écoule suivant la pente. Nos analyses utiliseront donc des algorithmes d'hydrographie.

On utilise les fonctionnalités d'analyse hydrographiques du logiciel GRASS 6.4.3, présent dans l'environnement QGIS sous la forme d'un plugin. Par ce moyen, nous pouvons effectuer toutes nos analyses en restant sur le même logiciel, ce qui évite les problèmes d'import/export et de compatibilité des formats entre logiciels. Avant toute utilisation d'outil, GRASS nécessite la création d'une base de données (géodatabase), d'un secteur, d'un jeu de données et d'une région associée :

- Les données GRASS sont enregistrées dans un répertoire en structure arborescente. La géodatabase est le niveau supérieur du répertoire.
- Le secteur GRASS est une collection de cartes pour un projet particulier. Un secteur est associé à une région et à un système de projections uniques. La région est une fenêtre de traitement (Nord, Sud, Est, Ouest) avec une certaine résolution. Une fois définie, tous les traitements postérieurs ne s'appliqueront qu'à ce qui est à l'intérieur de la région.
- Le jeu de données GRASS rassemble les cartes utilisées par un utilisateur. Un utilisateur peut lire des cartes à partir de tous les jeux de données mais ne peut modifier que le sien.

De plus, les commandes peuvent se paramétrer et se lancer de trois manières différentes:

- Par une interface de paramétrage accessible depuis la barre d'outil GRASS(symbole ) Cette option est utile pour l'utilisation de fonctions simples, comme l'import/export de fichiers dans la géodatabase GRASS mais ne permet pas l'accès à toutes les paramètres des algorithmes et certaines fonctions ne fonctionnent pas
- Par la fenêtre de commande SHELL
 - En tapant le nom de la commande, nous avons accès à une fenêtre de paramétrage plus détaillée et fonctionnant mieux
 - En écrivant la commande avec ses arguments directement dans le SHELL

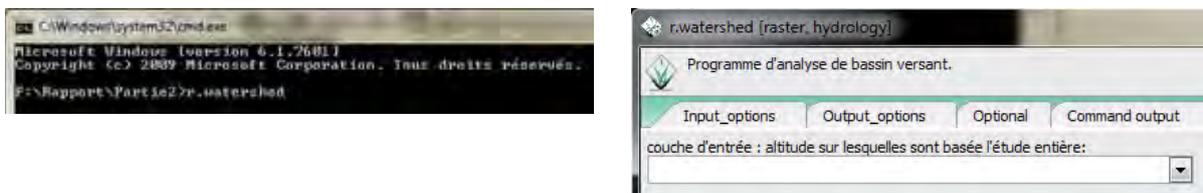


Figure 14: Image du SHELL et d'une fenêtre de paramétrage

Nous avons utilisé la fenêtre de paramétrage accessible via le SHELL pour la plupart de nos traitements, la dernière option étant destinée aux utilisateurs expérimentés et sachant coder les instructions.

II.2.2. Données

Pour analyser la diffusion gravitaire du silex, l'utilisation d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) s'impose. Nous avons à notre disposition le MNT au pas de 25m issus de la BD ALTI® de l'IGN. Celui-ci est payant et a été acquis par le ministère de la Culture sur le département de la Dordogne pour notre projet.

La BD ALTI® 25m est le MNT le plus précis d'étude à notre disposition couvrant l'ensemble de la surface. Toutefois, l'IGN a récemment édité un MNT au pas de 1 m et d'une précision d'au moins 50 cm, le RGE ALTI®. C'est la représentation altimétrique de la composante topographique du RGE®. Cependant, le département de la Dordogne n'est couvert que partiellement par le RGE ALTI®, issu de relevés LIDAR, sur les rivières de la Drome, l'Isle et la Dordogne. C'est pour cela que le MNT issu de la BD ALTI® 25m sera utilisé pour tous nos traitements et le RGE ALTI®, uniquement pour comparer l'utilisation des deux MNT de résolutions différentes (cf III.Quantification des apports en silex).

Nous nous appuyons également sur la couche des formations à silex établie dans la Partie I, en restreignant notre étude au bassin du Manaurie.

II.3. Établissement des relations entre les formations

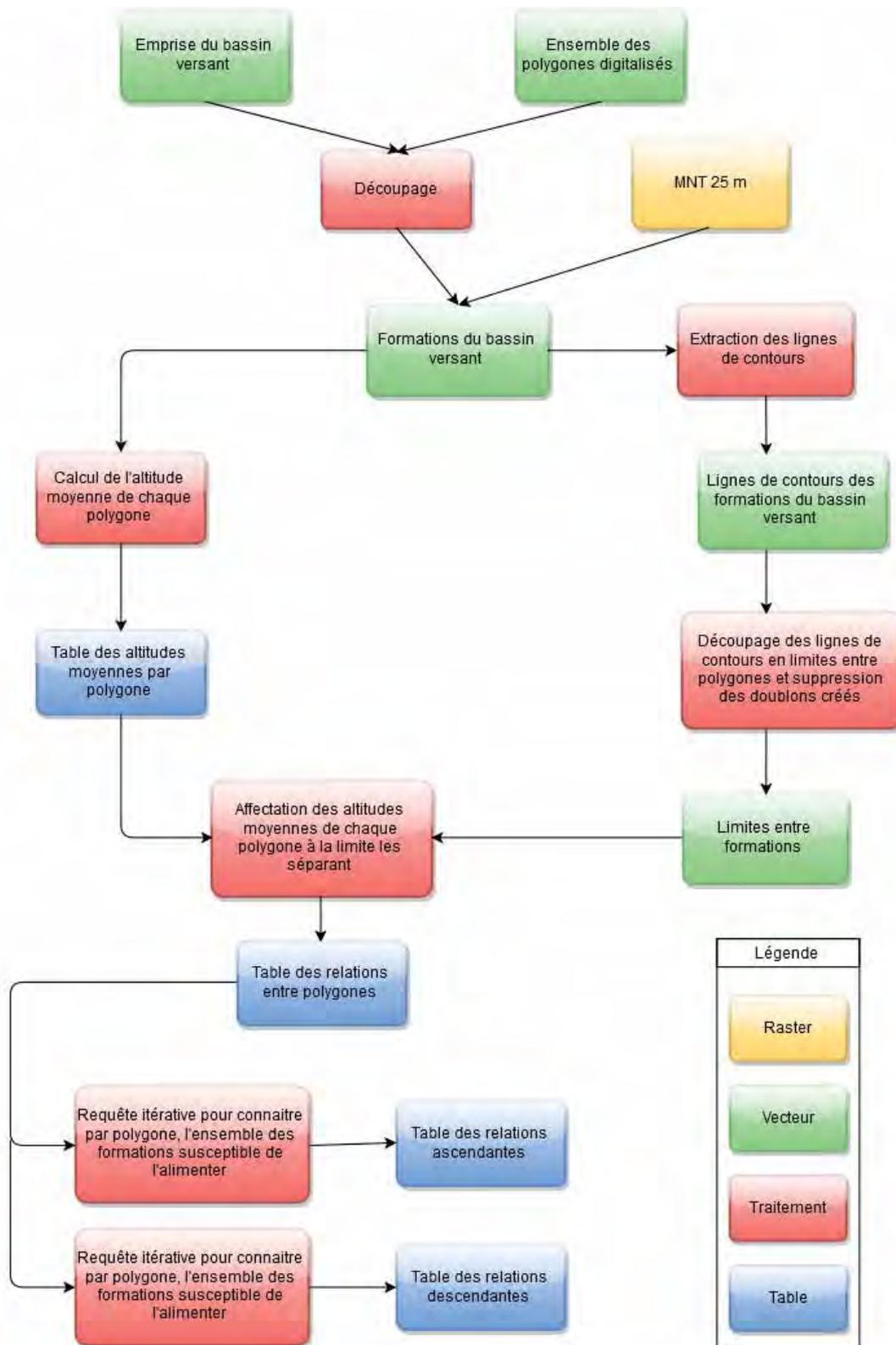


Figure 15: Diagramme de la méthode qualitative

II.3.1. Traitement du MNT

Le MNT contient des cuvettes qui sont néfastes pour le bon déroulement de nos futures analyses. Celles-ci bloquent les écoulements, qu'il s'agisse d'eau ou de silex. Elles peuvent être réelles (lacs, creusement du relief) ou virtuelles (erreur sur l'altitude d'un pixel, erreur due à l'algorithme de détermination des directions de drainage). Nous les considérons toutes comme virtuelles en l'absence d'analyse précise de chacune d'entre elles et d'une bonne connaissance de la réalité terrain: il n'y a pas de lac dans notre zone d'étude.

L'algorithme de GRASS nommé *r.fill.dir* est l'outil adapté pour lisser notre MNT (Marchandise 2013). Il faut le relancer autant de fois que nécessaire en utilisant la sortie de son exécution comme entrée de la suivante, avant d'obtenir un MNT topologiquement propre et utilisable pour tracer les contours de notre bassin versant. Pour notre étude, il ne compte pas moins 695 cuvettes à corriger avant le premier filtrage et doit être bouclé sur sa sortie trois fois.

II.3.2. Création des limites du bassin versant

Il s'agit tout d'abord de définir les limites de notre secteur d'étude. Pour cela on extrait l'emprise du bassin versant à l'aide des outils *r.watershed* et *r.water.outlet* de GRASS en se basant sur le MNT au pas de 25m.

II.3.3. L'analyse des bassins de retenue d'eau avec l'outil *r.watershed*

Il utilise en entrée le MNT pour en extraire des rasters de drainage et de d'accumulation. Le premier indique la direction de l'écoulement pour chaque pixel et le second le nombre de pixels qui se sont accumulés à un endroit, suivant l'écoulement.

Parmi les paramètres de cet outil, il a la possibilité d'utiliser l'algorithme MFD (multiple flow direction). Avec cet algorithme, l'écoulement est distribué non pas depuis une cellule vers la cellule qui à l'altitude la plus basse mais vers l'ensemble des cellules voisines ayant une altitude plus basse en utilisant la pente comme facteur de distribution proportionnelle. Nous choisissons de ne pas l'utiliser car il ne présente pas d'avantage particulier pour notre étude.

Les autres arguments concernent la possibilité d'inclure des emplacements de dépressions réelles et de terrain bloquant l'écoulement de surface. Cela ne nous intéresse pas puisque l'on souhaite que l'écoulement puisse se faire depuis les lignes de crêtes jusqu'à la rivière.

Nous utilisons les arguments par défaut de l'algorithme car, notre étude portant sur des déplacements ayant eu lieu durant la période préhistorique, nous n'avons pas d'informations précises sur l'état de la surface des formations.

Remarque : Il est possible de tracer les contours du bassin versant uniquement avec cet outil, en fixant une taille de bassin minimal (en pixel) correspondant approximativement à celui du Manaurie. Cette méthode apparaît comme peu rigoureuse. En effet, elle considère la présence de multiples bassins à l'intérieur de notre zone d'étude (définie par l'emprise du MNT) et va tenter de déterminer leurs limites. Cette méthode est en théorie gourmande en temps d'exécution. Mais en pratique, elle donne exactement le même résultat qu'en utilisant l'algorithme *r.water.outlet* si l'on fixe correctement notre valeur de taille minimale.

II.3.4. La création de bassin d'inondation avec l'outil *r.wateroutlet*

Il utilise le raster de drainage créé précédemment et la position d'un exutoire pour tracer le contour du bassin versant. Il faut correctement placer l'exutoire sur le réseau de drainage. Celui-ci est facilement visualisable, il correspond aux plus hautes valeurs du raster d'accumulation (en noir sur la figure). Le contour produit est vectorisé avec l'outil *r.to.vect.area* de GRASS

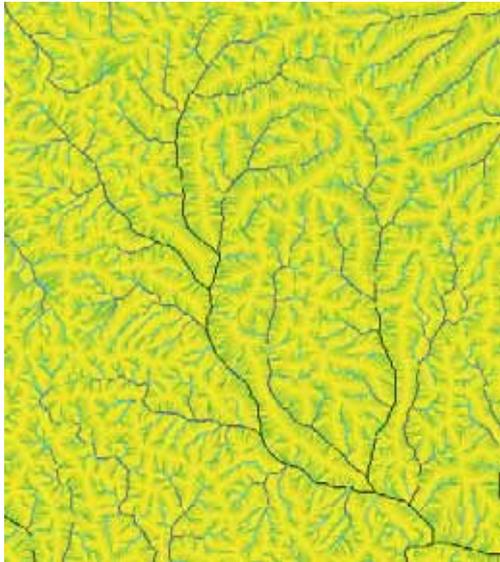


Figure 16: Raster d'accumulation du bassin versant du Manaurie

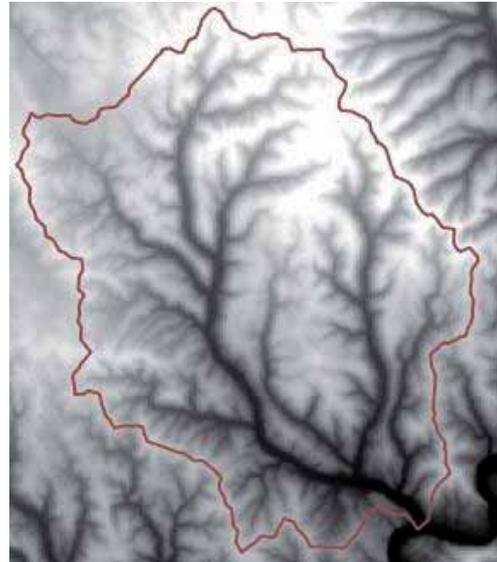


Figure 17: MNT et emprise du bassin versant

Notre but est d'établir des relations entre les formations pour savoir lesquelles alimentent en silex les autres suivant la pente. Pour cela, nous comparons les altitudes des formations adjacentes et établissons des relations d'ascendances et de descendances.

II.3.5. Extraction des lignes de contours des formations du bassin versant

En les extrayant, chaque ligne contient en attribut les deux informations nécessaires à la comparaison : les altitudes des formations adjacentes.

On extrait les contours des polygones. Chaque contour peut être en relation avec un ou plusieurs voisins. Or nous souhaitons extraire les relations entre un polygone et chacun de ces voisins. C'est pourquoi, il faut découper ces contours en frontières. Une frontière ou limite est une partie d'un contour séparant deux formations. La frontière commune est définie par la détermination de deux points, les points d'intersection entre les contours des polygones (Figure 18). Il faut tenir compte aussi des lignes qui ne séparent pas deux polygones. Celles-ci se trouvent proche de la rivière (car nous n'avons pas digitalisé les formations alluviales) ou en limite de bassin versant.

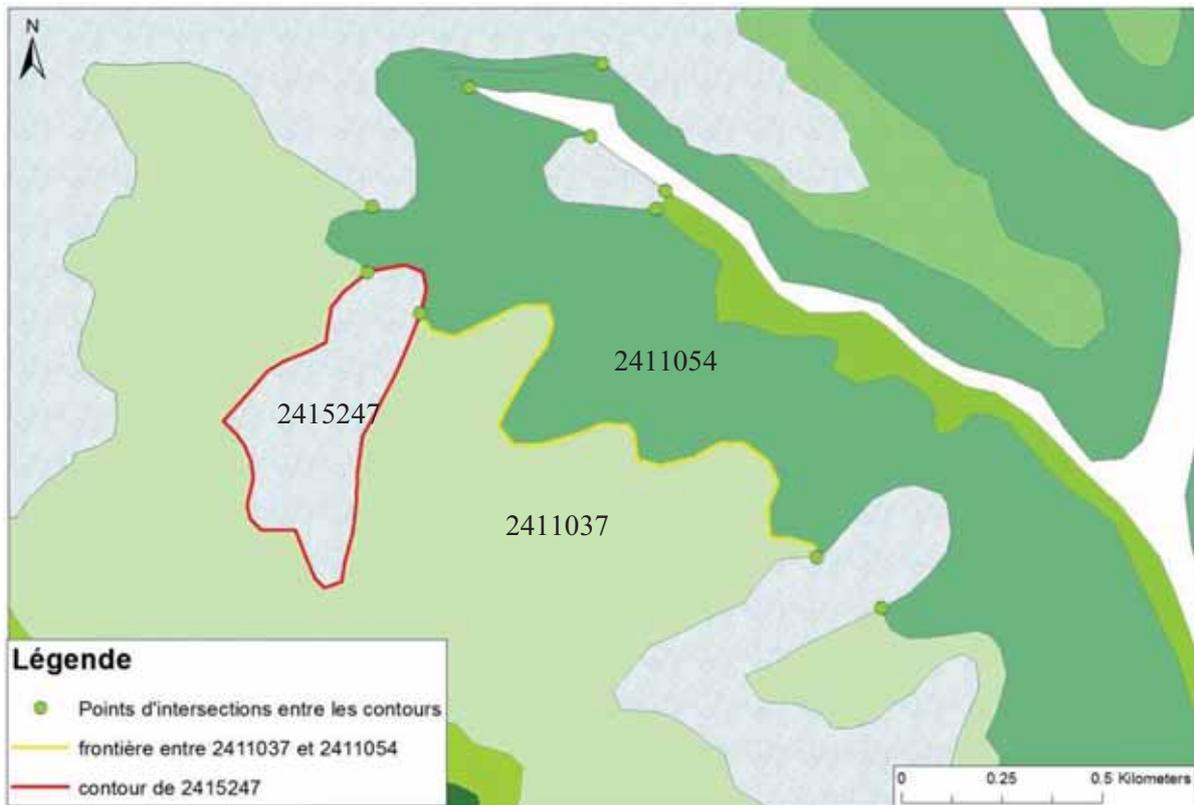


Figure 18: Exemple de frontières et de contours entre trois formations

II.3.6. *Obtention des relations entre polygones à partir du MNT*

La première idée a été de comparer les altitudes de part et d'autre de chaque frontière commune, pour obtenir les relations amont/aval entre les formations.

Il a été envisagé de créer une zone tampon autour de cette limite pour obtenir la moyenne des altitudes de chaque côté. Et cela afin d'éviter d'avoir un biais engendré par une moyenne faite sur une grande surface et non représentative de la relation entre les polygones au niveau de la limite.

Cette méthode possède deux inconvénients majeurs:

- les zones tampons se chevauchent et prennent en compte des altitudes de d'autres formations en bout de ligne, il faut éliminer ces dépassements.
- le MNT que nous utilisons contient une altitude tous les 25 m. La zone tampon doit être assez large (environ 100m) pour comptabiliser assez de points pour effectuer une moyenne. Or certaines formations sont très peu large et la zone tampon recouvrirait la totalité de la formation et même au-delà.

C'est pourquoi nous avons fait le choix de calculer l'altitude moyenne sur toute la surface des polygones et d'observer la pertinence de nos résultats. Avec un relief régulier entre les sommets du bassin versant et le lit de la rivière, on suppose que l'ordre stratigraphique des formations sera respecté. En vérifiant cette condition sur l'ensemble des polygones, nous notons une unique erreur sur les 107 formations : une formation a une altitude moyenne plus haute que celle d'une de ses voisines, pourtant sensée être supérieure.

On attribut donc à chaque polygone la moyenne des altitudes de la zone qu'il couvre sur le MNT avec l'outil *v.rast.stats* de GRASS.L'outil crée une table et non une couche d'où la nécessité d'utiliser ensuite une jointure attributaire

Deux jointures attributaires entre la table de la couche des limites entre polygones et celle des altitudes de ceux-ci permettent d'obtenir le résultat suivant:

	idf1 numeric(10,0)	alti1 numeric	idf2 numeric(10,0)	alti2 numeric
1	2415351	241.418295341	2408108	218.411764706
2	2408108	218.411764706	0	0
3	2408108	218.411764706	2409193	212.156398104
4	2415351	241.418295341	2409193	212.156398104
5	2409193	212.156398104	0	0
6	2409194	198.500000000	2410235	191.142857143
7	2415351	241.418295341	2409194	198.500000000
8	2409195	195.190476190	2410235	191.142857143
9	2415351	241.418295341	2409195	195.190476190
10	2410054	207.244274809	2411219	181.169636815

Figure 19: Extrait de la table des limites entre polygones

Chaque ligne représente une relation entre deux polygones séparés par une frontière.

idf1: colonne contenant le numéro de la formation dont la moyenne des altitudes est la plus haute au sein de la relation

alti1: altitude moyenne de la formation idf1

idf2: colonne contenant le numéro de la formation dont la moyenne des altitudes est la plus basse au sein de la relation

alti2: altitude moyenne de la formation idf2

On assigne le chiffre 0 en idf1 et idf2 aux formations qui sont proches de la rivière et en limite de bassin versant, respectivement n'ayant pas de voisin supérieur ou inférieur. Comme ces lignes ne représentent pas de « vraies » relations entre des formations, elles seront supprimées dans les traitements suivants.

II.3.7. Obtention des itinéraires de déplacement des silex

Dans un premier temps, on désire, pour chaque formation, connaître l'ensemble des formations amont ayant pu lui communiquer du silex. La procédure est similaire pour connaître les formations aval. Pour cela, nous utilisons une **requête récursive**.

Elle présente l'avantage de pouvoir se référencer elle-même. Une expression initiale est exécutée de façon répétée pour retourner des sous-ensembles de données jusqu'à l'obtention de l'ensemble des résultats complets.

Elle se présente sous cette forme:

```
WITH RECURSIVE nom_CTE (liste_colonnes) AS
    Première sous-requête SELECT indiquant par où commencer, le point de départ
    UNION ALL ← assure la liaison avec l'itération suivante
    Seconde sous- requête SELECT indiquant que faire à chaque itération
    Troisième requête SELECT utilisant la table « nom_CTE »
```

La CTE (common table expression) est une vue de travail, qui ne persiste que pendant l'exécution de la requête récursive. Elle doit apparaître dans la seconde sous-requête SELECT,

comme cela « il y a une corrélation entre l'expression de la CTE et le code SQL qui la compose » : la vue s'appelle elle-même dans le code SQL qui la définit.

La première requête est la partie non récursive, elle sert à amorcer le processus. La seconde, elle, est la véritable partie récursive puisque c'est là où la table se référence elle-même.

La requête cherche pour chaque formation toutes ses relations avec d'autres formations situées en aval.

La requête utilisant sa propre sortie, il faut veiller à ce qu'elle ne boucle pas sur elle-même indéfiniment. Toutefois, comme il existe un nombre limité de relations entre les formations (207 au total) et que nous les avons ordonnées (Figure 19), cela est exclu pour notre étude. On compte entre 0, lorsque la formation est en bord de bassin versant, et 10 itérations pour la connexion la plus longue. Ceci est observable par la colonne « niveau » de la figure 19.

Ce travail est à faire dans les deux sens: pour connaître tous les polygones en connexion, en amont et en aval, d'un polygone donné.

II.4. Représentation des résultats du modèle qualitatif

II.4.1. Représentation par un tableau :

Ce traitement Postgres aboutit à deux tableaux:

- celui de l'ensemble des formations susceptibles d'être alimentées par une formation choisie ou « table des relations ascendantes »
- celui de l'ensemble des formations susceptibles d'alimenter une formation choisie ou « table des relations descendantes »

Ils contiennent toutes les informations sur chaque lien entre les formations.

formation_interet numeric(10,0)	formation_amont numeric(10,0)	arborescence text	niveau integer	chemin character varying
2410054	2415358	2415358	1	2410054 2415358
2410054	2410106	2410106	2	2410054 2415358 2410106
2410054	2415351	2415351	3	2410054 2415358 2410106 2415351
2410054	2410107	2410107	4	2410054 2415358 2410106 2415351 2410107
2410054	2410107	2410107	2	2410054 2415358 2410107
2410054	2415351	2415351	2	2410054 2415358 2415351
2410054	2410107	2410107	3	2410054 2415358 2415351 2410107

Figure 20: Extrait de la table des relations ascendantes

La colonne *formation_interet* contient le numéro de la formation dont on cherche les formations amont.

La colonne *formation_amont* contient un numéro de formation liée à la formation d'intérêt.

La colonne *arborescence* est une représentation en arborescence des relations entre les formations : à chaque indentation correspond un niveau.

La colonne *niveau* indique le nombre « d'étape » entre la formation d'intérêt et celle située en amont : combien de limites entre formations ont été franchies par le silex pour parvenir jusqu'à la *formation_interet*.

La colonne *chemin* donne les numéros des formations par lesquelles le silex a transité avant d'arriver à la *formation_interet*.

De même, pour la table des relations descendantes :

formation_interet numeric(10,0)	formation_aval numeric(10,0)	arborescence text	niveau integer	chemin character varying
2415147	2411169	2411169	1	2415147 2411169
2415147	2411036	2411036	2	2415147 2411169 2411036
2415147	2411160	2411160	3	2415147 2411169 2411036 2411160
2415147	2411160	2411160	2	2415147 2411169 2411160

Figure 21: Extrait de la table des relations descendantes

Bien que très complets, les tableaux sont cependant difficiles à lire, avec 2536 lignes uniquement pour le tableau des relations ascendantes. On peut extraire les informations que l'on souhaite par de simples requêtes SQL mais cela demande à l'utilisateur de connaître ce langage.

Nous voulons donc développer sous QGis, une interface qui permette à l'utilisateur d'extraire de ces tables, les relations qui l'intéressent.

II.4.2. Représentation par un graphe

Nous choisissons une représentation graphique sous la forme d'un graphe orienté. Un graphe est un ensemble de points (ou sommets) reliés par des flèches (ou arêtes) pour former un réseau. Un chemin est une succession d'arêtes créant un lien entre deux sommets. Ces chemins ont des sens puisque notre graphe est orienté. Il faut distinguer les graphes des arbres, qui sont une sous-catégorie plus simple. Les arbres ont pour caractéristique de ne pas pouvoir comporter de cycle, ce qui est possible dans notre modèle. L'ensemble des propriétés des arbres et la manière d'effectuer les traitements ne sont donc hélas pas adaptés à notre problème (notamment la représentation intervallaire des arborescences).

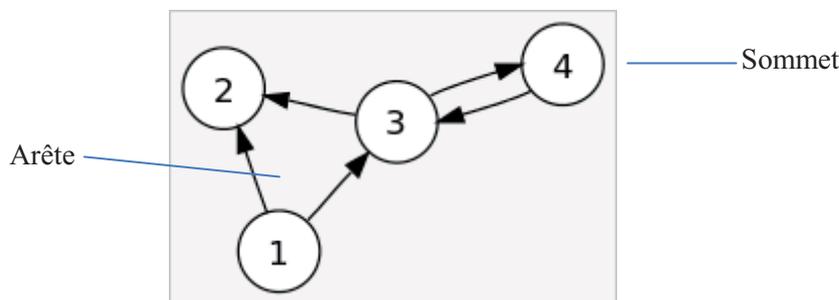


Figure 22: Exemple de graphe orienté

(Réalisé d'après une illustration disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/grapheoriente>)

Le graphe a pour but de fournir une représentation synthétique des relations entre formations. Il comporte plus d'informations que le tableau. En effet, il affiche les liens entre les formations et les niveaux de la relation mais aussi fait apparaître d'autres liens entre les formations présentes sur l'itinéraire du silex. Ce sont ces relations qui produisent les cycles du graphe (Figure 9).

Pour tracer le graphe nous utilisons R, un langage de programmation et un logiciel dédié au calcul statistique, disposant de représentations graphiques poussées. Il est présent dans l'environnement QGis sous la forme d'un « prestataire de service » : un module qui permet d'exécuter les scripts R directement dans QGis et de bénéficier de tout le potentiel du logiciel sans avoir à passer par une console autonome.



Figure 23: Emplacement des scripts dans la boîte à traitement QGIS

Le logiciel utilise la table listant les relations entre chaque formation deux à deux (Figure 4) et possédant la colonne *formation_interet*, comme les tables des relations ascendantes et descendantes, permettant d'isoler celles que l'on souhaite faire apparaître dans le graphe.

II.4.3. Explication du contenu du script R utilisé :

Nous utilisons une table contenant tous les sommets et l'ensemble des arêtes composant les chemins partant de chaque sommet (pour le graphe descendant) ou arrivant à ce sommet (pour le graphe ascendant). Le script nous permet de sélectionner un sommet d'intérêt et ainsi les arrêtes qui composent ses chemins, et de les dessiner.

Une grande partie du script est dédiée au changement de type d'objet (tableau de données et matrices) ou de type de données manipulés (nombres, chaînes de caractères). La table des coordonnées des centroïdes des polygones est importée et réordonnée dans une structure similaire à celle des relations entre formations, pour pouvoir être utilisée pour positionner les sommets du graphe.

Pour avoir une cohérence entre le graphique et la carte, les coordonnées des centroïdes des polygones sont attribuées à chaque sommet du graphe, à l'aide une table autonome. Cela présente un inconvénient dans le cas où le graphe présente de nombreux sommets, certains peuvent être très proche les uns des autres ou très éloignés, donnant une apparence comprimée ou étirée au graphe. De plus, la localisation des sommets étant déterminée par le centroïde du polygone. Ceux-ci peuvent tomber hors de l'emprise du polygone ou de la zone d'échange.

Exemple simple avec la formation n° 2411162:

Graphe des formations alimentant la formation 2411162



Figure 24

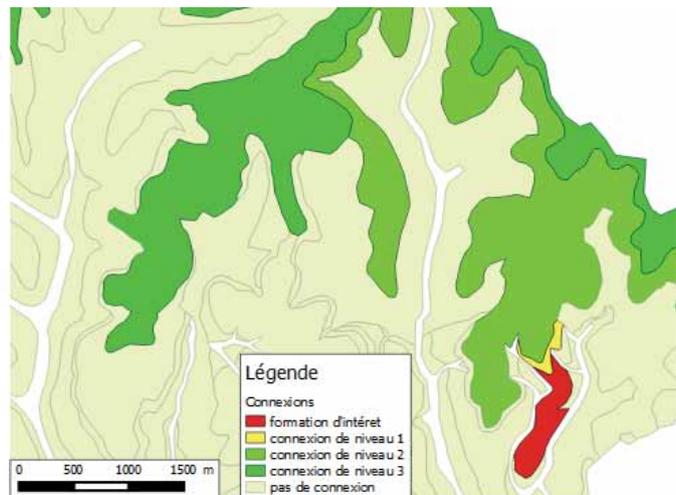


Figure 25: Carte des formations alimentant 2411162

Graphe des formations alimentées par la formation 2411162



Figure 26

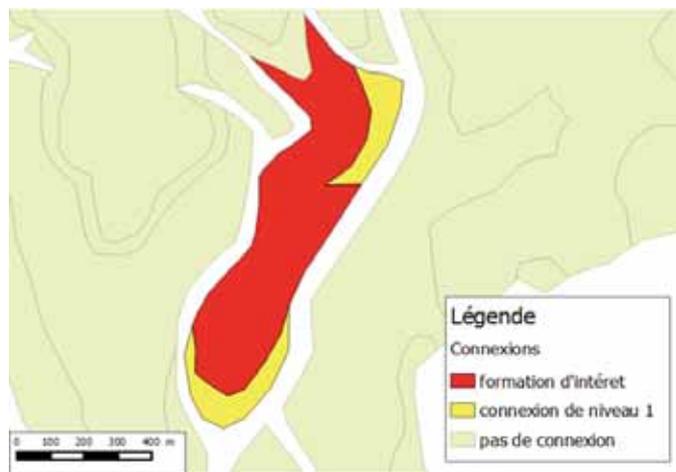


Figure 27: Carte de formations alimentées par 2411162

II.4.4. Limite de la représentation en graphe :

R fonctionne avec des *packages* (bibliothèques) qui nous donne accès à des fonctions que nous utilisons pour tracer le graphe. Celui que nous utilisons ne possède hélas pas de fonctions de placement des étiquettes permettant d'éviter de couper les arêtes. Si la formation possède beaucoup de relations, le graphe peut rapidement devenir illisible. Or les relations de voisinage sont souvent très nombreuses du fait de l'étendue de certaines formations. Avec notre modèle, il suffit qu'une seule grande couche géologique fasse partie du chemin vers notre sommet d'intérêt pour avoir l'ensemble de ses connexions, en amont ou en aval, incluses dans le graphe.

Ce modèle est pertinent mais ne s'appuie que sur les connexions entre polygones. Or celles-ci ne permettent pas de traduire la réalité du transport des silex sur le terrain : certaines zones sont plus propices au transport des silex que d'autres, du fait de leurs topographies. Nous avons besoin de le préciser pour tenir compte des surfaces d'approvisionnement au sein même des formations.

III. Quantification des apports en silex

Dans la partie précédente nous avons vu comment obtenir les formations alimentant ou alimentés par une formation d'intérêt. Le modèle était linéaire: les relations entre les formations étaient représentées par des flèches dans le graphe. Nous allons maintenant nous intéresser à la quantification de cet apport. On passe des lignes de connexion à des échanges entre différentes aires d'approvisionnement en matière première.

Notre objectif est de calculer, pour un endroit donné (un point géographique) quels sont les types de silex que l'on peut trouver et en quelles proportions. La prise en compte des formations géologiques uniquement n'est plus suffisante, car seule une partie de la surface de la formation peut alimenter notre point d'intérêt. C'est pourquoi nous devons changer d'échelle en poursuivant notre étude au sein même des formations.

Nous avons développé deux approches différentes pour y arriver, l'une basée sur l'utilisation des lignes de plus grande pente et la seconde sur le tracé de bassin d'approvisionnement.

III.1. Méthodologies mises en place

Il est utile de rappeler ici que nos analyses utilisent des algorithmes d'hydrographie, conçus donc pour modéliser des déplacements de l'eau. Nous prenons comme hypothèse que le déplacement des nodules de silex par gravité a le même comportement que l'eau.

La première piste explorée consiste à utiliser la ligne de plus grande pente depuis le point d'intérêt pour remonter la pente du bassin versant. Ce processus se décompose selon les étapes suivantes :

1. L'application de la fonction $f(h) = 1/h$, avec h l'altitude des points, au MNT avec la calculatrice raster de Qgis. Cela « renverse » le MNT : les sommets de crêtes deviennent des thalwegs et inversement.
2. Le dessin de la ligne de plus grande pente, avec l'outil GRASS *r.drain*. En principe, cet outil permet, à partir d'un point donné, de simuler l'écoulement d'une goutte d'eau sur notre modèle de terrain et de tracer sa trajectoire. En utilisant un MNT « renversé », la ligne dessinée va nous indiquer pour un point d'où viennent les apports en silex.
3. La découpe de la ligne en tronçons selon les limites des formations traversées. L'utilisation de l'outil de géotraitement *Intersection* et de la couche des formations est idéale car il permet d'assigner les attributs des couches géologiques aux lignes découpées.
4. Le calcul de la distance horizontale, de la pente moyenne et de la longueur moyenne de chaque tronçon. Ces valeurs serviront aux archéologues pour évaluer les proportions de silex présentes au point d'intérêt.

Cette méthode a pour principal inconvénient qu'elle ne prend pas en compte une surface mais une longueur d'approvisionnement. Ainsi, des apports suivant des pentes plus faibles ne sont pas pris en compte dans ce modèle.

De plus, avec l'inversion du MNT, les lignes de crêtes sont considérées comme des lignes de thalweg et donc la ligne de plus grande pente se poursuit en les empruntant (ce qui n'a pas de sens physique). Il faut supprimer ces portions de la ligne. Pour cela, nous pouvons utiliser l'outil *r.watershed* et obtenir les contours des petits bassins versants, qui sont les lignes de crêtes. Le

problème est que cette méthode ne permet pas d'être sûr d'avoir toutes les lignes de crêtes voulues et qu'elle se découpe en dents de scie.

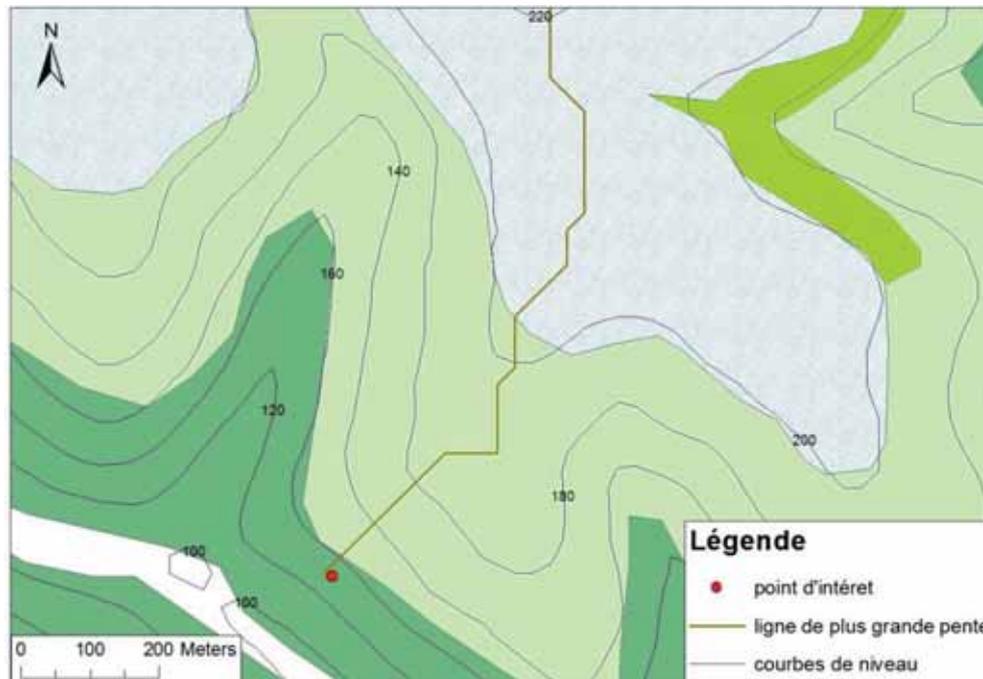


Figure 28: Tracé de la ligne de plus grande pente

La seconde piste repose sur le tracé d'une aire d'approvisionnement à l'aide des outils de détermination des bassins versant de GRASS.

1. Nous utilisons l'algorithme de création des bassins versant *r.water.outlet* en s'attardant sur la signification de celui-ci. Il utilise le raster de drainage qui indique la « direction » de chaque pixel. En multipliant la valeur du pixel par 45, cela donne la direction, en degrés en partant de l'Est, vers où une goutte d'eau s'écoulerait. Les valeurs négatives traduisent la présence de cuvettes, qui ont été éliminées précédemment (cf II.3.1. Traitement du *MNT*). L'algorithme *r.water.outlet* crée véritablement une région au-dessus du point en suivant la pente. Cela correspond parfaitement à la définition de l'aire d'approvisionnement en silex du point : la surface d'où ont pu venir les silex présents au point d'intérêt.
2. Nous vectorisons cette surface (outil *r.to.vec.area*) et nous la découpons et lui affectons les attributs de la formation (par l'outil intersection de QGis). Ainsi nous avons les surfaces d'approvisionnement du point par formations.
3. Nous calculons les aires des surfaces par la calculatrice de champs et sa pente moyenne par l'outil GRASS, *r.rast.stat*, qui calcule les statistiques univariées (moyennes, médianes, écarts-types, etc.) depuis un raster en se basant sur des objets vectoriels. Nous ne choisissons de ne garder que la moyenne et l'écart-type. Pour cela, nous nous appuyons sur la carte des pentes du bassin du Manaurie avec l'outil GRASS *r.slope*. Les informations intéressantes se trouvent dans la table attributaire de la couche des aires d'approvisionnement par formation.

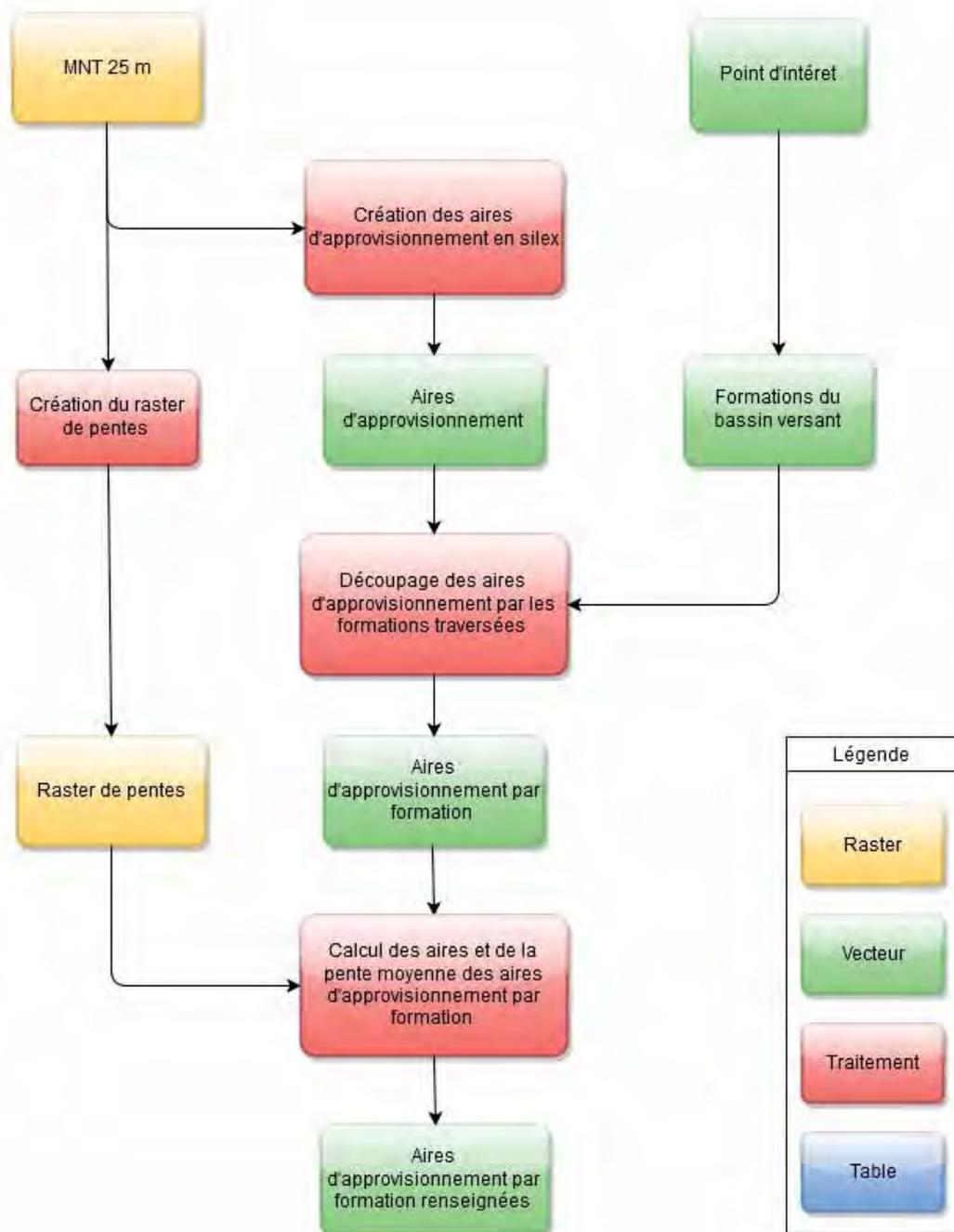


Figure 29: Processus de calcul de la surface d'approvisionnement en silex d'un point

Nous avons rencontré une difficulté dans le cas où la forme du bassin était allongée et de la largeur d'un pixel. Cela arrive lorsque l'on place notre point d'intérêt dans une zone de faible accumulation. La surface calculée est alors très petite et sa forme est celle d'une chaînette. Il faut alors fusionner (outil QGis : Vecteur/Outil de géométrie/Regrouper, option tout regrouper) les surfaces qui forment les maillons de cette chaînette pour obtenir un unique polygone. Toutefois, ce type de surface d'approvisionnement possède un faible intérêt car, son aire étant très faible, peu de silex sont susceptibles d'avoir été déplacés jusqu'à ce point. Il est préférable de positionner notre point d'intérêt sur le pixel le plus proche ayant une valeur plus haute dans le raster d'accumulation.



Figure 30: Aire d'approvisionnement en chaînette

Ce modèle met à disposition des paramètres pour juger d'où viennent les silex et dans quelles proportions. Il est évident qu'une grande aire d'approvisionnement avec une forte pente d'une formation A va plus alimenter notre point d'intérêt qu'une petite aire dotée d'une faible pente d'une formation B.

III.2. Perspectives d'évolution

III.2.1. Utilisation de le RGE Alti® pour notre étude :

Le RGE Alti® couvre une faible partie de notre zone d'étude, nous ne l'avons donc pas utilisé dans nos analyses précédentes. Cependant sa résolution est bien meilleure que celle de la BD Alti 25m et il a vocation à être étendu à tout le territoire national. Il est donc intéressant de voir en quoi cette donnée peut améliorer les résultats de notre travail.

Les données nous ayant été livrées en dalles, nous construisons un raster virtuel pour les traiter comme un unique MNT. Ce procédé est préférable à la fusion de raster, qui peut se faire par l'outil QGis Raster/Divers/Fusionner. En effet, celle-ci se fait assez mal, le raster obtenu étant de très grande taille et, dans notre cas, l'algorithme de fusion n'arrive pas à générer de sortie correcte (raster uniforme avec des valeurs NAN). Le filtrage des cuvettes complète la préparation des données raster (cf. Préparation des données de la BD Alti 25m).

Ce MNT est suffisamment précis pour que l'on distingue les pixels situés sur les routes. Pour notre outil de tracé des bassins versants, elles modifient la direction des écoulements dans la direction de la route et non celle de la pente du versant. Cela est dû à la brutale variation de pente entre le terrain naturel et la route. On aura alors une estimation du parcours du silex qui sera coupé au niveau de la route. Il faut corriger l'altitude de ces pixels en se basant sur une représentation vecteur de la voie.

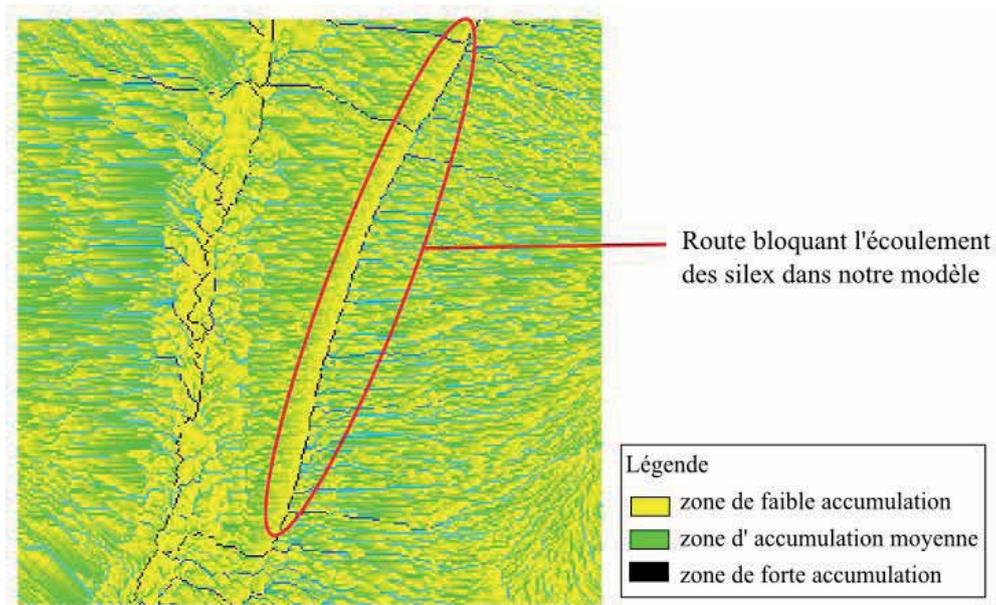


Figure 31: Extrait du raster d'accumulation créé à partir de la RGE Alti®

III.2.2. Limite du modèle quantitatif : traitement de la topographie actuelle :

L'ordre des strates géologiques n'a pas été substantiellement altéré depuis la période où l'homme préhistorique a vécu (d'il y a quelques dizaines de milliers d'années à quelques milliers d'année). L'étude qualitative est donc valable pour étudier les mouvements des silex tels qu'ils ont eu lieu au moment où les hommes préhistoriques les ont prélevés.

Cependant, la topographie, elle, a changée. Les chemins que nous traçons sont valables pour notre époque mais ont certainement changé depuis le Néolithique. C'est pourquoi notre modèle est bien théorique : il ne repose pas sur la paléotopographie. Il doit donc être confirmé sur le terrain par une prospection complète des gîtes secondaires du bassin versant d'étude. Cela demande un temps et des moyens humains et techniques ainsi que des compétences qui n'étaient pas disponibles pendant la durée du projet. Si au contraire le modèle est infirmé par la prospection, cela ne signifie pas forcément que le modèle est à remettre en cause mais pourra montrer un bouleversement récent du paysage.

III.2.3. Perspectives d'amélioration de la méthode de quantification :

Automatisation : Une contrainte forte qui nous est assignée par l'algorithme *r.water.outlet*: nous devons renseigner les coordonnées de l'exutoire manuellement lors de son utilisation. Dans un développement futur, il est envisageable d'automatiser cette étape à l'aide d'un script Python qui, à partir d'une couche de points, va extraire l'ensemble des bassins versants dans des fichiers raster séparés. Ensuite, il serait possible d'automatiser tout le traitement.

Symbologie : Nos résultats ne sont pas associés au point d'intérêt. Il serait intéressant de lui associer le contenu de la table attributaire des aires d'approvisionnement par formation. Une symbologie tenant compte des paramètres pourrait être appliquée par la suite au point. Par exemple une représentation en diagramme circulaire indiquant les pourcentages des aires d'alimentation par formation dans l'approvisionnement total.

Paramètre de la quantification : Notre étude ne se base que sur la pente moyenne et l'aire de la zone d'approvisionnement. Ce sont les seuls paramètres topographiques auxquels nous avons accès. Ceux-ci sont amenés à être enrichis par d'autres associés à chaque formations et concernant le silex :

- La résistance à l'érosion de l'encaissant
- L'abondance du silex dans la formation divisée en trois catégories : rare lorsqu'il représente moins de 10 % des roches disponibles, fréquent entre 10 et 50 % et abondant au-delà
- La dimension du silex : centimétrique, décimétrique, métrique
- La forme du silex : rognon régulier, rognon irrégulier, nodule (rognon plat), paquette (banc d'épaisseur centimétrique), banc (décimétrique), dalle (banc d'épaisseur métrique), bloc roulé, galet, gélifract

Ces facteurs seront à déterminer pour chaque formation par un géologue ayant une connaissance précise du terrain d'étude.

III.2.4. Perspective d'utilisation : établissement d'une carte des zones riches en silex :

Ce travail nous a permis de voir l'importance du raster d'accumulation pour notre étude. En effet, la valeur de chaque pixel correspond au flux de surface ayant pu le traverser. Or nous raisonnons de cette manière pour le déplacement des silex donc les zones de fortes valeurs sont potentiellement les zones les plus riches en silex. Il faut toutefois éliminer les cours d'eau de ces zones d'intérêt puisque l'on ne cherchera pas nos gîtes secondaires là.

Cette carte pourrait servir aux pétrologues pour identifier des zones de prospection possibles.

Pour cela, il faudrait :

- importer depuis la BD Carthage® le réseau hydrographique, que l'on rasterise.
- affecter à l'aide de la calculatrice raster une haute valeur au pixel du réseau ou 0 aux autres
- soustraire les valeurs des pixels du raster du réseau à celle du raster d'accumulation.

III.2.5. Conclusion :

La quantification des apports en un point permet d'appréhender finement (à l'intérieur des formations géologiques) la provenance des silex et leurs proportions en se basant sur des paramètres topographiques. D'autres facteurs peuvent jouer comme la végétation qui empêche l'érosion des sols ou la présence d'escarpements rocheux, qui libèrent plus facilement les rognons de silex. De plus, nous nous basons sur la topographie actuelle, qui est susceptible d'avoir changé depuis l'époque préhistorique. C'est pourquoi les résultats fournis par cet outil restent théoriques. Pour juger de leur fiabilité, des prospections sont à engager sur le bassin versant. Nous en avons effectué une avec A.Morala afin de déterminer les emplacements des gîtes accessibles. Cependant elle n'a pas été suffisante pour prélever un nombre significatif d'échantillons et les étudier. Il faut du personnel qualifié et un temps conséquent pour mener à bien de telles prospections.

Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire est de proposer plusieurs méthodes, à des échelles différentes, pour décrire la diffusion des nodules de silex à la surface des formations géologiques, par gravité le long des pentes d'un bassin versant.

Dans une première partie, un travail de numérisation en couche vecteur et de géoréférencement des formations géologiques contenant des silex sur le département de la Dordogne a été réalisé. Cette cartographie est le support de nos analyses et référence un total 2 429 polygones, couvrant une superficie de 3 160 km².

Dans un second temps, un modèle de diffusion qualitatif est élaboré à l'échelle d'un petit bassin versant. Il permet de visualiser les déplacements des silex entre les couches géologiques, sous la forme de tableaux. Un outil a été développé pour extraire de ceux-ci des graphes permettant une meilleure représentation de ces itinéraires et une simplicité de lecture.

Enfin, une proposition de modèle quantitatif visant à connaître les aires d'approvisionnement au sein même des formations est conçue. Cette méthode est théoriquement la plus précise et celle qui apporte le plus d'informations, mais elle s'appuie sur la topographie actuelle qui peut avoir évolué depuis l'époque préhistorique. Pour valider totalement ces résultats, les pétroarchéologues devront procéder à de larges prospections sur le terrain d'étude.

La couche SIG des formations à silex a vocation à être diffusée. Une fois complétée à l'échelle nationale, elle sera probablement intégrée à la base de données de l'Atlas des Patrimoines. Les méthodes et l'outil de construction de graphes créés pourront, eux, être automatisés, pour ensuite être utilisés par les archéologues, à travers un outil en ligne ou un outil Qgis sur tablette.

Ce travail fut l'occasion de découvrir le monde de l'archéologie, de se familiariser avec certains outils de développement et de découvrir la satisfaction que la mise en place d'une méthode et d'outils associés peut procurer, ainsi que le travail de recherche en général. Ce projet est prometteur pour la recherche des mobilités des groupes préhistoriques et permettra, je l'espère, de contribuer à des découvertes intéressantes.

Bibliographie

Fernandes Paul - *Itinéraires et transformations du silex : une pétrologie refondée, application au Paléolithique moyen*, Thèse en Préhistoire, Bordeaux I, 623 p

Dalphinnet Denis - *Pour une représentation dynamique des formations à silex*, Mémoire de travail de fin d'étude, Le Mans, 2014

André Leroi-Gourhan - *Dictionnaire de la Préhistoire*, 2005, Presse Universitaire de France, 1277 pages

Fernandes et al. - *Une carte et une base de données pour les formations à silex du Sud de la France : un outil pour la pétroarchéologie* », *Paléo*, n°24, p 219 à 228

Requêtes récursives avec les CTE In : Frédéric Brouard

Disponible sur <<http://www.sqlpro.developpez.com/cours/sqlserver/cte-recursive/>>
(Consulté le 20/08/2015)

Cyril Bernard, Utilisation des outils de traitements R dans QGIS 2.x, Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive, novembre 2014

Disponible sur <<http://www.cefe.cnrs.fr/images/Plateformes/SIE/>> (Consulté le 20/08/2015)

Direction générale de la prévention des risques - Analyse de bassins avec GRASS-GQIS

Disponible sur < <http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/>> (Consulté le 20/08/2015)

GRASS Development Team - GRASS GIS 6.4.6svn Reference Manual 2003-2015

Disponible sur < <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/>>

Quantum GIS Development Team (2015) - Manuel d'utilisation de QGIS¶2.8

Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

Disponible sur <http://docs.qgis.org/2.8/fr/docs/user_manual/> (Consulté le 20/08/2015)

R Development Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing.

R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <<http://www.R-project.org/>>

Carter T. Butts, David Hunter, Mark Handcock, Skye Bender-deMoll, Jeffrey Horner – *Package "network"*, 2015, 71 p, URL: <<http://statnet.org/>>

Table des figures

Figure 1: Carte de la zone d'étude.....	9
Figure 2: Carte des formations à silex de P.Tallet.....	11
Figure 3: Extrait de la carte géologique image au 1/50 000 ^{eme}	12
Figure 4: Extrait de la table des équivalences de J.P.Platel.....	13
Figure 5: Limite entre la carte géologique au 1/50 000 de Thénon (en haut)	13
Figure 6: Comparaison entre la carte vecteur (en rouge) et la carte image	14
Figure 7: Exemple d'une ligne de contenu de la table attributaire de la table des formations	15
Figure 8: Extrait de la table en sortie de la requête d'intersection	17
Figure 9: Extrait de la table en sortie de la requête de concaténation	17
Figure 10: Extrait de la table en sortie de la requête de numérotation	18
Figure 11: Schéma d'une vue en coupe d'un demi-bassin versant montrant le déplacement des silex	19
Figure 12: Graphique des relations entre gîtes	20
Figure 13: Carte des couches géologiques à silex du bassin du Manaurie	20
Figure 14: Image du SHELL et d'une fenêtre de paramétrage.....	21
Figure 15: Diagramme de la méthode qualitative	23
Figure 16: Raster d'accumulation du bassin versant du Manaurie.....	25
Figure 17: MNT et emprise du bassin versant.....	25
Figure 18: Exemple de frontières et de contours entre trois formations.....	26
Figure 19: Extrait de la table des limites entre polygones.....	27
Figure 20: Extrait de la table des relations ascendantes	28
Figure 21: Extrait de la table des relations descendantes	29
Figure 22: Exemple de graphe orienté.....	29
Figure 23: Emplacement des scripts dans la boîte à traitement QGIS	29
Figure 24	31
Figure 25: Carte des formations alimentant 2411162	31
Figure 26	31
Figure 27: Carte de formations alimentées par 2411162.....	31
Figure 28: Tracé de la ligne de plus grande pente.....	33
Figure 29: Processus de calcul de la surface d'approvisionnement en silex d'un point.....	34
Figure 30: Aire d'approvisionnement en chaînette	35
Figure 31: Extrait du raster d'accumulation créé à partir de la RGE Alti®	36

Table des annexes

Annexe 1 : Carte des formations à silex de Dordogne - zone Nord

Annexe 2 : Carte des formations à silex de Dordogne - zone Sud

Annexe 3 : Légende

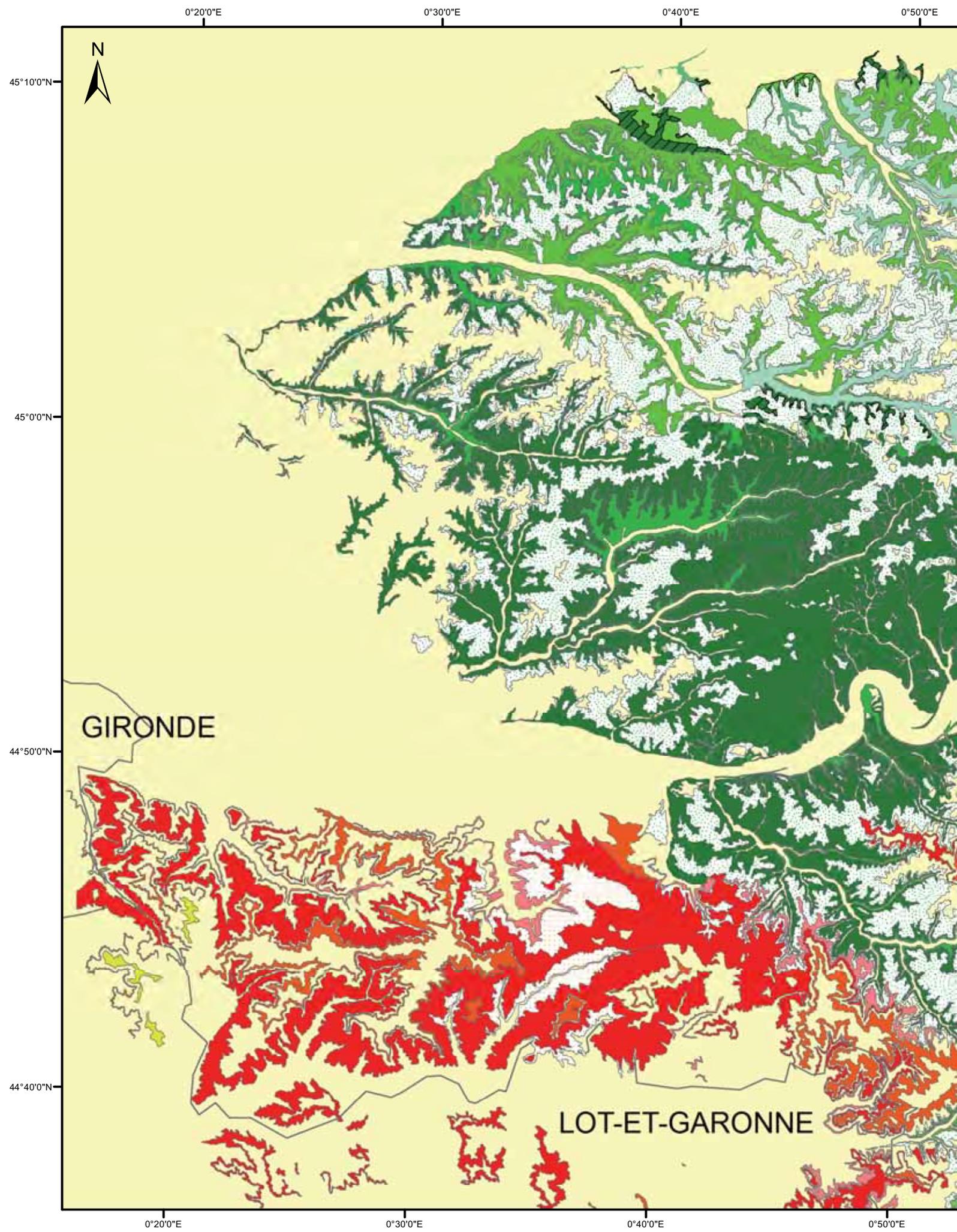
Annexe 4 : Requêtes SQL pour l'automatisation du remplissage de la table attributaire de la couche des formations à silex

Annexe 5 : Requêtes SQL de création des tableaux de connexions entre les formations

Annexe 6 : Résumé

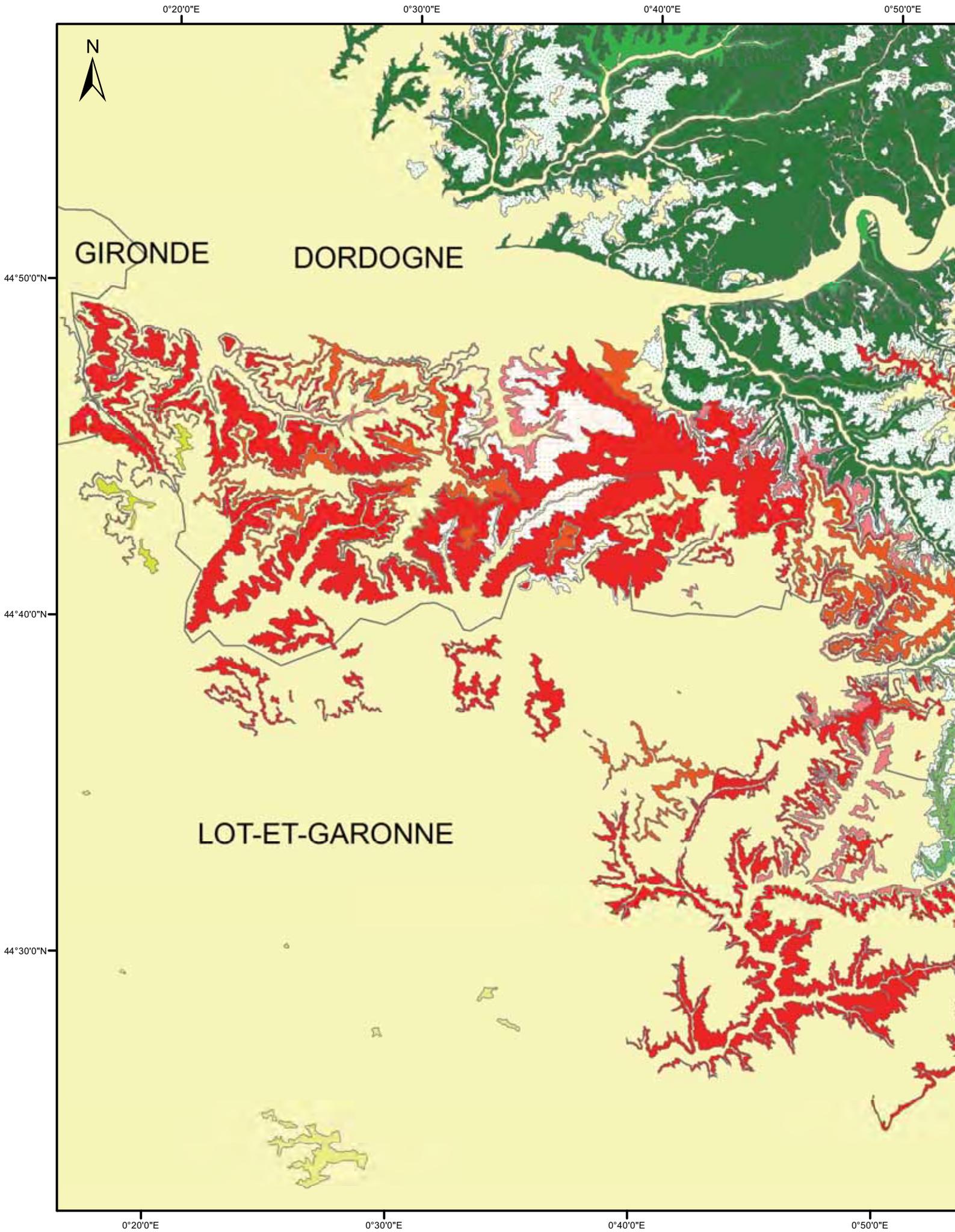
Annexe 7 : Poster

Carte des formations à silex du



Système de Coordonnées: RGF93/Lambert 93

Carte des formations à silex du



Système de Coordonnées: RGF93/Lambert 93

Annexe 3

Légende des cartes des formations à silex

Légende

	Miocène		Crétacé supérieur Cénomanién
	Miocène		Crétacé supérieur Santonien supérieur
	Oligocène Formation de St Denis		Crétacé supérieur Santonien moyen à Campanien supérieur.
	Oligocène Chattien		Crétacé supérieur Santonien moyen à supérieur
	Oligocène Rupélien		Crétacé supérieur Santonien inférieur
	Eocène supérieur Priabonien supérieur		Crétacé supérieur Santonien
	Eocène supérieur Priabonien moyen		Crétacé supérieur Cénomanién et Turonien inférieur-moyen
	Altérites crétacées		Crétacé supérieur Turonien moyen à supérieur
	Crétacé supérieur Campanien 4-5		Crétacé supérieur Turonien inférieur et moyen
	Crétacé supérieur Campanien 3		Crétacé supérieur Turonien supérieur à Coniacien inférieur.
	Crétacé supérieur Campanien 1-2		Crétacé supérieur Turonien supérieur
	Crétacé supérieur Campanien		Crétacé supérieur Turonien moyen
	Crétacé supérieur Coniacien et Santonien inférieur		Crétacé supérieur Turonien inférieur
	Crétacé supérieur Coniacien moyen à supérieur		Altérites jurassiques
	Crétacé supérieur Coniacien inférieur		Jurassique supérieur Portlandien inférieur
	Crétacé supérieur Coniacien		

Annexe 4

Requêtes SQL pour l'automatisation du renseignement de la table attributaire de la couche des formations à silex

Renseignement des attributs de localisation

```
DROP TABLE IF EXISTS jointure_poly_com CASCADE;
CREATE TABLE jointure_poly_com AS
SELECT f.*, c.nom_comm
FROM communes AS c, formations AS f
WHERE ST_INTERSECTS(f.geom,c.geom)
ORDER BY gid;
```

Concaténation des nom de communes dans un unique champ

```
DROP TABLE IF EXISTS concat_poly CASCADE;
CREATE TABLE concat_poly AS
SELECT gid, acronyme, string_agg(nom_comm, ', ') AS nom_comm
FROM jointure_poly_com
GROUP BY gid
ORDER BY gid;
```

Méthode de numérisation des formations

```
DROP TABLE IF EXISTS identifiant_unique_poly CASCADE;
CREATE TABLE identifiant_unique_poly AS
SELECT f.gid, f.acronyme, f.idf,ROW_NUMBER()OVER(PARTITION BY idf_3 ORDER BY gid)
FROM formations AS f
```

Annexe 5

Requêtes SQL de création des tableaux de connexion entre les formations

En partant de la couche .shp des frontières entre polygones (nommée ici « ligne_brisée»)

```
DROP TABLE IF EXISTS lignes_uniques_R CASCADE;
CREATE TABLE lignes_uniques_R AS
SELECT 11.IDF AS IDF1, 12.IDF AS IDF2, ST_LENGTH(11.geom) AS LONGUEUR, 11.Geom
AS geom
FROM lignes_brisees AS 11, lignes_brisees AS 12
WHERE ST_WITHIN(11.geom, 12.geom) IS TRUE
AND 11.IDF != 12.IDF
ORDER BY longueur;
```

```
ALTER TABLE lignes_uniques_R
ADD COLUMN gid SERIAL;
```

-- utilisation du modulo pour éliminer les lignes avec chiffre pair pour éliminer une ligne sur deux

```
DROP TABLE IF EXISTS lignes_uniques2_R CASCADE;
CREATE TABLE lignes_uniques2_R AS
SELECT *
FROM lignes_uniques
WHERE gid%2 = 0;
```

--import de lignes_non_frontière

--changement de la place des colonnes pour correspondre à l'organisation de la table

lignes_uniques

```
ALTER TABLE lignes_non_frontiere
```

```
DROP COLUMN gid,
```

```
ADD COLUMN gid SERIAL;
```

--fusion des tables lignes_uniques2_R et lignes_non_frontière

```
DROP TABLE IF EXISTS limites_polygones_R CASCADE;
```

```
CREATE TABLE limites_polygones_R AS
```

```
SELECT*
```

```
FROM lignes_uniques2_R
```

```
UNION
```

```
SELECT*
```

```
FROM lignes_non_frontiere
```

```
ORDER BY idf1;
```

```
ALTER TABLE limites_polygones_R
DROP COLUMN gid,
ADD COLUMN gid SERIAL;
```

```
--Jointure avec la table contenant les altitudes moyennes de chacune des formations
DROP TABLE IF EXISTS fusion1_R CASCADE;
CREATE TABLE fusion1_R AS
SELECT t1.IDF1,t2.MEAN AS Alti1,t1.IDF2, t1.Geom, t1.LONGUEUR, t1.gid
FROM limites_polygones_R AS t1 INNER JOIN alti_moy2 AS t2
ON t1.IDF1 = t2.idf
ORDER BY gid;
```

```
DROP TABLE IF EXISTS fusion2_R CASCADE;
CREATE TABLE fusion2_R AS
SELECT t1.IDF1,t1.alti1, t2.MEAN AS alti2,t1.IDF2, t1.Geom, t1.LONGUEUR, t1.gid
FROM fusion1_R AS t1 LEFT OUTER JOIN alti_moy2 AS t2
ON t1.IDF2=t2.idf
ORDER BY gid;
```

```
--Remplacement des IDF2 et alti2 ayant une valeur NULL par la valeur 0
UPDATE fusion2_R
SET idf2=0, alti2=0
WHERE idf2 IS NULL;
```

```
--Reclassement des IDF en fonction de leurs altitudes moyennes
DROP TABLE IF EXISTS fusion3_R CASCADE;
CREATE TABLE fusion3_R AS
SELECT
CASE
    WHEN alti1 > alti2 THEN IDF1
    ELSE IDF2
END
AS IDF3,
CASE
    WHEN alti1 > alti2 THEN alti1
    ELSE alti2
END
AS alti3,
CASE
    WHEN alti1 < alti2 THEN IDF1
    ELSE IDF2
END
AS IDF4,
CASE
    WHEN alti1 < alti2 THEN alti1
```

```

ELSE alti2
END
AS alti4,Geom, CAST(longueur AS INTEGER), gid
FROM fusion2_R
ORDER BY gid;

```

```

DROP TABLE IF EXISTS liste_ formations_ ascendantes_ rapport2_ R CASCADE;
CREATE TABLE liste_ formations_ ascendantes_ rapport2_ R AS
WITH RECURSIVE rec(idf4_ fixe, idf3, idf4, level, pathstr) AS (
SELECT DISTINCT idf4 AS idf4_ fixe, idf3, idf4, 1, CAST(idf4 || ' ' || idf3 AS VARCHAR)
FROM fusion3_ R
UNION ALL
SELECT rec.idf4_ fixe, f.idf3, f.idf4, rec.level + 1, rec.pathstr || ' ' || CAST(f.idf3 AS VARCHAR)
FROM rec INNER JOIN fusion3_ R AS f ON f.idf4 = rec.idf3 )
SELECT idf4_ fixe, idf3, idf4, level, pathstr
FROM rec
ORDER BY idf4_ fixe, idf3, idf4;

```

```

DROP TABLE IF EXISTS arbre_ ascendant_ rapport2_ R CASCADE;
CREATE TABLE arbre_ ascendant_ rapport2_ R AS
SELECT DISTINCT idf4_ fixe, idf4, idf3, pathstr
FROM liste_ formations_ ascendantes_ rapport2_ R
WHERE idf4_ fixe <> 0
ORDER BY idf4_ fixe;

```

```

--Requête récursive pour obtenir l'ensemble des formations descendantes2
DROP TABLE IF EXISTS liste_ formations_ descendantes_ R CASCADE;
CREATE TABLE liste_ formations_ descendantes_ R AS
WITH RECURSIVE rec(idf3_ fixe, idf3, idf4, level, pathstr) AS (
SELECT DISTINCT idf3 AS idf3_ fixe, idf3, idf4, 1, CAST(idf3 || ' ' || idf4 AS VARCHAR)
FROM fusion3_ R
UNION ALL
SELECT rec.idf3_ fixe, f.idf3, f.idf4, rec.level + 1, rec.pathstr || ' ' || CAST(f.idf4 AS VARCHAR)
FROM rec INNER JOIN fusion3 AS f ON f.idf3 = rec.idf4 )
SELECT idf3_ fixe, idf3, idf4, level, pathstr
FROM rec
ORDER BY idf3_ fixe, idf3, idf4;

```

```

DROP TABLE IF EXISTS arbre_ descendant_ R CASCADE;
CREATE TABLE arbre_ descendant_ R AS
SELECT DISTINCT idf3_ fixe, idf3, idf4, pathstr
FROM liste_ formations_ descendantes_ R
WHERE idf4 <> 0
ORDER BY idf3_ fixe;

```

Annexe 6

Résumé

Des formations à silex à la visualisation des itinéraires : vers les cartes des gites potentiels

Introduction :

« Les roches aptes à la taille [dont les silex] constituent la majorité des objets présents dans les gisements [sites archéologiques] pendant la plus grande partie de la préhistoire. Elles ont été utilisées pour leur dureté et pour les bords acérés de leurs éclats » (André Leroi-Gourhan, 2005). Elles constituent donc une source d'informations essentielle sur le mode de vie des hommes préhistoriques. En reconstituant les aires d'approvisionnement en matières premières lithiques ayant servi à réaliser des outils, l'archéologue dispose d'indices pour appréhender **l'étendue du territoire** d'un groupe.

Au départ le silex est une boue qui s'infiltré dans les vides, les fissures ou les terriers présents dans les roches calcaires, en milieu marin ou lacustre. À l'intérieur de son encaissant, elle se solidifie en rognons ou en bancs suite à des changements chimiques, thermiques et mécaniques. Lorsque l'océan se retire, les roches disposées en strates sont creusées par le réseau hydrographique, ce qui fait apparaître des bancs de silex à l'affleurement et libèrent des nodules. Ces derniers sont alors susceptibles de subir des déplacements par gravité.

Notre travail s'appuie une perception novatrice (Fernandes, 2012) qui permet de préciser l'origine des silex. L'enjeu est de produire une méthode cartographique permettant de mieux **appréhender les itinéraires des silex** et ainsi de contribuer à la résolution d'une problématique ancienne sur **la provenance des matières premières**. Notre étude est menée en majeure partie sur le département de la Dordogne avec une étude plus particulière du bassin versant du Manaurie.

I. Mise en place d'un modèle statique

Pour analyser le déplacement des silex, il faut avant tout tout localiser ses origines possibles, c'est-à-dire cartographier l'ensemble des formations géologiques pouvant en contenir. Cette carte est appelée modèle statique car les silex décrits sont encore dans leur encaissant calcaire, et n'ont subi aucun déplacement gravitaire ou alluvial. Un travail de numérisation des formations géologiques à silex au 1/10 000^{ème} et une géolocalisation en Lambert 93 est effectué sur le logiciel QGis. Plusieurs documents servent de support à cette tâche :

- La carte des formations à silex de P.Tallet les identifie mais se trouve en format PDF et n'est pas utilisable en l'état pour notre projet.
- Les 20 cartes géologiques image au 1/50 000^{ème} du BRGM couvrant notre zone d'étude servent de fond de plan.
- La carte géologique vecteur au 1/50 000^{ème} harmonisée et la table des équivalences entre notations créée par M.Plattel servent à homogénéiser la numérisation sur l'ensemble de la Dordogne.

Les champs de la table attributaire de la couche des formations à silex sont des entrées pour les futures requêtes des archéologues. Ils se composent d'informations relatifs à la localisation de la formation (carte, commune, département sur laquelle elle se trouve) ou relatifs à la géologie de la formation encaissante (étage et série géologique). Leurs renseignements sont obtenus d'une part avec QGis pour les récurrences attributaires (ces informations sont extraites des noms des formations inscrits sur les cartes (acronymes)), et d'autre part, par des requêtes SQL à partir d'autres couches pour les informations surfaciques. En environ deux mois de numérisation, 2 429 polygones ont été digitalisés, couvrant une superficie de 3 160 km².

II. Proposition d'un modèle dynamique qualitatif

Seule une vision intégrant l'échantillon dans un itinéraire optimise l'appréciation des lieux de collecte. Il est donc utile de connaître le **domaine exploitable** : l'ensemble des endroits où le silex est encore dans son encaissant et la totalité des aires de dispersion. Cette zone diffère des gîtes réellement exploités par les hommes mais donne une aire de recherche pour les trouver.

Pour délimiter cet espace, il faut nous concentrer sur un petit nombre de formations géologiques afin d'étudier l'ensemble des relations de diffusion du silex entre elles. Nous avons choisi pour cela de centrer notre étude sur le petit bassin versant du Manaurie. On délimite son emprise à l'aide des outils du logiciel GRASS en se basant sur le MNT au pas de 25m issu de la BD_Alti. Nous prenons comme hypothèse de travail que le déplacement des nodules de silex par gravité, dans son ensemble, a le même comportement que l'eau : il s'écoule suivant la pente. Nos analyses utiliseront donc des algorithmes d'hydrographie.

Le MNT a besoin d'être corrigé des cuvettes qu'il présente car celles-ci bloquent les écoulements. Ensuite, on extrait les relations entre un polygone et chacun de ses voisins. Pour cela il faut distinguer les frontières communes entre les formations. À chacune de ces frontières, les identifiants et les altitudes des polygones adjacents sont attribués. Pour connaître pour chaque formation, l'ensemble des formations amont ayant pu lui communiquer du silex, il faut recourir à une requête SQL récursive sur la table des frontières. Elle permet de lister l'ensemble des polygones composant l'itinéraire traversé par le silex pour arriver à notre formation étudiée. Le procédé est similaire pour obtenir les formations aval.

La représentation de ces résultats se fait par un tableau et un graphe. Le tableau donne pour chaque formation celles qui l'alimentent avec leur degré de connexion. Toutefois, bien que très complets, les tableaux peuvent être difficiles à lire en raison de leur grand nombre de lignes pour un unique itinéraire. L'intérêt du graphique réside dans sa simplicité de lecture. Cependant, dans certains cas, le graphe présente de nombreux sommets, lui donnant une apparence comprimée ou étirée.

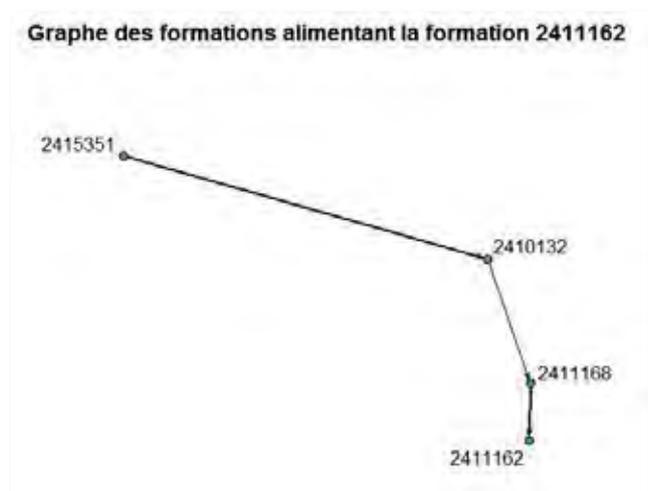


Figure 1: Exemple simple de graphe des relations entre

Les deux types de représentations sont complémentaires.

	formation_interet numeric(10,0)	formation_amont numeric(10,0)	arborescence text	niveau integer	chemin character varying
1	2411162	2411168	2411168	1	2411162 2411168
2	2411162	2410132	2410132	2	2411162 2411168 2410132
3	2411162	2415351	2415351	3	2411162 2411168 2410132 2415351

Figure 2: Exemple simple de tableau des relations entre formations

III. Quantification des apports en silex

Dans la partie précédente nous avons vu comment obtenir les formations alimentant ou alimentés par une formation d'intérêt. Les relations entre les formations étaient représentées par des flèches dans le graphe. Nous allons maintenant nous intéresser à la quantification de cet apport. On passe des lignes de connexion à des échanges entre différentes aires d'approvisionnement en matière première. Notre objectif est de calculer, pour un endroit donné (un point géographique) quels sont les types de silex que l'on peut trouver et en quelles proportions. La prise en compte des formations géologiques uniquement n'est plus suffisante, car seule une partie de la surface de la formation peut alimenter notre point d'intérêt. C'est pourquoi nous devons changer d'échelle en poursuivant notre étude au sein même des formations.

Nous avons développé deux approches différentes pour y arriver mais seule l'une d'elle a pu répondre à nos attentes. Elle repose sur le tracé d'une aire d'approvisionnement à l'aide des outils de détermination des bassins versant de GRASS. Cette surface est découpée par les formations traversées puis nous calculons les pentes moyennes et les aires de chacune de ces parties. Ces informations sont des paramètres pour juger dans quelles proportions les silex proviennent plus d'une formation A que d'une formation B, situées en amont.

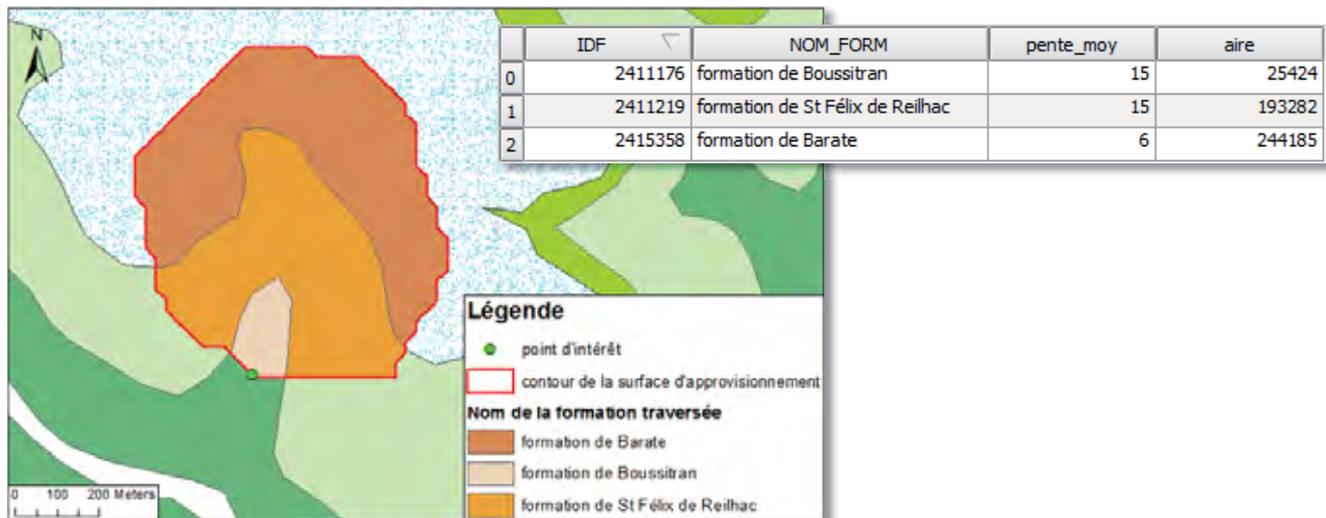


Figure 3: Surface d'approvisionnement d'un point d'intérêt et sa table attributaire

La pertinence de ce modèle repose en partie sur le choix du point d'intérêt. En effet, notre méthode est basée en grande partie sur un raster d'accumulation qui indique le nombre de pixels qui se sont accumulés à un endroit, suivant l'écoulement. Sur ce raster apparaissent des lignes d'écoulement le long des pentes. Hors des lignes d'écoulement principales, les surfaces obtenues par notre méthode sont très petites voir nulles. C'est pourquoi, il est préférable de positionner notre point d'intérêt sur un pixel ayant une valeur haute dans le raster d'accumulation.

Les surfaces que nous traçons sont tracées à partir de la topographie de notre époque. Or celle-ci a certainement changé depuis le Néolithique. Notre modèle est théorique : il ne repose pas sur la paléotopographie. Il doit donc être confirmé sur le terrain par une prospection complète des emplacements connus du bassin versant d'étude où le silex s'est déplacé.

Perspectives d'évolution :

Perspective d'amélioration de la méthode de quantification :

Automatisation : Dans un développement futur, il est envisageable d'automatiser l'ensemble de la méthode à l'aide d'un script Python. À partir d'une couche de points, il va extraire l'ensemble des bassins versants dans des fichiers raster séparés et les découper suivant les contours des formations géologiques.

Symbologie : Il serait intéressant d'associer au point d'intérêt le contenu de la table attributaire des aires d'approvisionnement par formation. Une symbologie tenant compte des paramètres pourrait être appliquée par la suite au point. Par exemple, une représentation en diagramme circulaire indiquant les pourcentages des aires d'alimentation par formation par rapport à l'approvisionnement total.

Paramètres de la quantification : Notre étude ne se base que sur la pente moyenne et l'aire de la zone d'approvisionnement car ce sont les seuls paramètres topographiques auxquels nous avons accès. Ils sont amenés à être enrichis par des informations concernant le silex contenu dans les formations traversées (abondance, taille, forme).

Utilisation de la RGE Alti® pour notre étude :

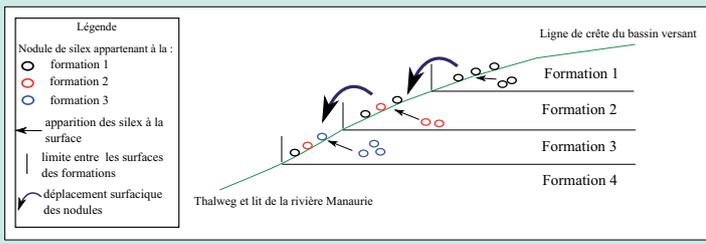
Elle couvre une faible partie de notre zone d'étude, nous ne l'avons donc pas utilisé dans nos analyses précédentes. Cependant sa résolution est bien meilleure que celle de la BD Alti 25m et a vocation à être étendue à tout le territoire national. Pour le moment, son utilisation n'améliore pas nos résultats. Au contraire, ce MNT est suffisamment précis pour que l'on distingue les pixels situés sur les routes. Ceux-ci modifient, pour notre outil, la direction des écoulements vers celle de la route et non vers celle de la pente du versant. Il faudrait donc corriger l'altitude de ces pixels en lissant le MNT à ces endroits.

Perspective d'utilisation dans l'établissement d'une carte des zones riches en silex (gîtes potentiels) : Ce travail nous a permis de voir l'importance du raster d'accumulation pour notre étude. En effet, la valeur de chaque pixel correspond au flux de surface ayant pu le traverser. Or nous raisonnons de cette manière pour le déplacement des silex. Les zones de fortes valeurs sont potentiellement les zones les plus riches en silex. Il faut toutefois éliminer les cours d'eau de ces zones d'intérêt.

Des formations à silex à la visualisation des itinéraires: vers la carte des gîtes potentiels

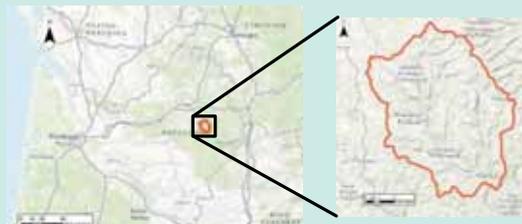
Contexte géologique de l'étude

Au départ le silex est une boue qui s'infiltre dans les fissures ou les terriers présents dans les roches calcaires en milieu marin ou lacustre. A l'intérieur de son encaissant, elle se solidifie en rognons ou en bancs suite à des changements chimiques, thermiques et mécaniques. Lorsque l'océan se retire, les roches disposées en strates sont creusées par le réseau hydrographique, ce qui fait apparaître des bancs de silex à l'affleurement et libère des nodules. Ces derniers sont alors susceptibles de subir des déplacements par gravité.



Objectifs:

L'enjeu est de produire une méthode cartographique permettant de mieux **appréhender les itinéraires des silex** et de contribuer à la résolution d'une problématique archéologique ancienne sur la provenance des matières premières utilisées pour les outils des hommes préhistoriques. Notre étude est menée dans un premier temps sur le département de la Dordogne puis plus précisément sur le bassin versant du Manaure.



Mise en place d'un modèle statique:

Il s'agit de numériser l'ensemble des formations géologiques pouvant contenir des silex à partir des cartes géologiques à 1/50 000 du BRGM avec le logiciel QGis.

Au total, ce sont 2 429 polygones qui ont été saisis couvrant une superficie de 3 160 km².



Proposition d'un modèle théorique qualitatif

Il vise à connaître, pour chaque polygone:

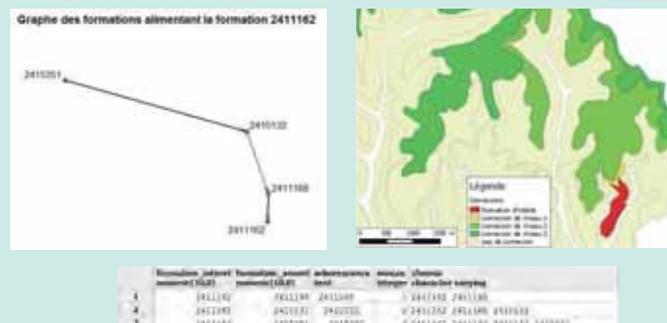
- l'ensemble des formations susceptibles de l'alimenter en silex
- l'ensemble des formations qu'il est susceptible d'alimenter en silex

Méthode :

- Extraction des frontières entre formations géologiques
- Affectation des altitudes moyennes de chaque polygone
- Requête SQL récursive

La représentation de ces résultats se fait à la fois par une table PostGis et un graphe, tracé par un *plug-in* développé avec le logiciel R.

Exemple simple :



Proposition d'un modèle théorique quantitatif

Objectif: déterminer en un point géographique donné les types de silex que l'on peut trouver et en quelles proportions, en s'appuyant sur un MNT issu de la BD Alti 25m

Méthode:

- Extraction des surfaces d'approvisionnement
- Découpe par les contours des formations
- Calcul des pentes moyennes et de l'aire pour chaque polygone



Conclusion

La couche des formations à silex numérisées a vocation à alimenter une base nationale en cours d'élaboration. Nos méthodes de visualisation de la diffusion des silex sont applicables en l'état mais gagneraient à être automatisées et affinées. L'utilisation de la RGE Alti en tant que modèle numérique de terrain et le renseignement des caractéristiques des silex (dimensions, formes, abondances) sont des pistes d'amélioration.

Résumé :

En archéologie, la localisation des matières premières, tel que le silex, utilisé par les hommes préhistoriques pour leurs outils, renseigne sur les territoires occupés par ces populations. Les roches, détachées de leur encaissant calcaire d'origine, se déplacent par gravité suivant les pentes. Nous proposons de développer de nouvelles méthodes cartographiques permettant de connaître au mieux les aires de diffusion de ces nodules et de les appliquer dans le bassin versant du Manaurie, en Dordogne. Une méthode permettant de reconstituer l'itinéraire du silex entre les surfaces des formations géologiques a pu être mise en œuvre à l'aide d'une carte des gîtes primaires du département et d'un MNT. Une représentation sous la forme de tableaux et de graphes est proposée, offrant une lecture rapide et efficace des déplacements des blocs de roches. Une seconde méthode, à l'échelle de la formation géologique elle-même, est créée pour identifier les surfaces d'approvisionnement d'un endroit géographique donné (point d'intérêt) avec plus de précision.

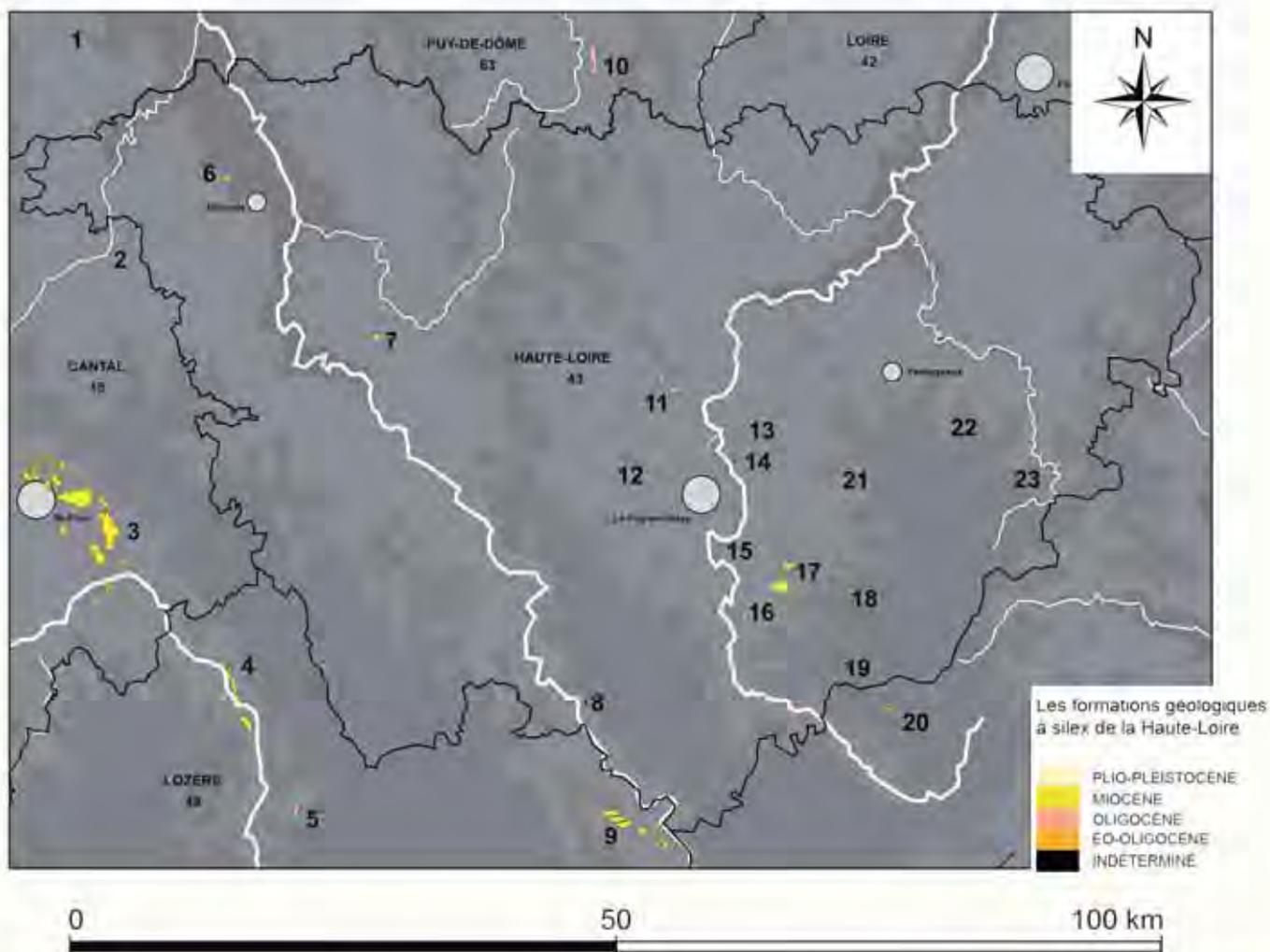
Mots clés : archéologie préventive, silex, outil cartographique, Dordogne, diffusion

Abstract :

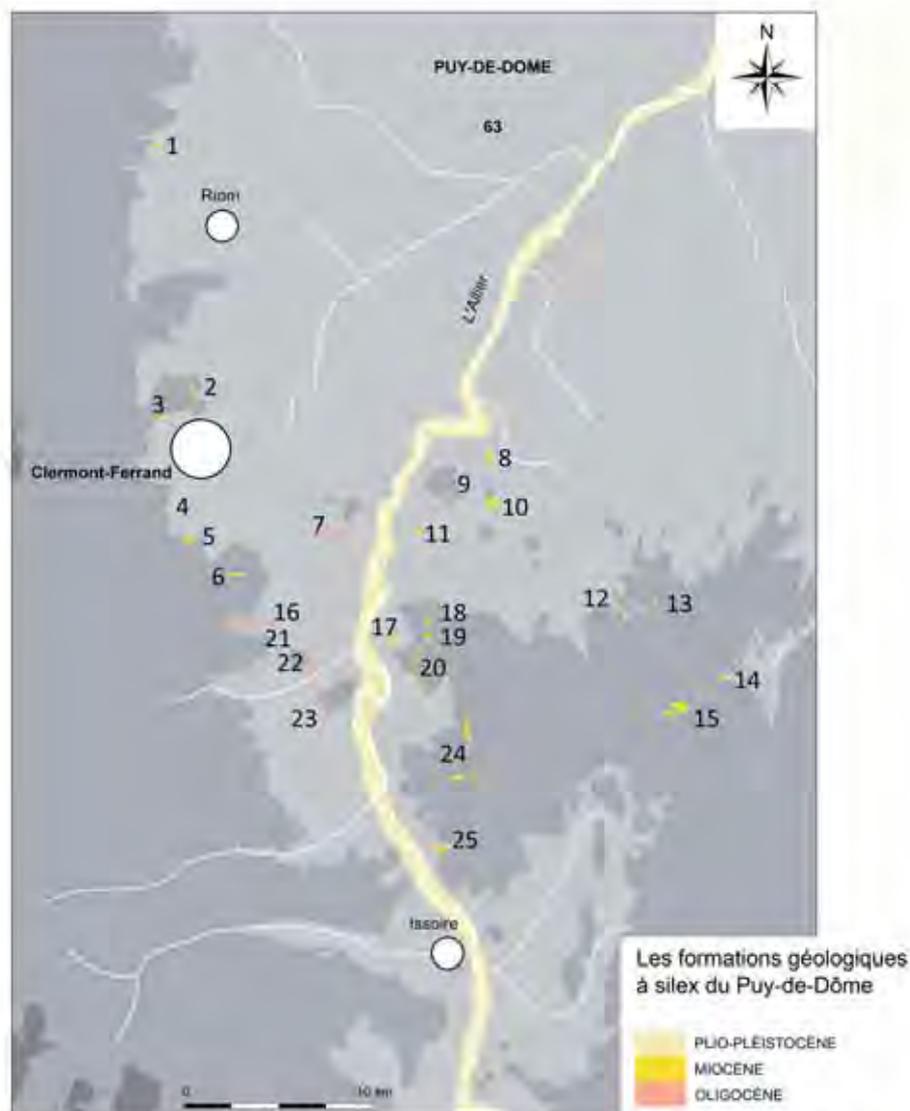
In archeology, the localization of the raw material as the flint used by the prehistoric men for their tools, inform about the territory occupied by those populations. The stones, out of their original country rock, move by gravity on the field slope. This study aims to develop new cartographic methods that lead to a better understanding of the diffusion area of the stone. It is conducted in the Manaurie watershed, in Dordogne (France).

From a map of primary sites and a DEM, we managed to develop a method that enables us to retrace the route of the flint between the geological formations. We suggest a representation by charts and graphs that offer a quick and efficient vision of the flint movements. For a targeted point inside the geological formation, a second method is built to identify accurately the surface where stone could come from.

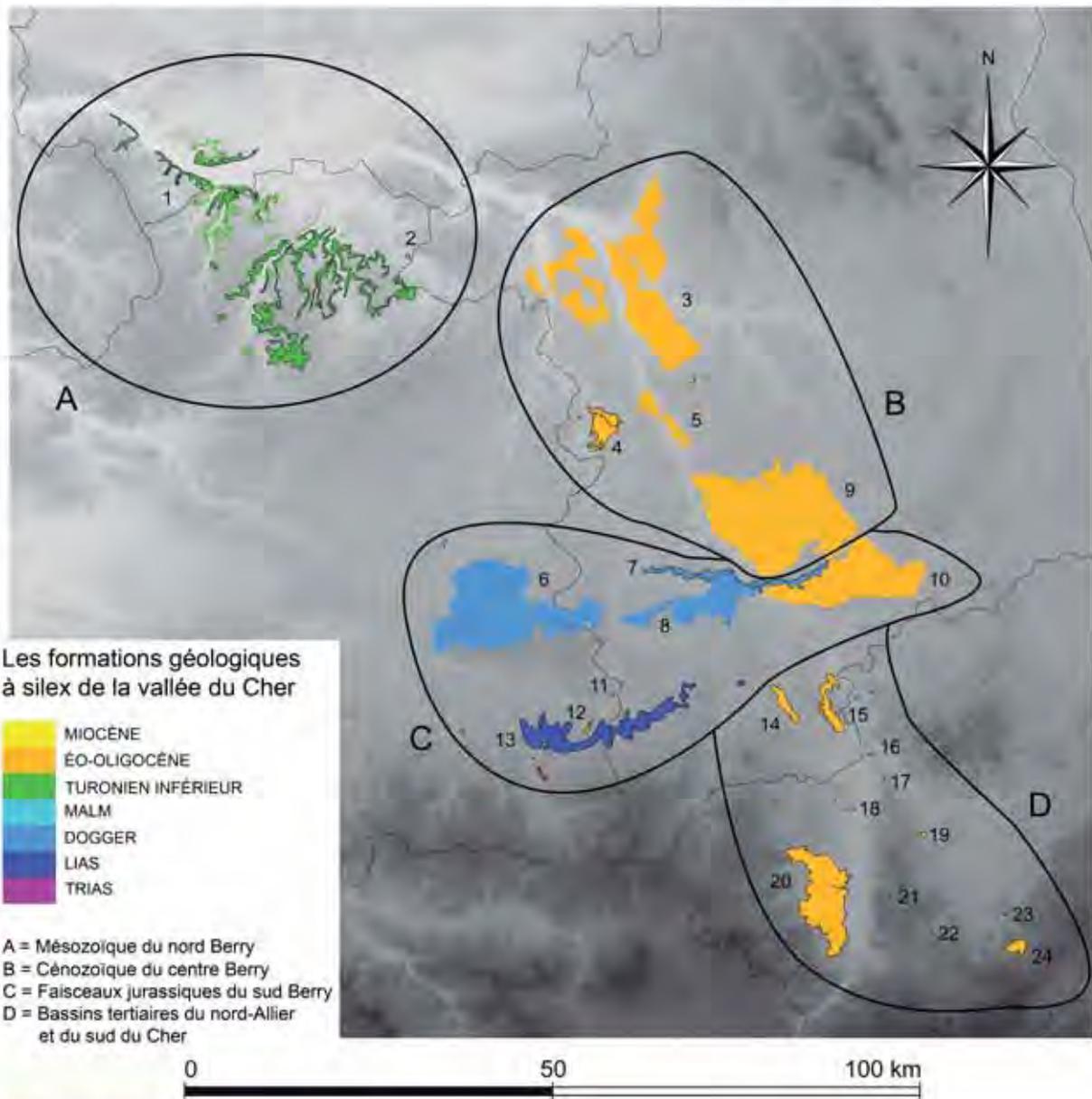
Key words: archeology, flint, cartographic tool, Dordogne, diffusion



Numéro	Étage	Commune
1	MIOCÈNE	Madriat (Puy-de-Dôme)
2	OLIGOCÈNE	Massiac (Cantal)
3	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Saint-Flour (Cantal)
4	ÉO-OLIGOCÈNE + MIOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Saint-Léger-du-Malzieu (Lozère)
5	OLIGOCÈNE	Saint-Alban-sur-Limagnol (Lozère)
6	ÉO-OLIGOCÈNE	Beaumont
7	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Couteuges
8	INDÉTERMINÉ	Saint-Haon
9	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Naussac
10	ÉO-OLIGOCÈNE	Artanc
11	PLIO-PLÉISTOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Bilhac
12	OLIGOCÈNE	Vallée de la Borne
13	INDÉTERMINÉ	Chaspinhac
14	PLIO-PLÉISTOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Le Monteil
15	PLIO-PLÉISTOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Coubon
16	PLIO-PLÉISTOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Orzillon
17	ÉO-OLIGOCÈNE ? + MIOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	La Collange
18	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Reyrac
19	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Chabardeuil
20	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique et Éo-Oligocène)	Mazaboulet
21	ÉO-OLIGOCÈNE	Saint-Pierre-Eynac
22	ÉO-OLIGOCÈNE et OLIGOCÈNE	Arables
23	ÉO-OLIGOCÈNE	Le Mazet-Saint-Voy



Numero	Etage	Commune
1	MIOCÈNE ?	Puy Saint-Hippolyte, Chatelguyon
2	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique)	Puy de Var, Clermont-Ferrand
3	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique)	Côte de Clermont, Clermont-Ferrand
4	MIOCÈNE ?	Ceyrat
5	MIOCÈNE ?	Puy Giroux, Romagnat
6	MIOCÈNE ?	Gergovie
7	OLIGOCÈNE	Courmon-d'Auvergne
8	MIOCÈNE ?	Vertaizon
9	OLIGOCÈNE	Puy de Mur, Dallet
10	MIOCÈNE	Puy de Pileyre, Chauriat
11	MIOCÈNE ?	Mezel
12	MIOCÈNE	Puy Ferrat, Égliseneuve-près-Billom
13	MIOCÈNE	Forestille, Égliseneuve-près-Billom
14	MIOCÈNE ?	Saint-Dier-d'Auvergne
15	MIOCÈNE	Chavart, Saint-Jean-des-Châlières
16	OLIGOCÈNE	Le Crest, La Roche Blanche
17	MIOCÈNE	Mirefleurs
18	MIOCÈNE	La Pouyade, Saint-Georges-sur-Allier
19	MIOCÈNE	Puy Saint-André, Saint-Georges-sur-Allier
20	MIOCÈNE	Laps
21	OLIGOCÈNE	Pic de Mercuriol, Sallières
22	OLIGOCÈNE	Puy Marmant, Veyre-Monton
23	OLIGOCÈNE	Grosmanier, La Sauvetat
24	MIOCÈNE	Pignols
25	MIOCÈNE	Combe de Naves, Orbeil



Numéro	Etage	Commune
1	TURONIEN INFÉRIEUR	Basse-vallée du Cher
2	PORTLANDIEN	Orville
3	ÉO-OLIGOCÈNE	Bourges
4	ÉO-OLIGOCÈNE	Saint-Ambroix
5	ÉO-OLIGOCÈNE	Saint-Florent-sur-Cher
6	BAJOCIEN	bois de bellevue, Saint-Aout
7	BATHONIEN	La Celle-Bruère
8	BAJOCIEN	La Celle-Bruère
9	ÉO-OLIGOCÈNE	Chavannes, Uzay-le-Venon, Saint-loup-des-Chaumes, Meillant
10	ÉO-OLIGOCÈNE	Saint-Amand-Montrond
11	ÉO-OLIGOCÈNE	Vicq-Exempt
12	ÉO-OLIGOCÈNE	Néret
13	HETTANGIEN	Néret et Saint-Jeanvrin
14	ÉO-OLIGOCÈNE	Saulzais-le-Potier
15	ÉO-OLIGOCÈNE	la Perche, Urçay
16	ÉO-OLIGOCÈNE	Peufeulioux
17	ÉO-OLIGOCÈNE	Vallon en Sully
18	MIOCÈNE (secondaire, Jurassique)	Nassigny
19	ÉO-OLIGOCÈNE	Le Louroux-Hodement
20	ÉO-OLIGOCÈNE	Montluçon
21	ÉO-OLIGOCÈNE	Verneix
22	ÉO-OLIGOCÈNE	Le Bouchat, Saint-Angel
23	ÉO-OLIGOCÈNE	Villefranche-d'Allier
24	ÉO-OLIGOCÈNE	Saint-Bonnet-de-Four

Type : D0006 ; F0557 de P. Fernandes et collaborateurs (2014)

Dénomination : silcrète à stromatolithes, Forestille, Égliseneuve-près-Billom (Puy-de-Dôme).

Origine stratigraphique primaire : Miocène.

Origine stratigraphique secondaire : absente.

Origine géographique primaire : Forestille, Égliseneuve-près-Billom (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silcrète pédogénétique.

Protolithe : dolocrète massive à stromatolithes.

Milieu de dépôt : lacustre assez calme (développement préférentiel des stromatolithes LLH-C).

Habitus : fragment de dalle.

Cortex : indéterminé.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone endocorticale : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : indéterminée.

Pétrofabric : allochems < 40 %.

Structure : hétérogène.

Composante détritique : rares extraclastes noirs (< 50-100 µm) arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,9).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : stromatolithes millimétriques fragmentés de type SH-C=>LLH-C ou LLH-C seul, plus rarement de type SS, SS/SH-C ou LLH-S seul (Logan *et al.* 1964).

Minéralogie : abondants rhomboédres carbonatés (dolomites) rarement dissous, généralement libres, plus rarement agrégés, d'une taille comprise entre 20 et 50 µm.

Tri : indéterminable.

Répartition : hétérogène ; les cristaux de dolomites semblent suivre une lamination discrète dans les zones les plus pauvres en *allochems* ; dans les termes plus riches la répartition est plus aléatoire bien que les stromatolithes semblent croître à partir de structures planes dolomitiques préexistantes à la silicification.

Couleur initiale : noire

Couleur acquise : indéterminée.

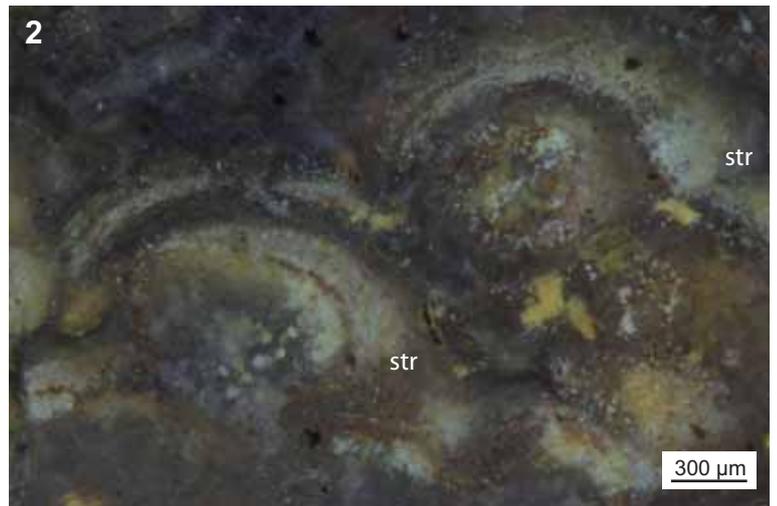
Porosité : faible.

Rugosité : moyenne.

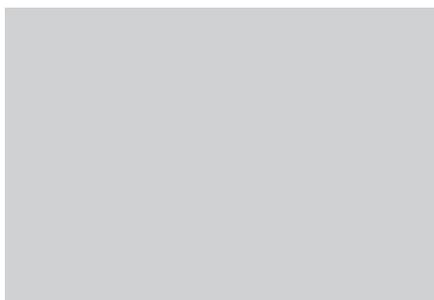
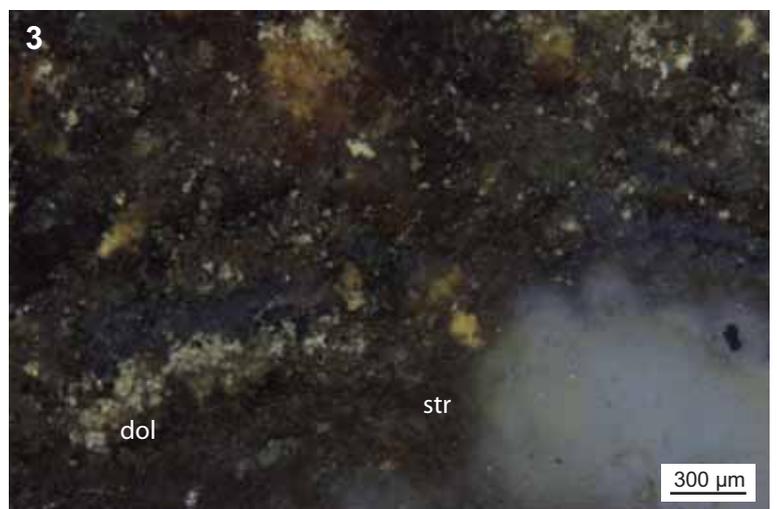
Altération : ce silix ne semble pas altéré, de rares rhomboédres sont dissous mais ne sont pas recristallisés.

Bibliographie : Fernandes *et al.* 2014c.

1. Vue macroscopique

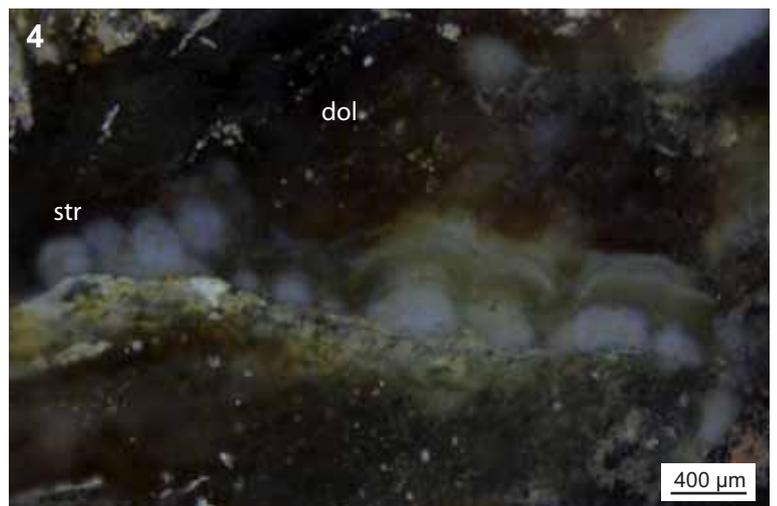
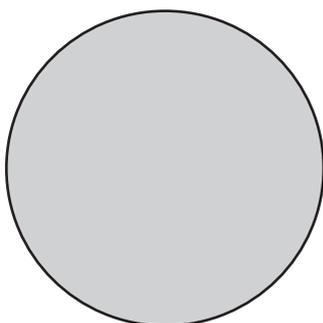


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : 2CF1
2. Vue binoculaire, faciès à stromatolites LLH-C (str),
ech : géologique (Égliseneuve-près-Billom, 63)
3. Vue binoculaire, faciès à stromatolite SS/SH-C (str) et dolomite,
ech : RDB_2CF1
4. Vue binoculaire, stromatolite SH-C/LLH-C (str) et dolomite,
ech : RDB_2CF1

Type : D0201.1 ; « Type E » de G. Vernet (1995).

Dénomination : silex marin jurassique évolué, lité, opaque à glauconies, quartz et spicules.

Origine stratigraphique primaire : Aalénien-Bajocien.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène (probable).

Origine géographique primaire : vallée du Cher (Allier).

Origine géographique secondaire : alluvions anciennes de la vallée du Cher.

Type de silicification : chert (probable).

Protolithe : bio-calcarénite.

Milieu de dépôt : plate-forme externe moyennement profonde et peu agitée.

Habitus : fragment de dalle pluricentimétrique (> 6 cm) à décimétrique.

Cortex : indéterminé.

Néocortex : indéterminé.

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique (> 6 cm).

Pétrofabrication : allochems > 70 %.

Structure : litée, succession de lits plurimillimétriques de plus en plus épais¹ marqués par une densité différentielle en *allochems*, la limite entre les lits est discrète et révélée par l'altération.

Composante détritique : fréquents petits (100 µm) grains de quartz détritiques peu roulés (sph. 0,7 ; arr. 0,1-0,3) ; fréquents grains de glauconie (100 µm) anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,1-0,3) ; abondants intraclastes blancs (100 µm) anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,1-0,3) ; rares gros (500 µm) intraclastes micritiques anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,1).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondants spicules mono-axones fragmentés (100 à 200 µm).

Minéralogie : pas d'information.

Tri : bon

Répartition : homogène, la densité en *allochems* est plus ou moins grande en fonction des lits considérés.

Couleur initiale : indéterminée.

Couleur acquise : orangé / brune.

Porosité : moyenne.

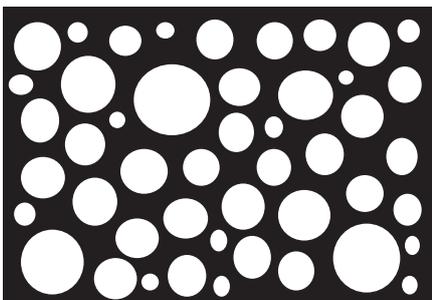
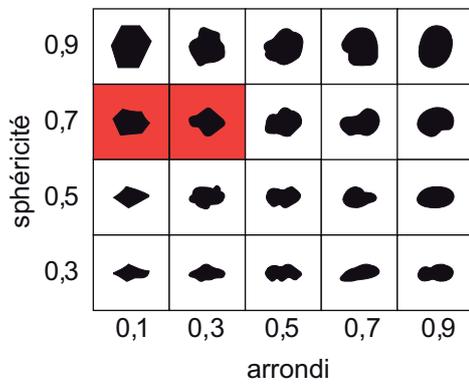
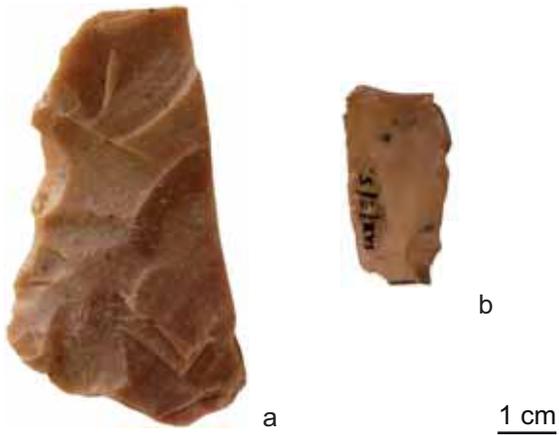
Rugosité : forte, notamment dans les lits les plus riches.

Altération : forte oxydation de la matrice (sous forme de « filaments »), des intraclastes blancs et de la glauconie ; bioclastes fortement épigénisés par des microquartz ; mise en valeur du litage.

Bibliographie : absente.

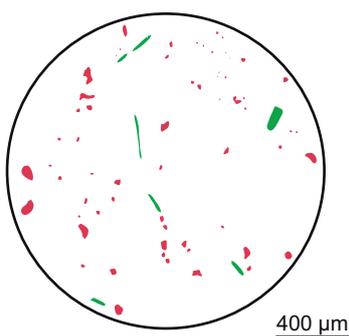
¹ Ne connaissant pas la polarité initiale du dépôt nous ne pouvons conclure quand à la symétrie de croissance des lits : augmentation de la taille des lits de la base au toit ou du toit à la base ?

1. Vue macroscopique

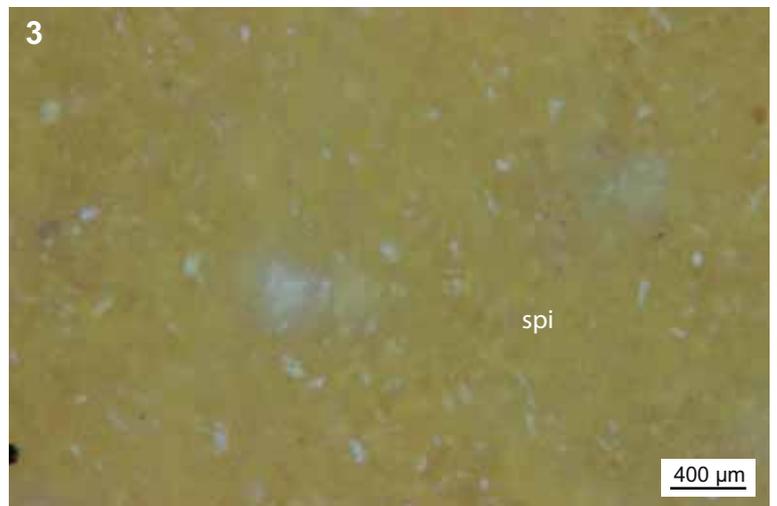


tri bon

Schéma interprétatif



composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : CV_71 et b : SAIL_Ex5
2. Vue binoculaire, spicules mono-axones (spi),
ech : CV_71
3. Vue binoculaire, faciès à spicules mono-axones (spi),
ech : CV_71
4. Vue binoculaire, faciès à spicules mono-axones (spi),
ech : SAIL_Ex5

Type : D0201.2 ; « Type J » de G. Vernet (1995).
Dénomination : silex jurassique évolué.

Origine stratigraphique primaire : Aalénien-Bajocien.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène.

Origine géographique primaire : vallée du Cher (Allier, Cher).

Origine géographique secondaire : alluvions ancienne de la vallée du Cher.

Type de silicification : chert.

Protolithe : bio-calcarénite.

Milieu de dépôt : plate-forme externe peu profonde et peu agitée.

Habitus : galets pluri-centimétriques.

Cortex : indéterminé.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : indéterminée.

Pétrofabric : allochems > 70 %.

Structure : homogène.

Composante détritique : abondants intraclastes blancs (100 µm) assez arrondis (sph. 0,7-0,9 ; arr. 0,7-0,9) ; abondants petits (< 50 µm) intraclastes blancs roulés (sph. 0,9 ; arr. 0,9) ; rares petits éléments noirs (50 à 100 µm).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : rares fantômes de spicules mono-axones.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : très bon.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : indéterminée.

Couleur acquise : brune.

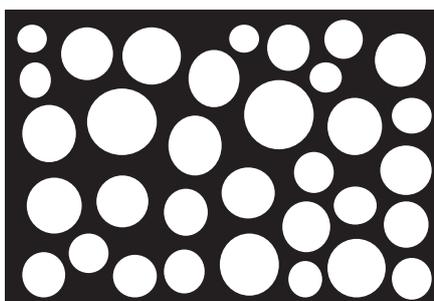
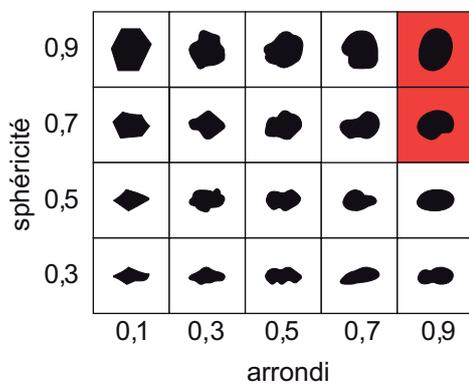
Porosité : absente.

Rugosité : nulle.

Altération : oxydation, dissolution et épigénie poussées des *allochems*.

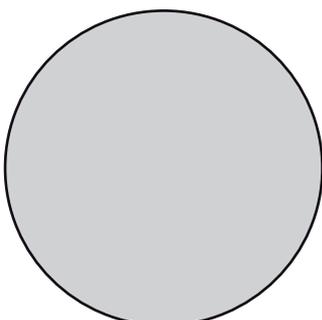
Bibliographie : absente.

1. Vue macroscopique



tri bon

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, CV_NMxW
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : CV_NMxW
3. Vue binoculaire, faciès à spicules mono-axones (spi),
ech : CV_NMxW
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : CV_NMxW

Type : D0026.

Dénomination : brèche siliceuse à intraclastes anguleux.

Origine stratigraphique primaire : fin Éocène - début Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : niveau supérieur de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : colluvions ; alluvions de la Sumène.

Type de silicification : brèche siliceuse.

Protolithe : silcrète de Saint-Pierre-Eynac.

Milieu de dépôt : indéterminé.

Habitus : fragment de bloc.

Cortex : absent.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : absente.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique à décimétrique.

Pétrofabrication : allochems > 80 %.

Structure : bréchique.

Composante détritique : intraclastes blancs, parfois gris, anguleux (sph. 0,5 ; arr. 0,1) et de taille variable (2-3 cm à 100 µm).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : absente.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : modéré.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : beige et gris.

Couleur acquise : noire, blanche, brune et rouge.

Porosité : faible à nulle.

Rugosité : faible.

Altération : le silex archéologique servant à la détermination est brûlé. Macroporosité en cours de colmatage par des cristaux automorphes de quartz ; coloration en rouge par des oxydes dans les zones les plus poreuses.

Bibliographie : Bertrand-Roux 1823 ; Tournaire 1871 ; Boule 1892 ; de Brun 1936 ; de Bayle des Hermens et Crémillieux 1966 ; de Bayle des Hermens 1972a ; Frerichmann 1977 ; Mergoïl *et al.* 1979 ; Torti 1980 ; Masson 1981a ; Werth 1991, 1992a, 1992b ; Feybesse *et al.* 1998 ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008c ; Delvigne 2010 ; Wragg-Sykes *et al.* 2014.

1. Vue macroscopique

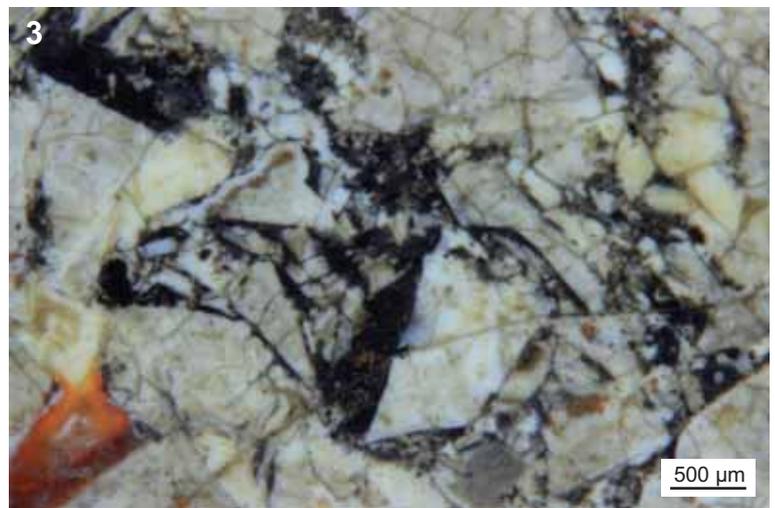


1 cm

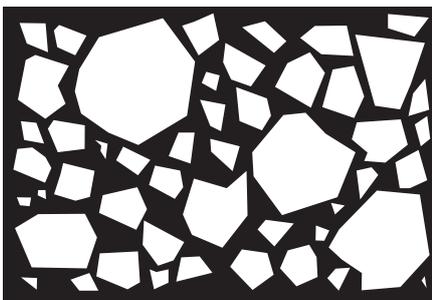


500 μm

sphéricité	0,9					
	0,7					
	0,5					
	0,3					
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
		arrondi				

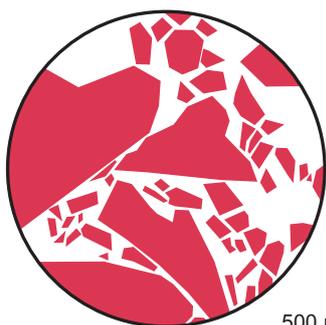


500 μm



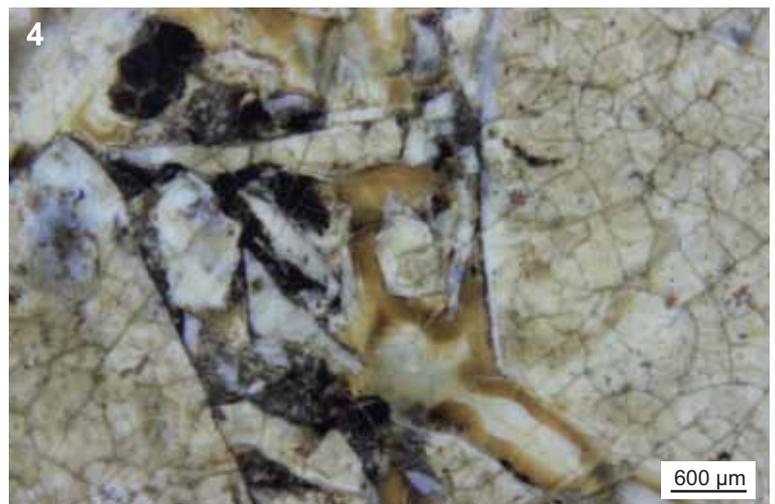
tri modéré

Schéma interprétatif



500 μm

composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



600 μm

1. Vue macroscopique, RDB_B3FA453
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Saint-Pierre-Eynac, 43)
photo M. Piboule
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_B3FA453
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_B3FA453

Type : D0028 ; opale-résinite de Saint-Pierre-Eynac.

Dénomination : brèche opalescente à stromatholithes de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire).

Origine stratigraphique primaire : fin Éocène - début Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : niveau supérieur de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : colluvions ; alluvions de la Sumène.

Type de silicification : silcrète pédogénétique.

Protolithe : inconnue.

Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : fragment de bloc.

Cortex : absent.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : absente.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrication : indéterminable.

Structure : hétérogène ; correspond à une silicification par remplacement du protolithe carbonaté.

Composante détritique : rares petits (< 50 µm) intraclastes ; fréquents intraclastes anguleux (sph. 0,1 à 0,9 ; arr. 0,1) micritiques de taille variable (de quelques dizaines de micromètres à quelques millimètres).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : rares stromatolithes millimétriques de type SS-C/LLH-C.

Minéralogie : F. Werth (1991) signale la présence d'opale, de dolomie, de quartz et de trydimite.

Tri : indéterminable.

Répartition : absente.

Couleur initiale : indéterminée.

Couleur acquise : blanche.

Porosité : faible ; la porosité du protolithe, assez forte, est soit colmatée par de la silice limpide, soit nappée de quartz automorphe.

Rugosité : nulle.

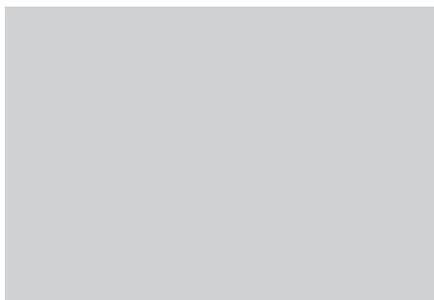
Altération : absente.

Bibliographie : Bertrand-Roux 1823 ; Tournaire 1871 ; Boule 1892 ; de Brun 1936 ; de Bayle des Hermens et Crémillieux 1966 ; de Bayle des Hermens 1972a ; Frerichmann 1977 ; Mergoil *et al.* 1979 ; Torti 1980 ; Masson 1981a ; Werth 1991, 1992a, 1992b ; Feybesse *et al.* 1998 ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008c ; Delvigne 2010 ; Wragg-Sykes *et al.* 2014.

1. Vue macroscopique

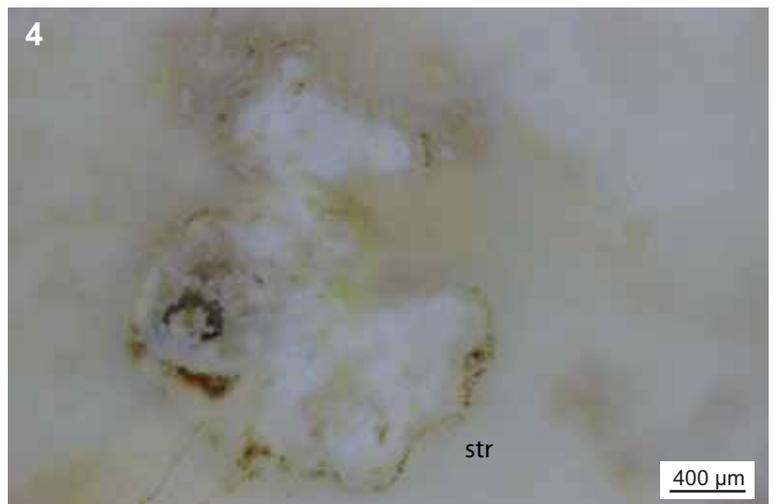
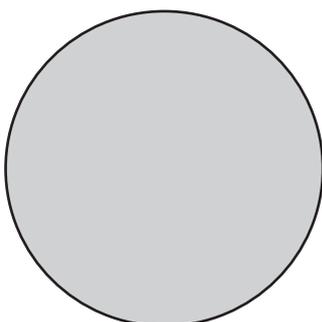


sphéricité	0,9					
	0,7					
	0,5					
	0,3					
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
		arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RDB_B3F2
2. Vue binoculaire, faciès ,
ech : géologique (Saint-Pierre-Eynac, 43)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_B3F2
4. Vue binoculaire, stromatolithe (str),
ech : RDB_B3F2

Type : D0055.

Dénomination : silex lacustre gris à ponctuations noires et *Potamides lamarcki*.

Origine stratigraphique primaire : Stampien (Oligocène).

Origine stratigraphique secondaire : Miocène.

Origine géographique primaire : Puy-de-Vaurs (niveau inférieur), Arpajon-sur-Cère (Cantal).

Origine géographique secondaire : Bassin d'Aurillac.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : dolomicrite.

Milieu de dépôt : lacustre calme et assez profond.

Habitus : plaquettes pluricentimétriques ; fragments de banc.

Cortex : centimétrique ; carbonaté ; crayeux ; blanc ; à porosité moyenne.

Néocortex : indéterminé.

Limite cortex / zone silicifiée : la limite entre cortex et zone franchement silicifiée est progressive sur plusieurs centimètres sans possibilité de discerner une limite marquée, le cœur du banc est lui bien silicifié.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluri-centimétrique.

Pétrofabrication : allochems < 10%.

Structure : litée ; alternance de lits micritiques pluricentimétriques azoïques à lentilles riches en pellets et de lits plus riches en *allochems* et notamment en pellets et bioclastes ; les limites entre ces lits sont nettes et bien marquées.

Composante détritique : abondants petits (50 à 100 µm) éléments noirs allongés indéterminés ; fréquentes petites (50 µm) ponctuations (sph. 0,9 ; arr. 0,9).

Composante chimique : fréquence variable de pellets (100 µm) en fonction des lits considérés.

Composante biologique : rares gastéropodes (*Potamides lamarcki*) entiers ou écrasés sur place ; rares ostracodes ; Fernandes et al. 2008c signalent la présence de *typhas* et de charophytes.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : fréquence variable des *allochems* en fonction des lits considérés (cf. *supra*).

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : brune.

Porosité : nulle ; porosité initiale complètement colmatée par de la silice limpide.

Rugosité : faible à nulle.

Altération : dépôt d'oxyde de fer en moulage de la porosité initiale ; disparition et homogénéisation des lentilles dans les lits les plus pauvres en *allochems* due à l'évolution postgénétiq ue du silex ; brunissement de la matrice ; encroûtement carbonaté postdépôt ionnel correspondant à des traces de racines à la surface du silex.

Bibliographie : Gibert 1972 ; Park 1973 ; Rey 1971 ; Brousse et al. 1980 ; Pasty et al. 1999 ; Fernandes et al. 2008c ; Fernandes 2012.

1. Vue macroscopique

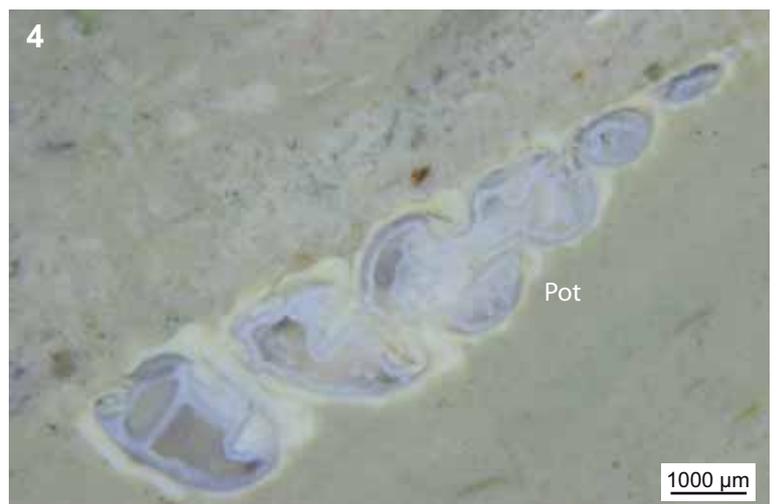
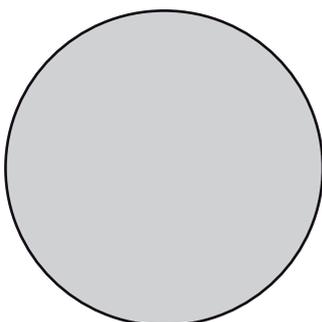


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RDB_1DF298
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Puy-de-Vaurs, 15)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_1DF298?
4. Vue binoculaire, *Potamides lamarcki* (Pot),
ech : géologique (Puy-de-Vaurs, 15)

Type : D0069 ; « Type F7g » de P. Fernandes (2012).
Dénomination : silcrète de Beaumont (Haute-Loire).

Origine stratigraphique primaire : fin Eocène – début Oligocène.

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : Chaniat, Beaumont (Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : colluvions en aval de la dalle siliceuse.

Type de silicification : silcrète.

Protolithe : calcaire bréchique (probable).

Milieu de dépôt : indéterminé.

Habitus : fragments de dalle.

Cortex : épaisseur variable, généralement infra-millimétrique ; grumeleux ; blanc à jaune ; à forte porosité ; ne porte pas de fossile.

Néocortex : colluvions (érosion > altération).

Limite cortex / zone silicifiée : diffuse et irrégulière sur plusieurs millimètres.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluri-centimétrique à décimétrique.

Pétrofabrique : indéterminable.

Structure : pseudo-bréchique.

Composante détritique : rares petits (100 µm) éléments blancs arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,9) ; rares petits (100 µm) exoclastes noirs anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,3) ; fréquents petits (< 50 µm) intraclastes blancs arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,9) constituant l'essentiel de la matrice des zones opaques blanches.

Composante chimique : fréquentes amorces de microvadoids (pouvant atteindre 1 mm).

Composante biologique : absente.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : les petits éléments détritiques arrondis sont préférentiellement situés dans les zones remplies par de la silice limpide.

Couleur initiale : grise et blanche.

Couleur acquise : absente.

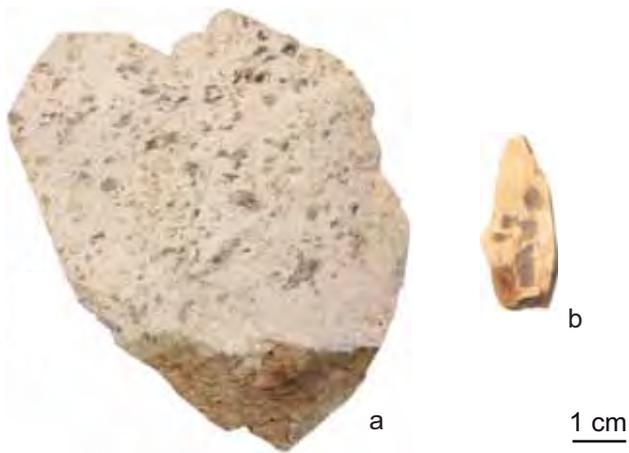
Porosité : faible ; diaclase et porosité colmatées par de la silice limpide.

Rugosité : faible.

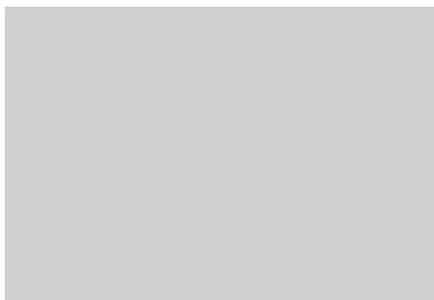
Altération : blanchiment de la matrice des zones opaques et oxydation de la matrice des zones à silice limpide ; développement de dendrites ferro-manganésifères tardives dans la zone sous-corticale.

Bibliographie : Lasnier *et al.* 1982 ; Fernandes *et al.* 2008c ; Fernandes 2012.

1. Vue macroscopique

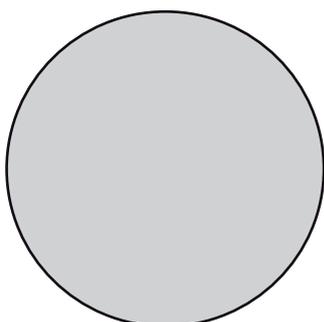


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
sphéricité	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : Blot_K2_49_3385
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Beaumont, 43)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : Blot_K2_49_3385
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_2CF179

Type : D0201.1 ; « Type E » de G. Vernet (1995).

Dénomination : silex marin jurassique évolué, lité, opaque à glauconies, quartz et spicules.

Origine stratigraphique primaire : Aalénien-Bajocien.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène (probable).

Origine géographique primaire : vallée du Cher (Allier).

Origine géographique secondaire : alluvions anciennes de la vallée du Cher.

Type de silicification : chert (probable).

Protolithe : bio-calcarénite.

Milieu de dépôt : plate-forme externe moyennement profonde et peu agitée.

Habitus : fragment de dalle pluricentimétrique (> 6 cm) à décimétrique.

Cortex : indéterminé.

Néocortex : indéterminé.

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique (> 6 cm).

Pétrofabrication : allochems > 70 %.

Structure : litée, succession de lits plurimillimétriques de plus en plus épais¹ marqués par une densité différentielle en *allochems*, la limite entre les lits est discrète et révélée par l'altération.

Composante détritique : fréquents petits (100 µm) grains de quartz détritiques peu roulés (sph. 0,7 ; arr. 0,1-0,3) ; fréquents grains de glauconie (100 µm) anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,1-0,3) ; abondants intraclastes blancs (100 µm) anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,1-0,3) ; rares gros (500 µm) intraclastes micritiques anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,1).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondants spicules mono-axones fragmentés (100 à 200 µm).

Minéralogie : pas d'information.

Tri : bon

Répartition : homogène, la densité en *allochems* est plus ou moins grande en fonction des lits considérés.

Couleur initiale : indéterminée.

Couleur acquise : orangé / brune.

Porosité : moyenne.

Rugosité : forte, notamment dans les lits les plus riches.

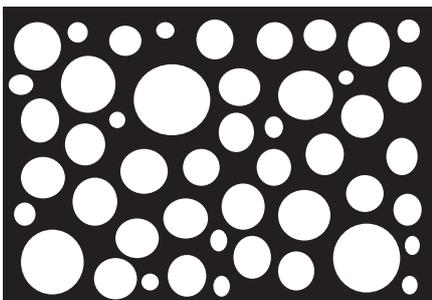
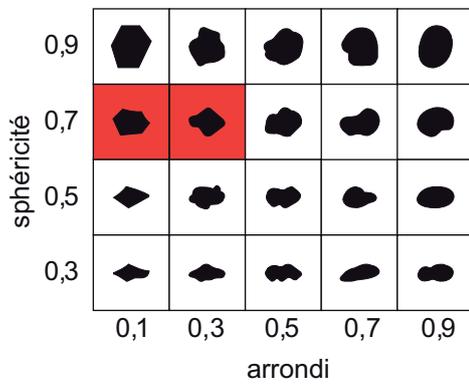
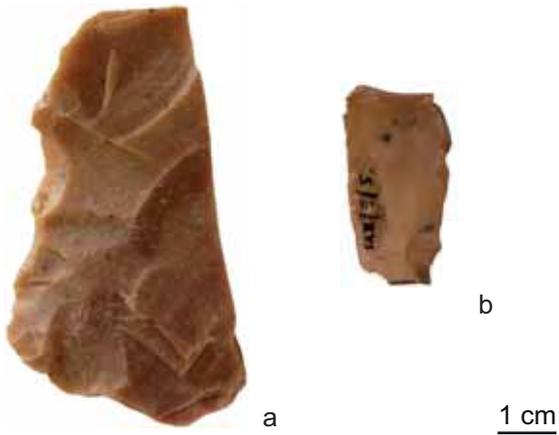
Altération : forte oxydation de la matrice (sous forme de « filaments »), des intraclastes blancs et de la glauconie ; bioclastes fortement épigénisés par des microquartz ; mise en valeur du litage.

Bibliographie : absente.

¹ Ne connaissant pas la polarité initiale du dépôt nous ne pouvons conclure quand à la symétrie de croissance des lits : augmentation de la taille des lits de la base au toit ou du toit à la base ?

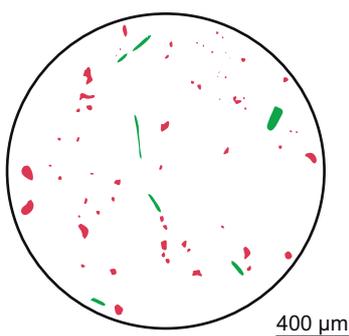
Type D0201.1

1. Vue macroscopique

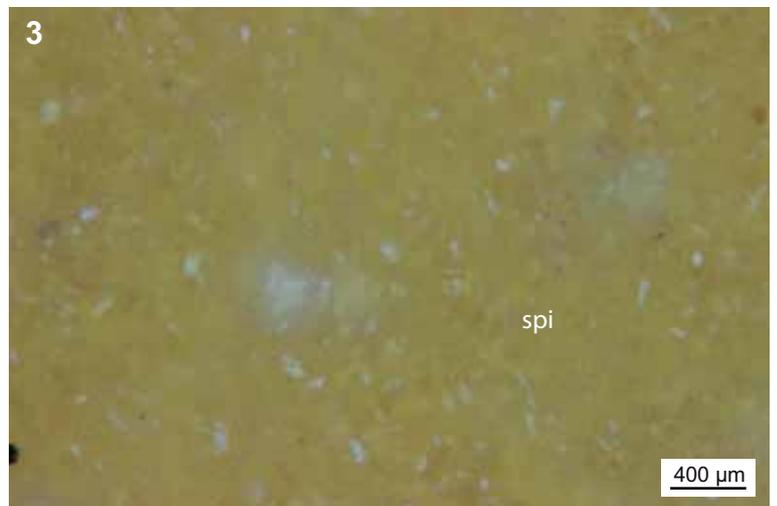


tri bon

Schéma interprétatif



composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : CV_71 et b : SAIL_Ex5
2. Vue binoculaire, spicules mono-axones (spi),
ech : CV_71
3. Vue binoculaire, faciès à spicules mono-axones (spi),
ech : CV_71
4. Vue binoculaire, faciès à spicules mono-axones (spi),
ech : SAIL_Ex5

Type : D0201.2 ; « Type J » de G. Vernet (1995).
Dénomination : silex jurassique évolué.

Origine stratigraphique primaire : Aalénien-Bajocien.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène.

Origine géographique primaire : vallée du Cher (Allier, Cher).

Origine géographique secondaire : alluvions ancienne de la vallée du Cher.

Type de silicification : chert.

Protolithe : bio-calcarénite.

Milieu de dépôt : plate-forme externe peu profonde et peu agitée.

Habitus : galets pluri-centimétriques.

Cortex : indéterminé.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : indéterminée.

Pétrofabric : allochems > 70 %.

Structure : homogène.

Composante détritique : abondants intraclastes blancs (100 µm) assez arrondis (sph. 0,7-0,9 ; arr. 0,7-0,9) ; abondants petits (< 50 µm) intraclastes blancs roulés (sph. 0,9 ; arr. 0,9) ; rares petits éléments noirs (50 à 100 µm).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : rares fantômes de spicules mono-axones.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : très bon.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : indéterminée.

Couleur acquise : brune.

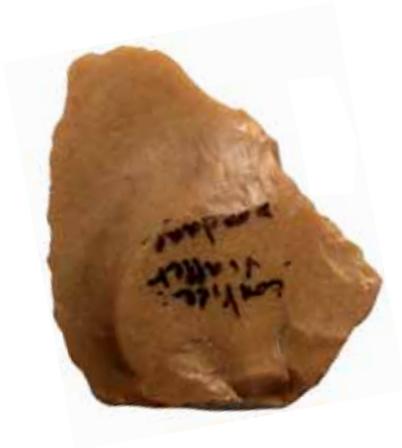
Porosité : absente.

Rugosité : nulle.

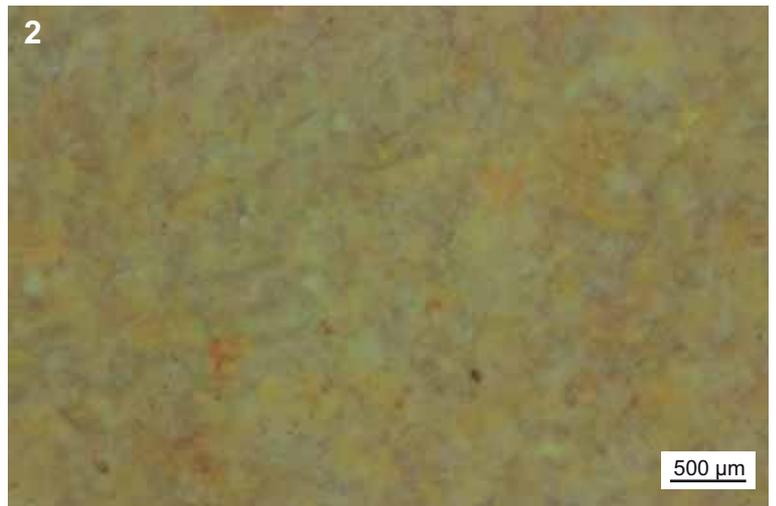
Altération : oxydation, dissolution et épigénie poussées des *allochems*.

Bibliographie : absente.

1. Vue macroscopique



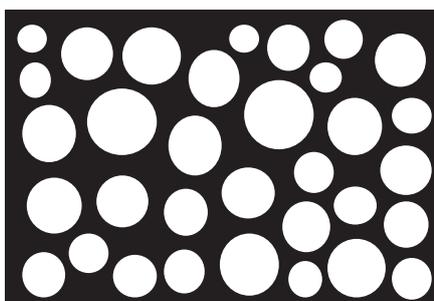
1 cm



0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9

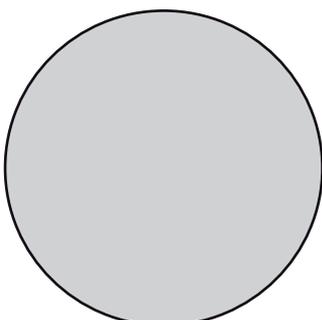
sphéricité

arrondi



tri bon

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, CV_NMxW
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : CV_NMxW
3. Vue binoculaire, faciès à spicules mono-axones (spi),
ech : CV_NMxW
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : CV_NMxW

Type : D0303 ; « Type 47 » de A. Masson (1981a) ; « Silex noirs » de M. Piboule (*in Pasty 2010*).
Dénomination : Silex de Grosmenier.

Origine stratigraphique primaire : Stampien, Oligocène.

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : Grosmenier, La Sauvetat (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : indéterminée.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : calcaire lacustre jaunâtre à tubulures.

Milieu de dépôt : lacustre calme et peu profond.

Habitus : plaquettes centimétriques ou rognons pluricentimétriques à décimétriques.

Cortex : inframillimétrique, carbonaté, grumeleux, très poreux, riche en fossiles (moules externes de lymnées, moules internes de planorbis, de characées et d'ostracodes).

Néocortex : d'altérite (altération > érosion) : complètement décarbonaté, siliceux, caverneux, poreux riche en fossiles (*cf. supra*).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière avec fréquentes invaginations millimétriques et îlots inframillimétriques, elle est généralement soulignée par une bande siliceuse millimétrique noire plus sombre que le reste de la matrice. La limite est parfois plus diffuse avec une silicification centripète progressive.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrique : allochems > 60 %.

Structure : bioturbée.

Composante détritique : fréquents petits (100 à 200 µm) éléments blancs arrondis (sph. 0,7 ; arr. 0,9) ; rares grains de quartz détritiques (< 50 µm) assez anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,3).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquentes valves entières de petits ostracodes lisses ; fréquentes tiges de characées peu fragmentées ; fréquentes petites gyrogonites elliptiques à ornementation fine et serrée ; abondants fragments de végétaux opaques à aspect ligneux ; rares gastéropodes peu fragmentés (*Planorbis* de grandes tailles ou micrométriques – forme juvénile - et *Limnea*) ; rares fragments de bivalves.

Minéralogie : rares cristaux de calcite ; rares rhomboèdres de dolomite tardive isolés ou en amas ; fréquents cristaux automorphes de pyrites isolés, en essaim, en amas voire en pseudomorphose d'anciennes coquilles ; possibles gouttelettes de bitume (Piboule com. pers.).

Tri : modéré.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : noire.

Couleur acquise : grise, brune, violacée, rouge.

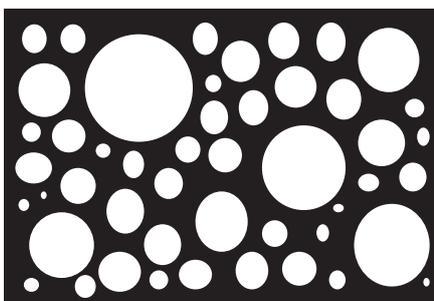
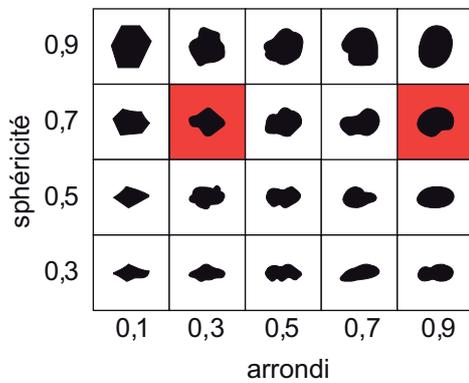
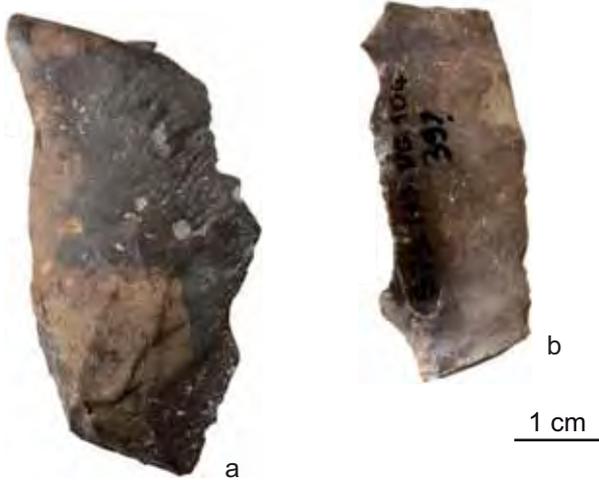
Porosité : faible, la porosité initiale (anciennes fentes de retrait), tout comme celle induite par la dissolution de fossiles (notamment les gyrogonites et les ostracodes), est colmatée par une silice limpide bleu ciel ou blanche (calcédonite en périphérie et quartz automorphe au cœur, Piboule *in Pasty 2010*).

Rugosité : variable, faible à moyenne.

Altération : la dépigmentation (passage du noir au gris) affecte principalement la zone la plus au centre du silex, au contraire l'oxydation est centripète ; l'altération tend à révéler la structure initiale bioturbée du sédiment.

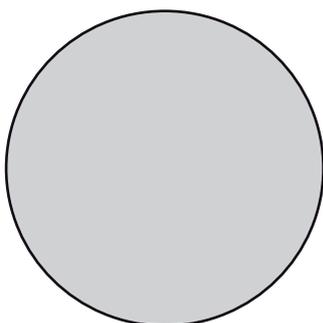
Bibliographie : Giraud 1902 ; Masson 1981a ; Piboule *in Pasty 2010* ; Fernandes *et al.* 2014c.

1. Vue macroscopique



tri modéré

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : Blot_N3_39_104
2. Vue binoculaire, faciès de la zone sous corticale, ech : géologique (Grosmenier, La Sauvetat, 63)
3. Vue binoculaire, faciès à tiges de characées (cha), ech : Blot_N3_39_104
4. Vue binoculaire, coupe de *Planorbis* sp. (Pla), ech : RDB_B3FA1482

Type : D0515.

Dénomination : silex blond du Crest.

Origine stratigraphique primaire : fin Eocène – début Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : le Crest (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex.

Protolithe : calcaire lacustre.

Milieu de dépôt : palustre à lacustre.

Habitus : fragments de dalles.

Cortex : plurimillimétrique ; grumeleux ; siliceux ; blanc à jaune ; porosité faible ; azoïque.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : diffuse, plurimillimétrique, irrégulière, abondants golfes millimétriques et invaginations.

Zone silicifiée :

Épaisseur : indéterminée.

Pétrofabric : allochems < 10 %.

Structure : homogène.

Composante détritique : fréquents petits intraclastes blancs (< 50 µm) peu arrondis (sph. 0,7 ; arr. 0,5) ; rares quartz détritiques (50 µm) arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,7).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : rares valves de petits (500 µm) ostracodes lisses fragmentées.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : indéterminable.

Couleur initiale : blonde.

Couleur acquise : absente.

Porosité : diaclases colmatées (probablement initiées par des pressions à lier à la microtectonique).

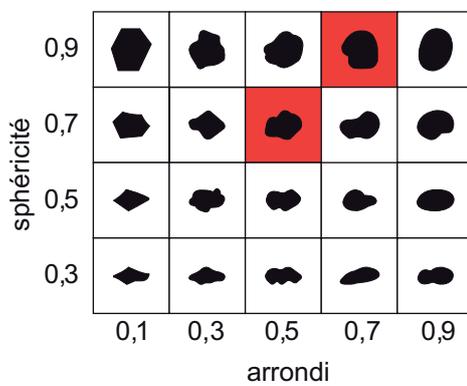
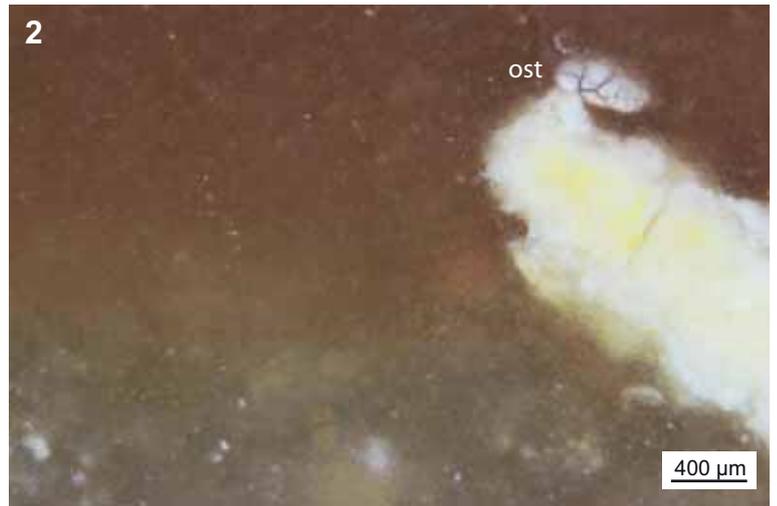
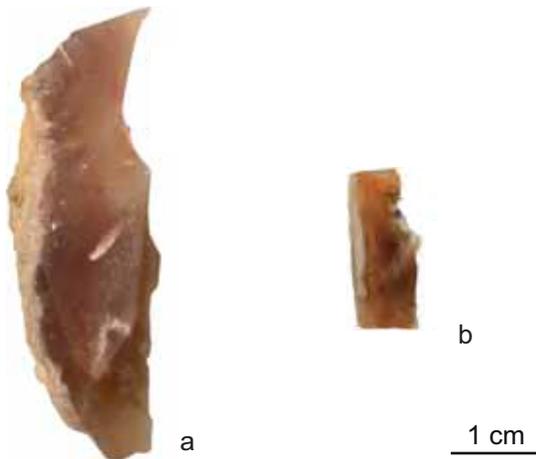
Rugosité : faible à nulle.

Altération : oxydations différentielles des conduits d'illuviations et de la matrice ; mise en exergue partielle de la structure initiale du sol (pseudo-bréchique).

Bibliographie : absente.

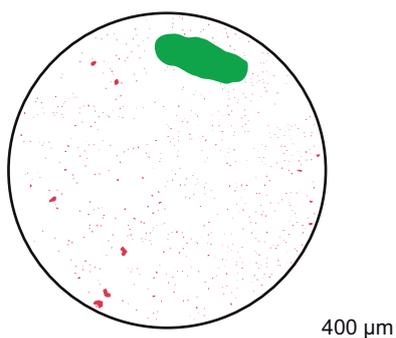
Type D0515

1. Vue macroscopique



tri indéterminable

Schéma interprétatif



composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : Blot_L2_29_1045
2. Vue binoculaire, faciès à ostracode (ost) fragmenté en place, ech : géologique (Le Crest, 63)
3. Vue binoculaire, faciès, ech : Blot_L2_29_1045
4. Vue binoculaire, faciès avec diagenèse recristallisée, ech : Blot_L2_29_1045

Type : D0605.

Dénomination : silcrète détritique à stromatolithes.

Origine stratigraphique primaire : Miocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : Naves, Orbeil (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex.

Protolithe : dolocrète massive à stromatolithes (probable).

Milieu de dépôt : palustre instable et assez agité.

Habitus : fragments de dalles.

Cortex : millimétrique à pluri-millimétrique ; corné ; siliceux ; blanc ; porosité moyenne ; azoïque.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière, fréquents golfes millimétriques et invaginations ; la zone sous corticale est marquée par une fine bande plus noire et moins riche en *allochems* que le reste du silex.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluri-centimétrique (probable).

Pétrofabrique : allochems > 70 %.

Structure : homogène ; pseudo-lité.

Composante détritique : abondants petits (100 µm à 400 µm) exoclastes roulés (sph. 0,7 ; arr. 0,9) bruns ou plus rarement jaunes ; petits éléments (<50 µm) blancs ; rares grands exoclastes (1 mm) peu roulés (sph. 0,7 ; arr. 0,3) issus d'une roche carbonatée à stromatolithes de type LLH-S ; rares (200 µm) grains de quartz détritiques roulés (sph. 0,7 ; arr. 0,9).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : stromatolithes de type LLH-S/LLH-C ou LLH-S seul, fragmentés et peu construits ; fréquents fragments (200 à 400 µm) de tiges de végétaux en cours d'épigénie ; rares fragments de coquilles d'ostracodes.

Autre : fréquentes floculations infra-millimétriques (300 µm) développées autour des petits exoclastes.

Minéralogie : rares quartz authigènes.

Tri : modéré.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : noire.

Couleur acquise : indéterminée.

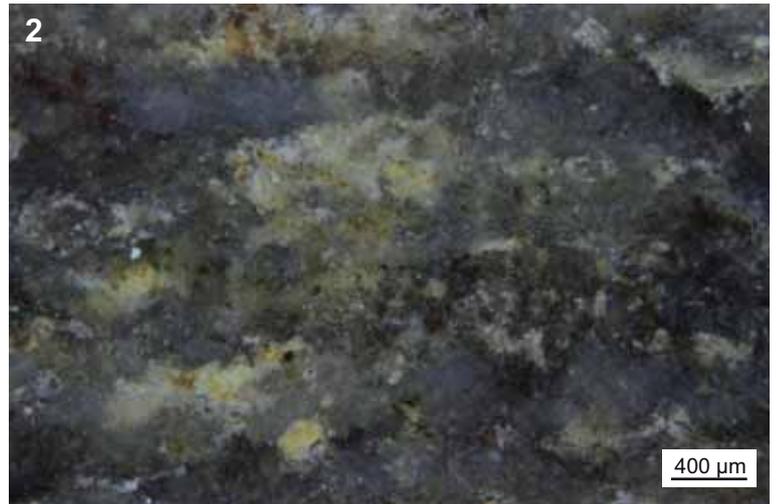
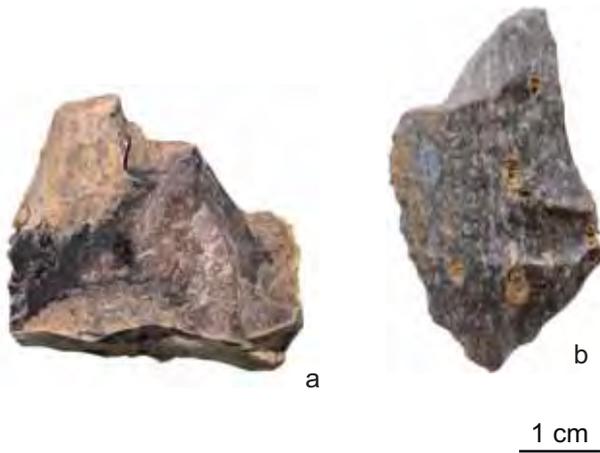
Porosité : faible à moyenne.

Rugosité : faible à moyenne.

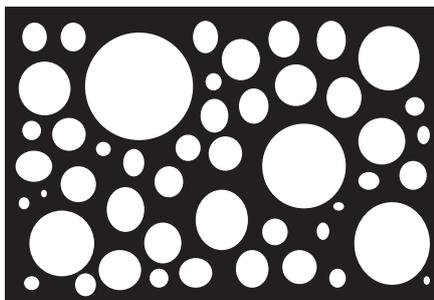
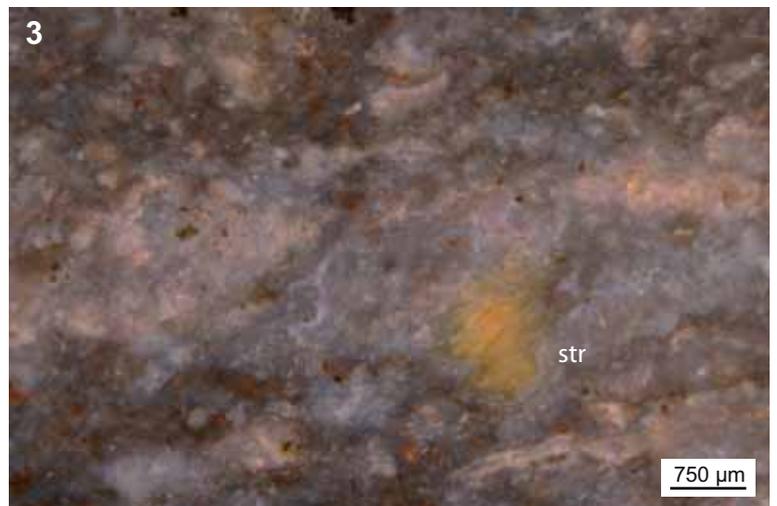
Altération : épigénie progressive des stromatolithes ; opacification et homogénéisation de la matrice ; développement d'oxydes de fer dans la microporosité.

Bibliographie : absente.

1. Vue macroscopique



sphéricité	0,9					
	0,7					
	0,5					
	0,3					
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
		arrondi				



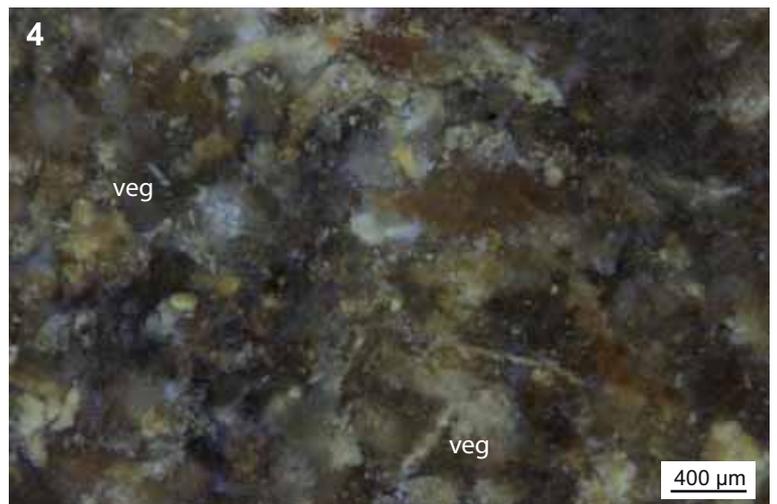
tri modéré

Schéma interprétatif



400 µm

composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : VB_02.02
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Orbeil, 63)
3. Vue binoculaire, faciès à exoclaste "stromatholithiqueé (str),
ech : VB_02.02
4. Vue binoculaire, faciès à tiges de végétaux (veg),
ech : SAIL_NM351

Type : D0609.

Dénomination : silcrète à cyanobactéries encroûtées du Puy Ferrat.

Origine stratigraphique primaire : Miocène.

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée

Origine géographique primaire : Puy Ferrat, Egliseneuve-près-Billom (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silcrète.

Protolithe : dolocrète massive à stromatolithes.

Milieu de dépôt : palustre assez calme.

Habitus : fragments de dalles.

Cortex : indéterminé.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabricque : allochems > 70 %.

Structure : hétérogène.

Composante détritique : rares petits (100 µm) grains de quartz arrondis (sph. 0,7 ; arr. 0,5) ; fréquents intraclastes micritiques blancs arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,7 - 0,9) ou anguleux (sph 0,7 ; arr. 0,3)

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondantes cyanobactéries encroûtées (généralement 400 µm de long suivant l'axe d'allongement maximal) ; rares fantômes de stromatolithes SS-C/LLH-C.

Minéralogie : fréquents voire abondants rhomboédres (< 50 µm) blancs (dolomite ?).

Tri : très bon.

Répartition : les cyanobactéries sont regroupées sans orientation particulière en paquets pluri-millimétriques.

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : orangée.

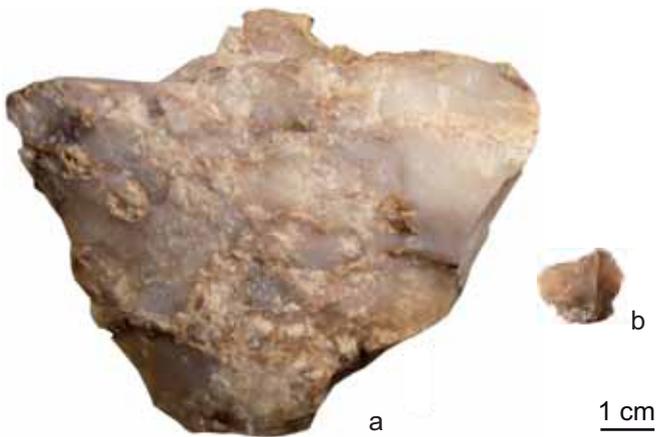
Porosité : faible à moyenne, la macroporosité est induite par la dissolution des stromatolithes dont il ne reste que le moule externe et par un réseau anastomosé en cours de colmatage, vestige du sédiment initial.

Rugosité : nulle à faible.

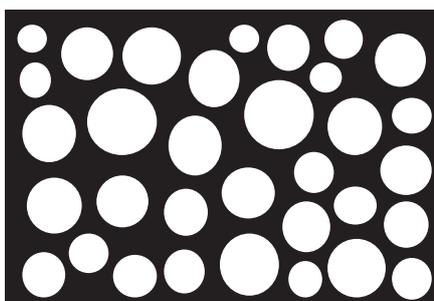
Altération : oxydation de la matrice dans les zones de regroupement des cyanobactéries ; léger brunissement et début de dissolution des *allochems*.

Bibliographie : Giraud 1902, Estève 1942, Rudel 1966, Masson 1981a, Dufresne 1999, Fernandes *et al.* 2008, 2014c.

1. Vue macroscopique

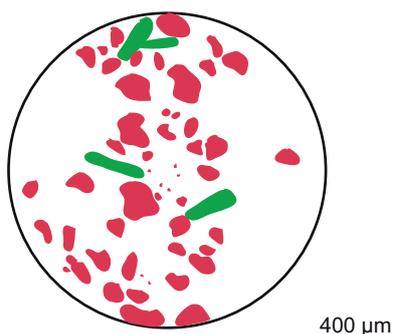


sphéricité	0,9					
	0,7					
	0,5					
	0,3					
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
		arrondi				

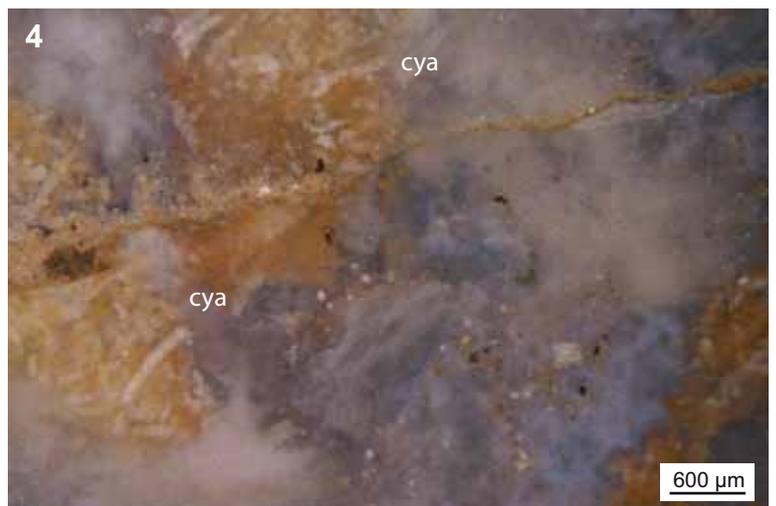
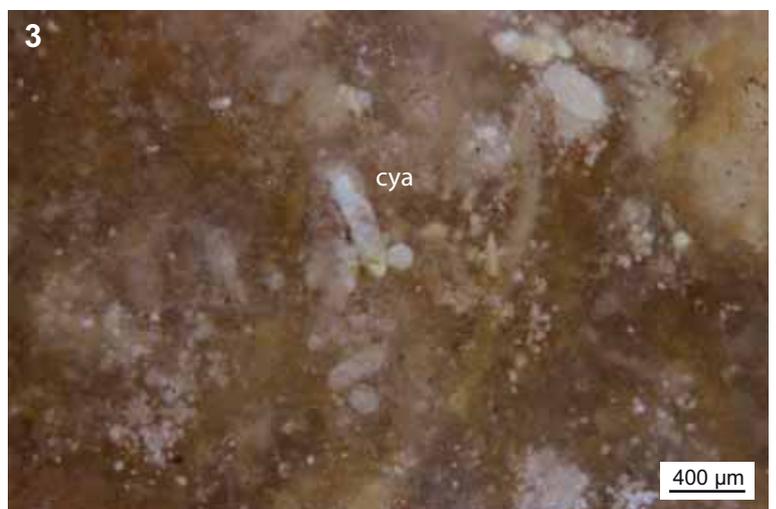
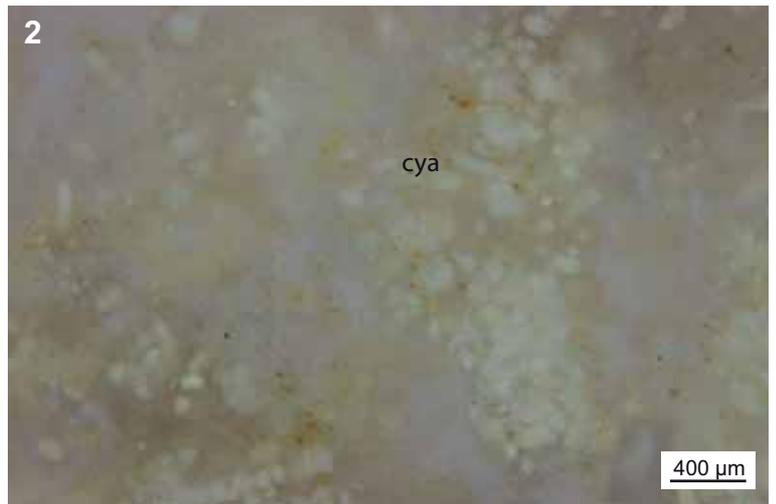


tri très bon

Schéma interprétatif



composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : SAII_NM655
2. Vue binoculaire, faciès à cyanobactéries encrustées (cya), ech : géologique (Puy Ferrat, 63)
3. Vue binoculaire, faciès à cyanobactéries encrustées (cya), ech : SAII_NM655
4. Vue binoculaire, faciès à cyanobactéries encrustées (cya), ech : VB_02.11

Type : D0808.

Dénomination : silex lacustre marron à rares characées de la vallée de la Jordanne.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène supérieur.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène.

Origine géographique primaire : vallée de la Jordanne, Saint-Simon (Cantal).

Origine géographique secondaire : bassin d'Aurillac (Cantal).

Type de silicification : silex.

Protolithe : marno-calcaire blanc tendre.

Milieu de dépôt : lacustre calme assez peu profond.

Habitus : plaquettes pluri-centimétriques.

Cortex : plurimillimétrique ; grumeleux à corné ; carbonaté ; blanc ; porosité moyenne ; rares moules internes de tiges de characées et rares moules externes de gastéropodes (Hydrobies).

Néocortex : colluvions (érosion > altération) ; alluvions anciennes (forte érosion, forte altération, recristallisation).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière ; rares îlots carbonatés millimétriques dans la zone sous-corticale.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique (généralement inférieure à 4 cm).

Pétrofabric : allochems < 10%.

Structure : bioturbée.

Composante détritique : fréquents petits (< 50 µm) intraclastes blancs.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquentes tiges fragmentées de végétaux, rares tiges fragmentées de characées.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : brune.

Couleur acquise : absente.

Porosité : faible, rares macroporosités en cours de colmatage par de la silice limpide.

Rugosité : nulle.

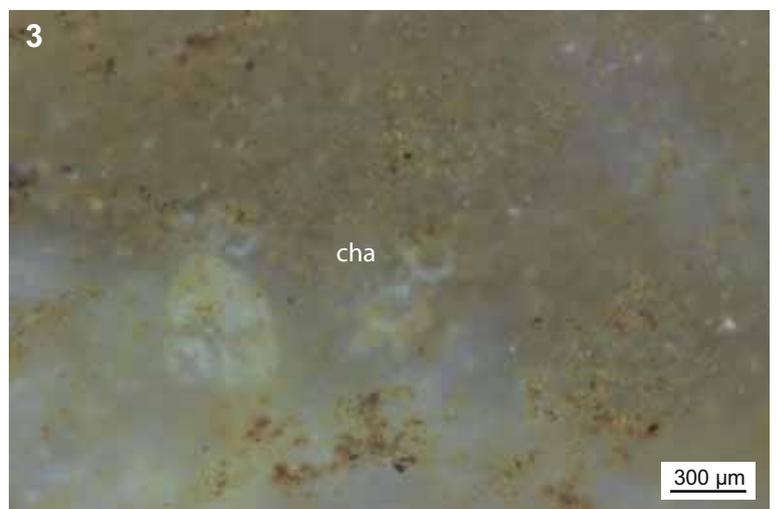
Altération : mise en exergue des différentes zones du silex par le jeu de l'altération différentielle (en fonction du taux de cristallisation de la matrice) ; oxydation (jaunissement) et augmentation du nombre d'intraclastes qui résulte, pour une grande partie, de la désagrégation du fond micritique initial ; changement de phase minérale de la silice en colmatage des porosités (passage d'une silice limpide à des microquartz automorphes).

Bibliographie : Brousse *et al.* 1980 ; Surmely 1998.

1. Vue macroscopique

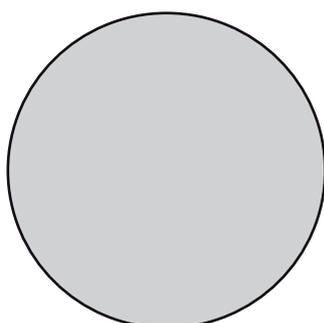


sphéricité	0,9					
	0,7					
	0,5					
	0,3					
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
		arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : BEA_72
2. Vue binoculaire, faciès à tige de characée (cha),
ech : géologique (rive droite vallée de la
Jordanne, Saint-Simon, 15)
3. Vue binoculaire, faciès à tige de characée (cha),
ech : BEA_72
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : BEA_72

Type : D1200 ; « Type F052 » de P. Fernandes et collaborateurs (2008a) ; « Type F005 évolué » de P. Fernandes (2012).

Dénomination : silcrète du Malzieu (F005) évolué dans les alluvions anciennes de la paléo-Truyère.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène inférieur.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène.

Origine géographique primaire : Saint-Léger-du-Malzieu.

Origine géographique secondaire : Couteuges, ruisseau du Barret (Haute-Loire).

Type de silicification : silcrète.

Protolithe : indéterminé.

Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : galets et blocs roulés diaclasés pluri-décimétriques.

Cortex : absent.

Néocortex : alluvions anciennes (érosion, dissolution, recristallisation forte) : infra-millimétrique ; lisse ; siliceux ; patine jaune moyenne.

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique à décimétrique.

Pétrofabric : indéterminable.

Structure : pseudo-bréchique (en remplacement de la structure de sol initiale).

Composante détritique : rares petits (< 50 µm) grains de quartz détritiques ; fréquents intraclastes (< 50 µm) assez arrondis (sph. 0,5 ; arr. 0,5 à 0,7).

Composante chimique : absent.

Composante biologique : rares *typha*.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : modéré.

Répartition : hétérogène.

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : brune.

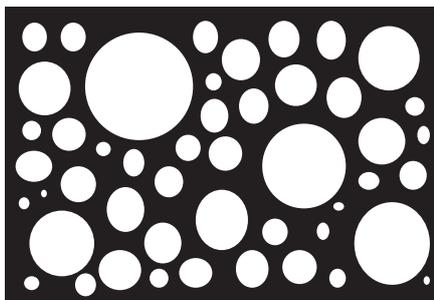
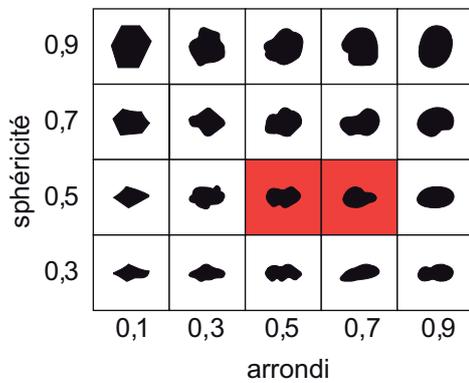
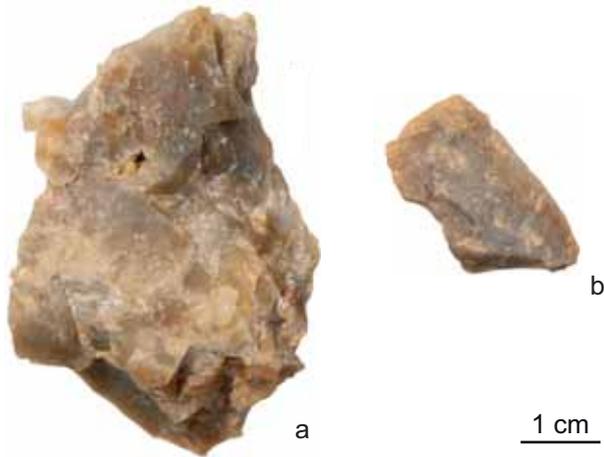
Porosité : moyenne.

Rugosité : forte.

Altération : les *allochems* sont fortement imprégnés en jaune ; les zones les plus grossières de la silicification (ancienne micritique) sont fortement teintées en jaune et recristallisées par des microquartz.

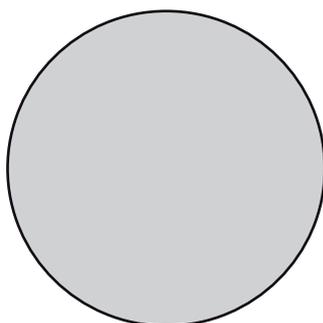
Bibliographie : Fernandes *et al.* 2008a ; Fernandes 2012.

1. Vue macroscopique



tri modéré

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : Blot_L4_44/46_348
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Couteuges, 43)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : BLOT_L4_44/46_348
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : BLOT_L4_44/46_348

Type : D1207.1 ; « Type 08 » de A. Masson (1981).

Dénomination : silex lacustre gris.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : ouest du Cantal, bassin d'Aurillac (probable)¹.

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : bio-calcimicrite (probable).

Milieu de dépôt : lacustre peu profond et assez agité.

Habitus : rognons décimétriques (probable).

Cortex : millimétrique ; crayeux à grumeleux ; siliceux ; blanc à jaune ; porosité faible à moyenne ; porte de fréquents moules externes de characées.

Néocortex : colluvions (érosion > altération) ; alluvions (érosion et altération forte, recristallisation faible).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluri-centimétrique.

Pétrofabrication : allochems > 50%.

Structure : bioturbée et pseudo-bréchique (en remplacement de la structure de sol initiale) ; présence d'un litage partiel ; dans les « poches de bioturbation » le faciès est très riches en allochems dont les petits (50 µm) exoclastes blancs arrondis (sph. 0,5 ; arr. 0,9) et petits fragments noirs (débris de matière organique ?), témoins d'un remplissage par un stock sédimentaire différent du reste de la matrice.

Composante détritique : fréquents petits (100 µm) intraclastes peu arrondis (sph. 0,5 ; arr. 0,5) ; rares petits (< 50 µm) grains de quartz détritiques.

Composante chimique : rares pellets (100 µm) (sph. 0,9 ; arr. 0,9).

Composante biologique : rares gastéropodes (Hydrobies) ; rares ostracodes fragmentés ; fréquentes grosses (Ø = 1 mm) gyrogonites, plus ou moins fragmentées, sphériques, à tours peu nombreux et ornementation peu marquée (*Chara sp.* probable) ; fréquentes tiges de characées, deux populations se distinguent : 1) de petites tiges (Ø = < 50 µm) peu fragmentées et 2) de grandes tiges (Ø = 200 µm à 400 µm) assez fragmentées ; rares fragments de thalles de characées ; fréquentes traces de racines ; rares débris ligneux allongés.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : modéré.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : grise et beige.

Couleur acquise : brune.

Porosité : faible ; la porosité initiale et les traces d'anciennes racines sont colmatées par de la silice limpide ou sont en cours de remplissage par de la calcédoine.

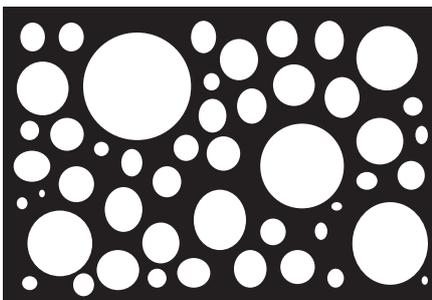
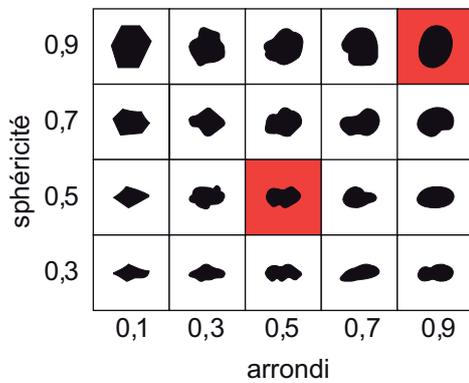
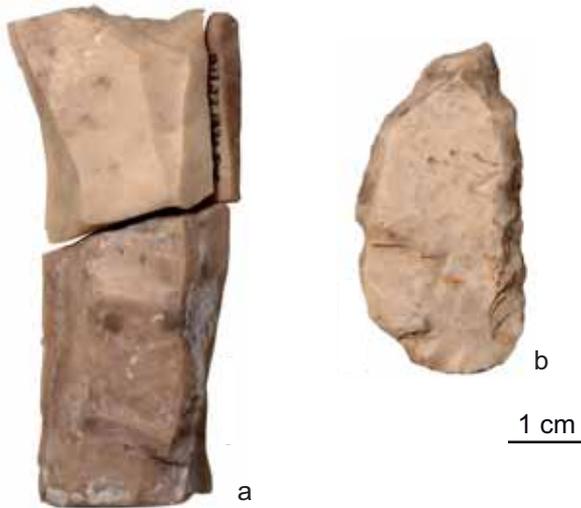
Rugosité : faible.

Altération : brunissement de la matrice ; la matrice initiale du sédiment (micritique) tend à disparaître et est remplacée par un semi de petits intraclastes (10 µm).

Bibliographie : Masson 1981a.

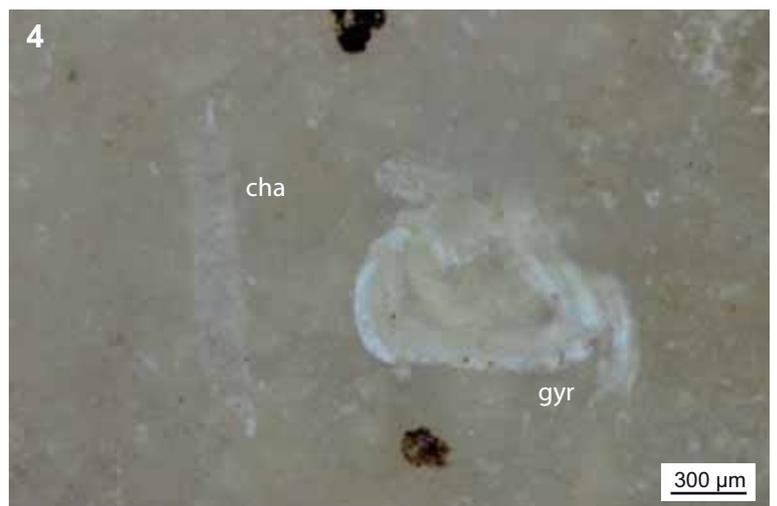
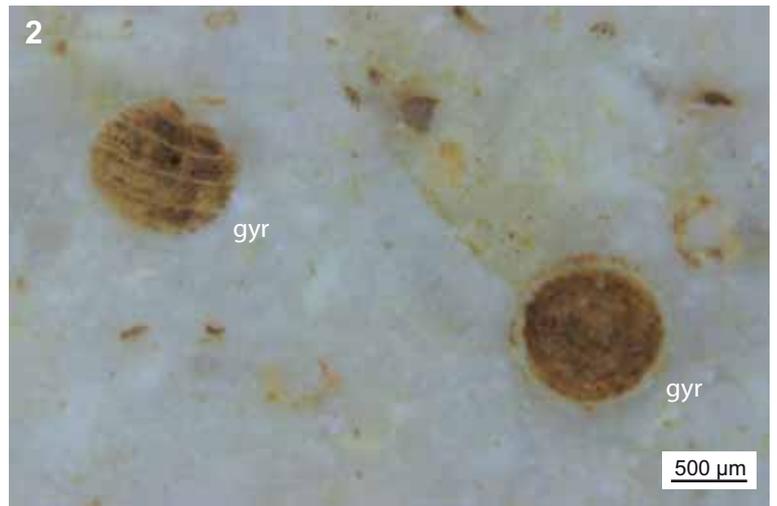
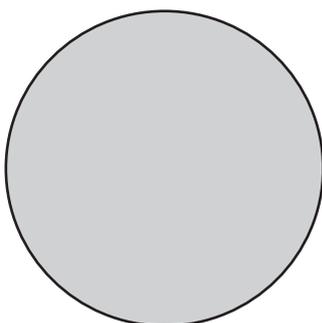
¹ Nous n'avons pas retrouvé, lors de nos prospections dans l'ouest du Cantal, de faciès strictement identiques à ceux découverts sur les sites archéologiques (D1207.1 ; D1207.2 ; D1207.3 ; D1207.4 ; D1207.5). Cela peut s'expliquer par une différence d'origine gîtologique (collecte en gîte secondaire induisant une forte évolution du silex) et / ou par une grande variabilité de ce type de silex (comme indiquée dans la littérature : Gibert 1972 ; Park 1973 ; Rey 1971 ; Brousse *et al.* 1980 ; Surmely 1998 ; Pasty *et al.* 1999 ; Fernandes *et al.* 2008c ; Fernandes 2012). Le contenu micropaléontologique et les faciès sédimentaires initiaux - que l'on peut distinguer lorsqu'ils sont encore préservés - nous oriente vers les silicifications de l'Oligocène supérieur du nord-ouest du Bassin d'Aurillac. Des prospections supplémentaires et une meilleure connaissance de la diversité des silex tertiaires de l'ouest du Massif central nous amènera, nous l'espérons, à mieux apprécier l'origine gîtologique de ce type de silex.

1. Vue macroscopique



tri modéré

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : remontage Blot_J1_44/45_887 ; Blot_J2_45/46_1931 ; Blot_J3_48?_2097 ; Blot_J2_45/46_2313 ; Blot_H2_??_A358 ; Blot_I2_39/40?_A359 et b : BVsl_3
2. Vue binoculaire, gyrogonite (gyr) de *Chara* sp. (probable), ech : BVsl_3
3. Vue binoculaire, faciès à tiges de characées (cha), ech : Blot_J1_44/45_887
4. Vue binoculaire, faciès à tiges de characées (cha) et gyrogonite (gyr) de *Chara* sp. fragmentée en place, ech : Blot_J1_44/45_887

Type : D1207.2.

Dénomination : silex lacustre gris à matrice initiale bien conservée.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : ouest du Cantal, bassin d'Aurillac (probable).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : bio-calcimicrite (probable).

Milieu de dépôt : lacustre peu profond et assez calme.

Habitus : rognons décimétriques (probable).

Cortex : indéterminé.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrication : allochems > 50%.

Structure : bioturbée.

Composante détritique : abondants intraclastes blancs (100 µm et < 50 µm) peu arrondis (sph. 0,7 ; arr. 0,1 - 0,3).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : nombreuses anciennes traces de racines ; rares petits (100 à 200 µm) fragments de tiges de characées ; rares grosses (Ø = 1 mm) gyrogonites peu fragmentées, sphériques, à tours peu nombreux et ornementation peu marquée ; rares débris ligneux de tailles variables.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : bon.

Répartition : indéterminable.

Couleur initiale : grise à beige.

Couleur acquise : brune.

Porosité : faible ; la porosité initiale et les anciennes traces de racines sont colmatées par de la silice limpide.

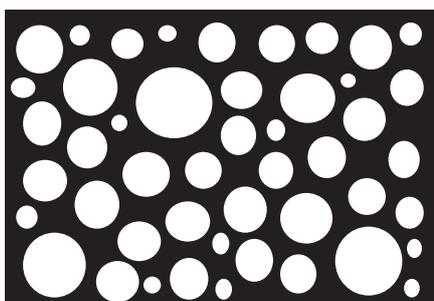
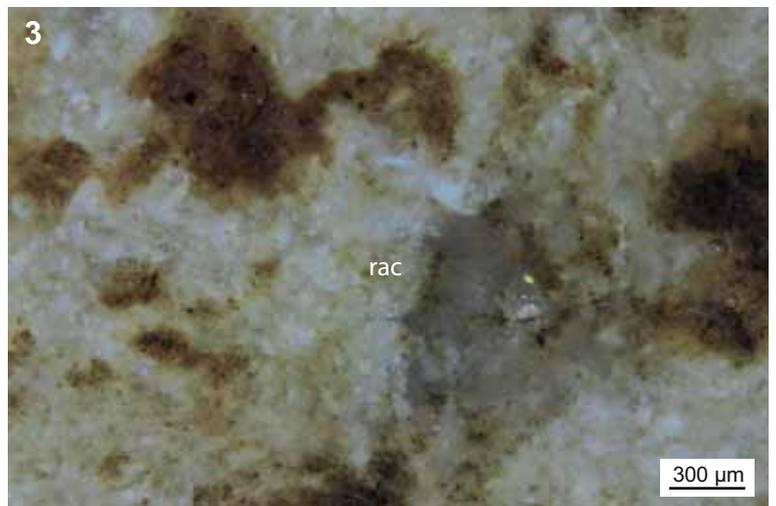
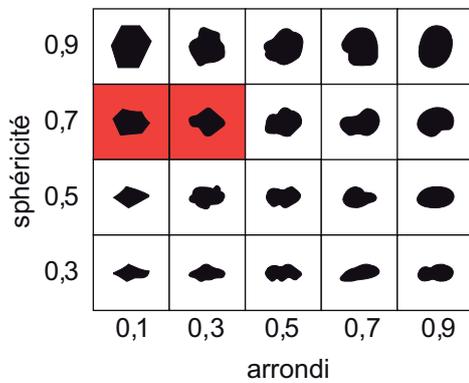
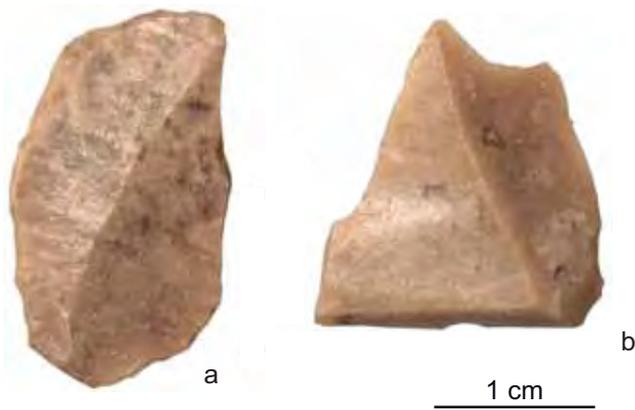
Rugosité : faible à moyenne.

Altération : épigénie et disparition de la matrice micritique initiale entraînant une homogénéisation du silex.

Bibliographie : absente.

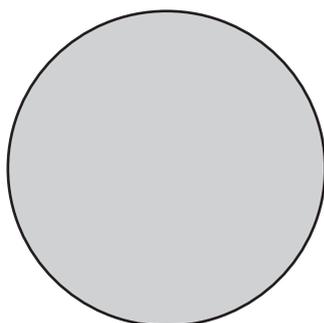
Type D1207.2

1. Vue macroscopique



tri bon

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : SAII_Ex35 et b : SAII_NM843
2. Vue binoculaire, faciès à trace de racine (rac),
ech : SAII_NM843
3. Vue binoculaire, faciès à trace de racine (rac),
ech : SAII_Ex35
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : SAII_NM843

Type : D1207.3.

Dénomination : silex lacustre blond.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : ouest du Cantal, bassin d'Aurillac (probable).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : bio-calcimicrite (probable).

Milieu de dépôt : lacustre peu profond et assez agité.

Habitus : rognons décimétriques (probable).

Cortex : indéterminé.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone silicifiée : nette et régulière.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluri-centimétrique.

Pétrofabric : allochems < 40 %.

Structure : homogène.

Composante détritique : fréquents petits (< 50 µm) intraclastes blancs ; rares gros intraclastes millimétriques micritiques - riches en petits (< 50 µm) exoclastes blancs arrondis (sph. 0,5 ; arr. 0,9) et petits fragments noirs (débris de matière organique ?) - arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,7) ; rares grains de quartz (100 µm) détritiques roulés (sph. 0,9 ; arr. 0,7).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquents fragments de tiges de characées (deux populations également réparties : Ø = 100 µm et Ø = 450 µm) et de végétaux indéterminés (Ø = 200 µm) ; rares grosses (Ø = 700 à 800 µm) gyrogonites fragmentées, sphériques, à tours peu nombreux et ornementation peu marquée (*Chara sp.* probable).

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : blonde.

Porosité : faible.

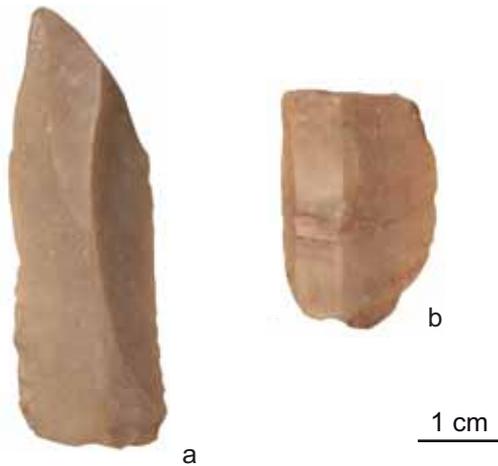
Rugosité : faible à nulle.

Altération : pas d'information.

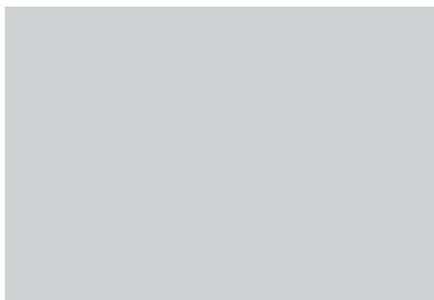
Bibliographie : absente.

Type D1207.3

1. Vue macroscopique

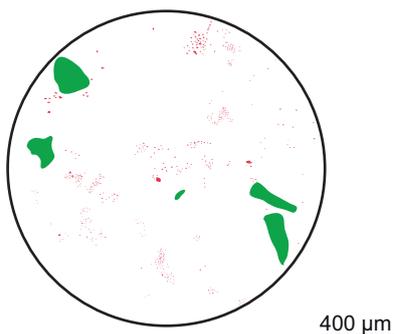


sphéricité	0,9					
	0,7					
	0,5					
	0,3					
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
		arrondi				

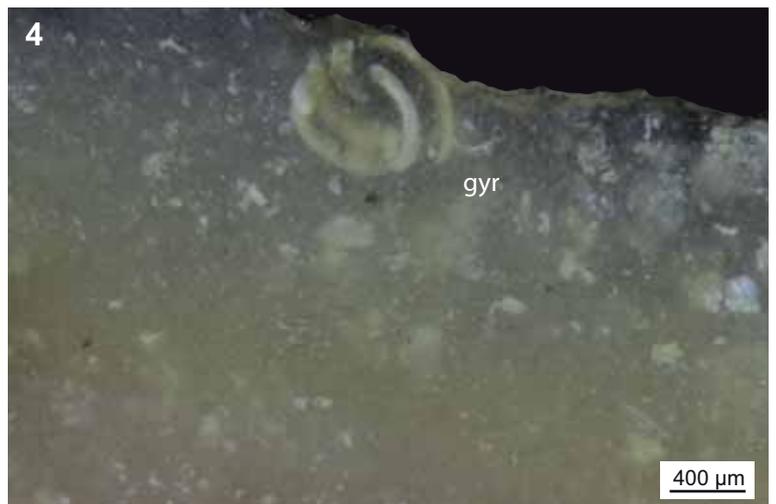
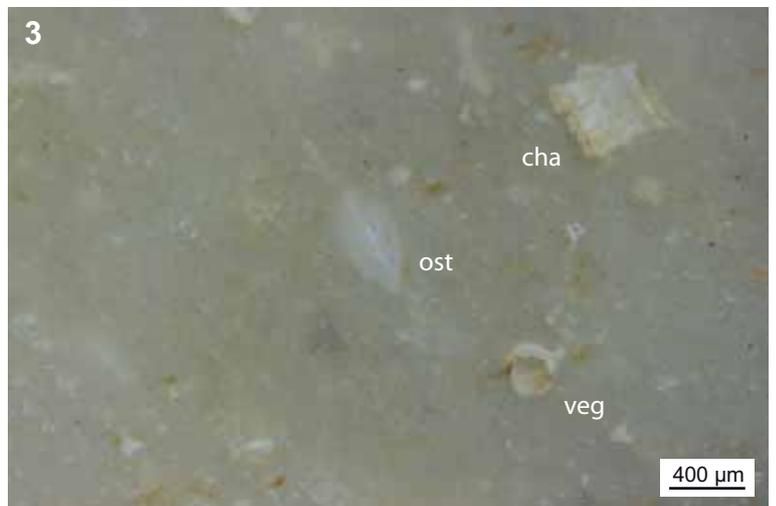


tri indéterminable

Schéma interprétatif



composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : RDB_U12F7 et b : SAI_Ax492
2. Vue binoculaire, faciès à gyrogonite (gyr) *Chara* sp. (probable) et tiges fragmentées de végétaux, ech : RDB_U12F7
3. Vue binoculaire, faciès à ostracodes (ost) et à tiges fragmentées de characées (cha) et de végétaux (veg), ech : SAI_Ax492
4. Vue binoculaire, faciès à gyrogonite (gyr) *Chara* sp. (proabable), ech : SAI_D1x145

Type : D1207.4.

Dénomination : silex lacustre brun.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : ouest du Cantal, bassin d'Aurillac (probable).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : bio-calcimicrite (probable).

Milieu de dépôt : lacustre peu profond et assez agité.

Habitus : rognons décimétriques (probable).

Cortex : pluri-millimétrique à centimétrique ; crayeux à grumeleux ; siliceux ; blanc à jaune ; porosité faible à moyenne ; fréquents moules externes de characées.

Néocortex : alluvions anciennes (érosion, altération, recristallisation fortes).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière ; fréquents golfes pluri-millimétriques induits par d'anciennes fissures dans le sédiment initial (fente de dessiccation ?) ; généralement soulignée par une fine bande millimétrique à pluri-millimétrique brune *mudstone*.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabric : allochems > 60 %.

Structure : homogène à pseudo-bréchique (en remplacement de la structure de sol initiale).

Composante détritique : abondants petits (100 à 150 µm) intraclastes blancs arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,5 - 0,9) ; rares petits (< 50 µm) grains de quartz détritiques.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquents fragments de fines valves d'ostracodes lisses ; rares grosses (Ø = 1 mm) gyrogonites, plus ou moins fragmentées, sphériques, à ornementation peu marquée ; fréquentes gyrogonites ovoïdes (Ø = 400 µm) peu fragmentées à ornementation peu marquée ; fréquentes tiges de characées (Ø = 300 µm et Ø = 50 à 100 µm) assez fragmentées ; fréquentes traces de racines.

Autre : fréquentes floculations blanches pouvant atteindre quelques millimètres qui correspondent à la désagrégation et à la moins bonne silicifications d'éléments du fond matriciel initial.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : bon.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : brune.

Couleur acquise : absente.

Porosité : faible ; la porosité initiale, les traces d'anciennes racines et les moules externes de gyrogonites sont colmatées par de la silice limpide ou en cours de remplissage par de la calcédoine.

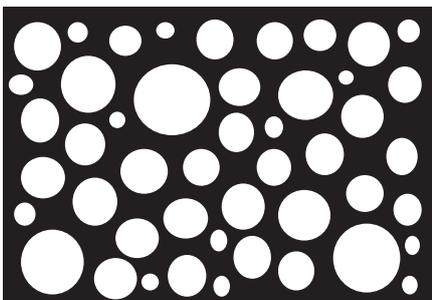
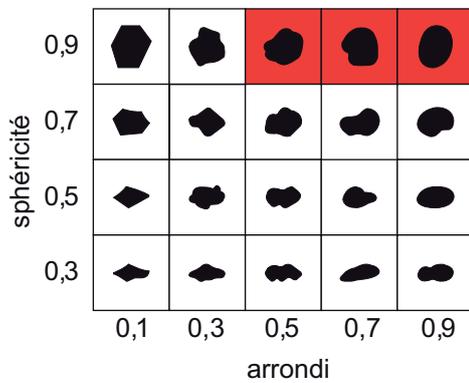
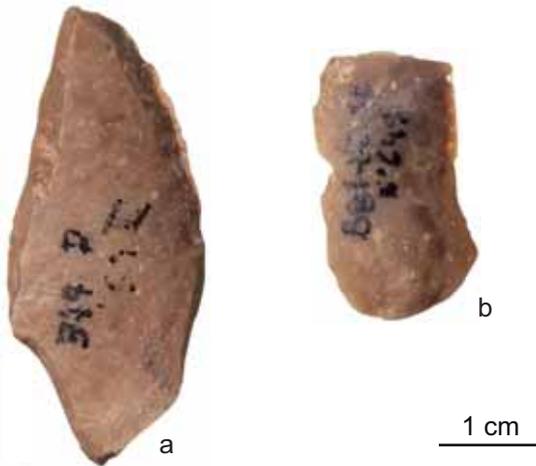
Rugosité : faible à nulle.

Altération : pas d'information.

Bibliographie : absente.

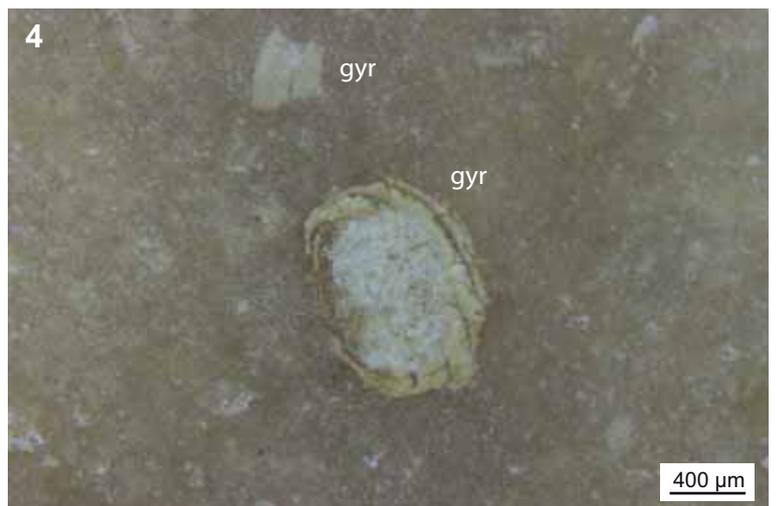
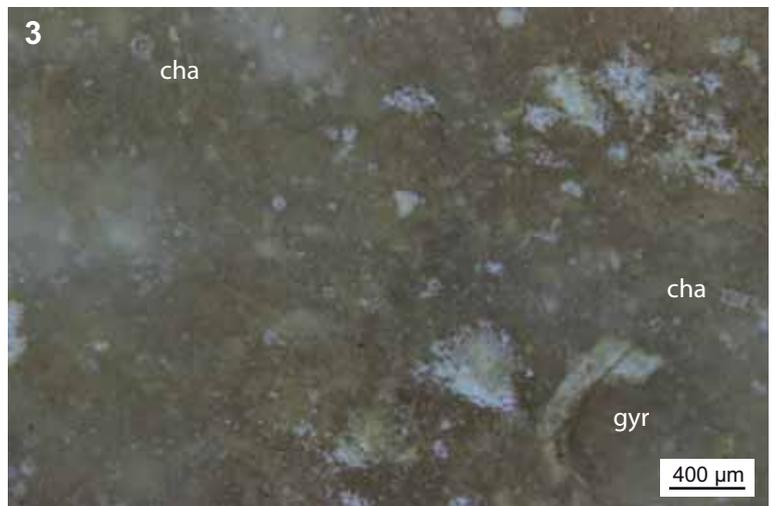
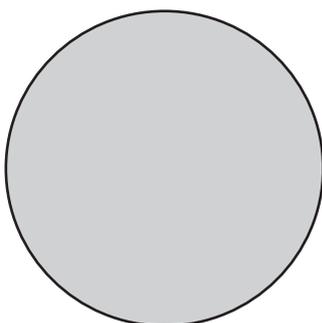
Type D1207.4

1. Vue macroscopique



tri bon

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : SAII_Dx374 et b : Blot_G2_42_649
2. Vue binoculaire, gyronite (gyr),
ech : SAII_Dx374
3. Vue binoculaire, faciès à gyronite (gyr) fragmentée et
fragments de tige de characée,
ech : Blot_G2_42_649
4. Vue binoculaire, gyronite (gyr),
ech : SAII_Lx130

Type : D1213

Dénomination : silcrète à stromatolithes et tubes de phryganes du Puy de Mur.

Origine stratigraphique primaire : Miocène.

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : Puy de Mur, Dallet (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : indéterminée.

Type de silicification : silcrète.

Protolithe : indéterminé.

Milieu de dépôt : lacustre peu profond assez agité.

Habitus : fragments de dalles et plaquettes pluricentimétriques.

Cortex : plurimillimétrique ; grumeleux à corné ; siliceux ; jaune à blanc ; porosité forte ; azoïque.

Néocortex : absent.

Limite cortex / zone endocorticale : nette et irrégulière ; fréquentes digitations, invaginations et îlots mal silicifiés plurimillimétriques dans les premiers millimètres de la zone sous-corticale.

Zone endocorticale :

Épaisseur : centimétrique

Pétrofabric : allochems > 40 %.

Structure : hétérogène.

Composante détritique : fréquents petits (< 50 µm) grains de quartz détritiques ; fréquents intraclastes (100 à 200 µm) micritiques peu arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,3 à 0,5) ; fréquents petits (< 50 µm) intraclastes très arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,9).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : rares débris noirs ligneux.

Autre : abondantes « floculations » millimétriques autour des intraclastes

Minéralogie : pas d'information.

Tri : faible.

Répartition : hétérogène.

Couleur initiale : noire.

Couleur acquise : brune.

Porosité : moyenne.

Rugosité : nulle à faible.

Altération : coloration brune acquise par oxydation de la matrice ; les *allochems* ne sont pas oxydés.

Limite zone endocorticale / zone interne : diffuse et irrégulière ; marquée par un changement colorimétrique (noir > gris) et une augmentation de la densité en *allochems* ; généralement soulignée par un front d'oxydation.

Zone interne :

Épaisseur : pluricentimétrique

Pétrofabric : allochems > 60 %.

Structure : hétérogène (en remplacement de la structure de sol initiale).

Composante détritique : fréquents petits (< 50 µm) grains de quartz détritiques ; fréquents intraclastes (100 à 200 µm) micritiques peu arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,3 à 0,5) ; fréquents petits (< 50 µm) intraclastes très arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,9).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquents tubes de phrygane (Ø = 200 µm) ; fréquents stromatolithes SS-C/LLH-C ou LLH-S fragmentés ; rares fragments (800 µm de long) de végétaux.

Minéralogie : billes de bitume (Ø = 10 µm) ; fréquentes pyrites automorphes (< 10 µm) ; rares rhomboèdres de brookite (oxyde de titane, TiO₂) (résultats obtenus par analyse RAMAN).

Tri : faible.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : brune.

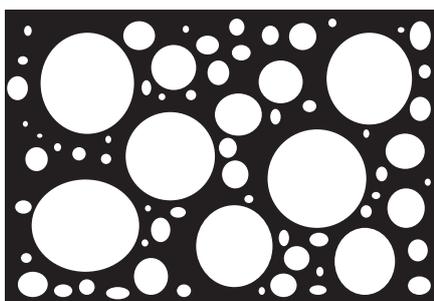
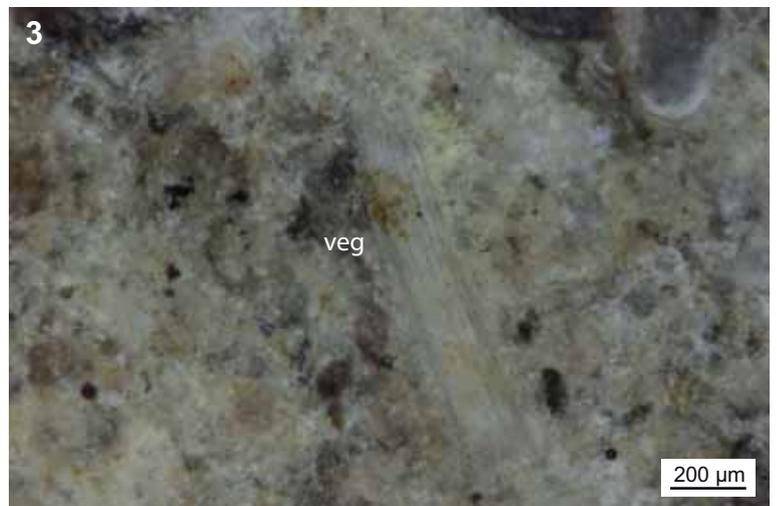
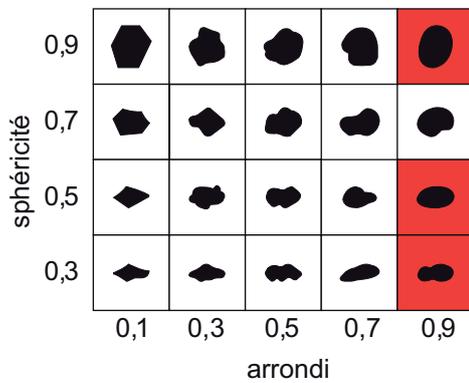
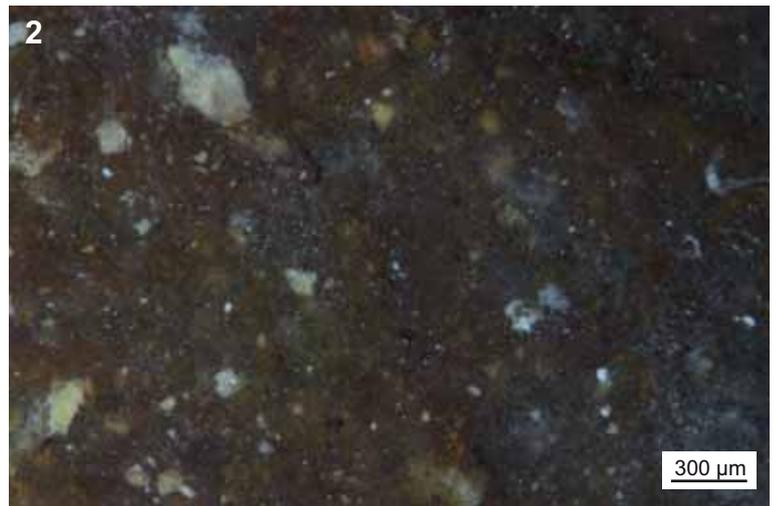
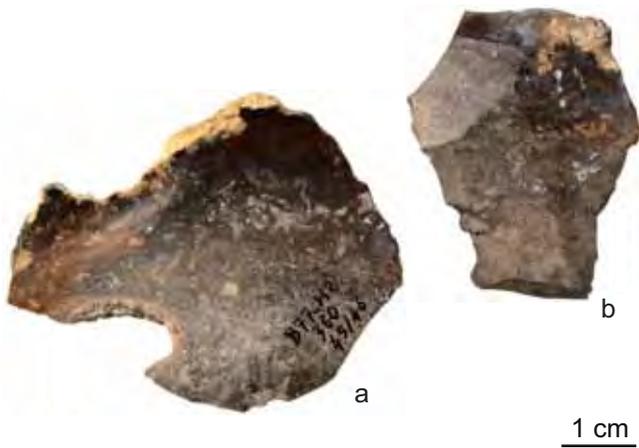
Porosité : faible.

Rugosité : faible.

Altération : transformation (épigénie ? remplissage ?) des billes bitumineuses et des pyrites par des oxydes de fer.

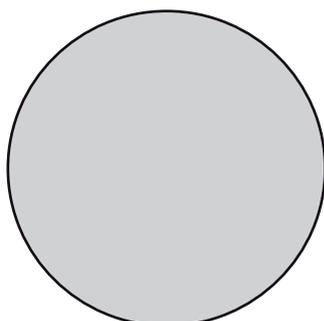
Bibliographie : Giraud 1902 ; Estève 1942 ; Dufresne 1999.

1. Vue macroscopique



tri faible

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : Blot_H2_45/46_360 et b : Blot_J2_42_1829
2. Vue binoculaire, faciès zone endocorticale, ech : Blot_H2_45/46_360
3. Vue binoculaire, faciès zone interne à tige de végétal (veg), ech : Blot_J2_42_1829
4. Vue binoculaire, faciès zone interne à stromatolithe LLH-C (str), ech : Blot_J2_42_1829

Type : D1306.

Dénomination : silex lacustre de Laps.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : niveau supérieurs de Laps (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex.

Protolithe : dolomicrite.

Milieu de dépôt : lacustre à palustre relativement calme.

Habitus : fragments de dalles décimétriques.

Cortex : pluri-millimétrique à pluri-centimétrique ; grumeleux ; siliceux ; blanc ; à porosité faible à moyenne ; azoïque.

Néocortex : indéterminé.

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière, présence d'îlots millimétriques mal silicifiés dans la zone sous-corticale.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluri-centimétrique (probable).

Pétrofabric : allochems > 50%.

Structure : grossièrement litée.

Composante détritique : fréquents intraclastes blancs (200 à 300 µm) anguleux (sph. 0,5 ; arr. 0,3) ou arrondis (sph. 0,5 ; arr. 0,9) ; fréquents intraclastes (agrégats) blancs anguleux (sph. 0,9 ; arr. 0,1) infra-millimétriques à millimétriques.

Composante chimique : rares petits (100 µm) pellets.

Composante biologique : fréquents fragments de thalles ; fréquents fragments de tiges de végétaux indéterminés, rares stromatolithes LLH-C peu fragmentés.

Minéralogie : fréquentes petits (< 50 µm) rhomboèdres de dolomies authigènes.

Tri : modéré.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : noire.

Couleur acquise : brune.

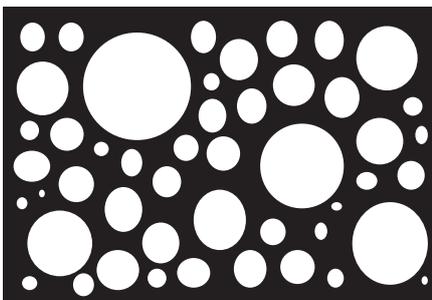
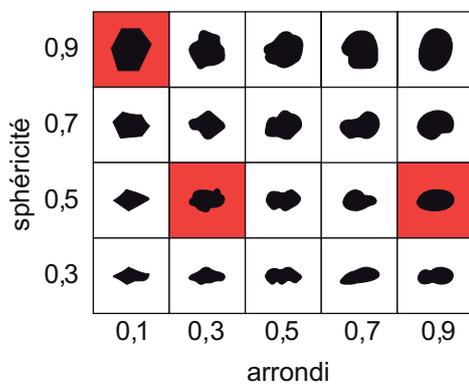
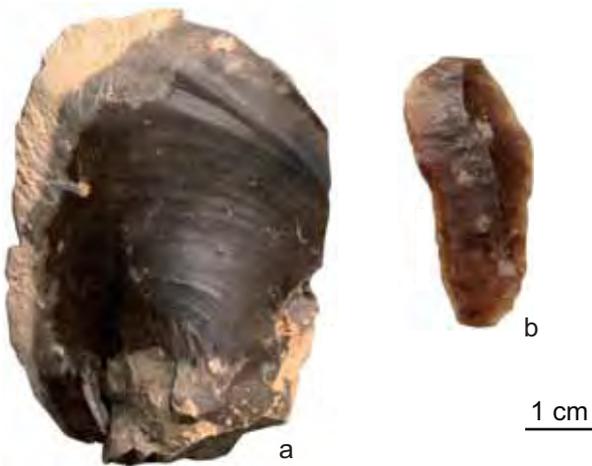
Porosité : nulle.

Rugosité : faible.

Altération : la « lamination » est soulignée par des fronts d'oxydation ; les stromatolithes sont partiellement épigénisés ; la matrice est teintée par les oxydes ; les *allochems* demeurent blancs.

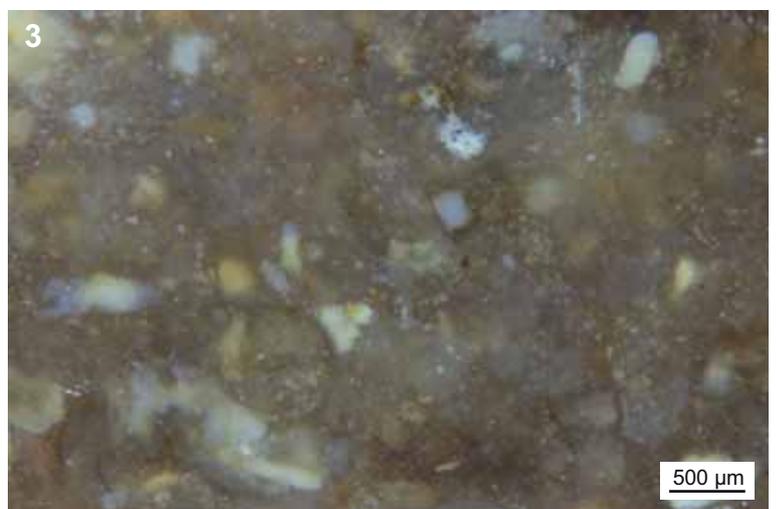
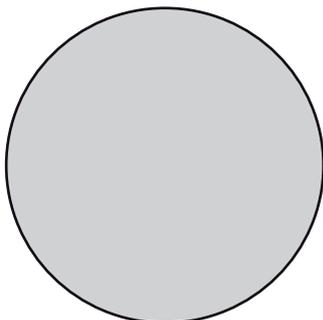
Bibliographie : Giraud 1902 ; Estève 1942 ; Rudel 1966 ; Masson 1981a ; Dufresne 1999 ; Fernandes *et al.* 2008a, 2014c ; Fernandes 2012.

1. Vue macroscopique



tri modéré

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RAT_1843
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Laps, 63)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : RAT_1843
4. Vue binoculaire, fragment de thalle (tha),
ech : RAT_1843

Type : D1410.

Dénomination : silcrète translucide à *typha* de Vaux.

Origine stratigraphique primaire : fin Éocène - début Oligocène.

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : Les Champs d'Argentières, Vaux (Allier). Nous avons retrouvé un faciès semblable à celui des Champs d'Argentières aux Gravoche, commune de Quincy (Cher). Une origine plus septentrionale, en aval du Cher et dans le Bourbonnais, est donc envisageable pour ce type.

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silcrète pédogénétique.

Protolithe : indéterminé.

Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : fragments de dalles et blocs pluri-centimétriques à décimétriques.

Cortex : infra-millimétrique ; pulvérulent et corné ; blanc ; siliceux ; à faible porosité ; azoïque.

Néocortex : indéterminé.

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière ; parfois soulignée par des dépôts d'oxydes sous forme de petites billes noires infra-millimétriques (100 µm) ; présence d'invaginations témoins d'anciens réseaux racinaires.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluri-centimétrique.

Pétrofabrique : indéterminable.

Structure : homogène.

Composante détritique : absente.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondantes traces de racines (*typha*), en cours de colmatage et d'épigénie, soulignées par de la silice blanche (opale) ou colmatées par des oxydes (noirs).

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : incolore.

Couleur acquise : brune.

Porosité : moyenne ; les traces de racines sont parfois vides et non colmatées.

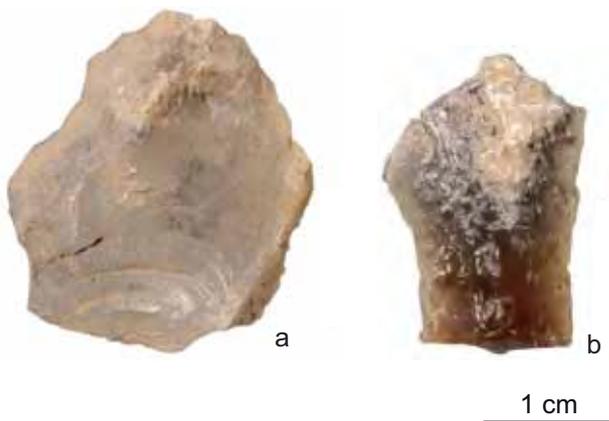
Rugosité : nulle.

Altération : absente.

Bibliographie : Fernandes *et al.* 2008c ; Delvigne *et al.* 2013.

Type D1410

1. Vue macroscopique

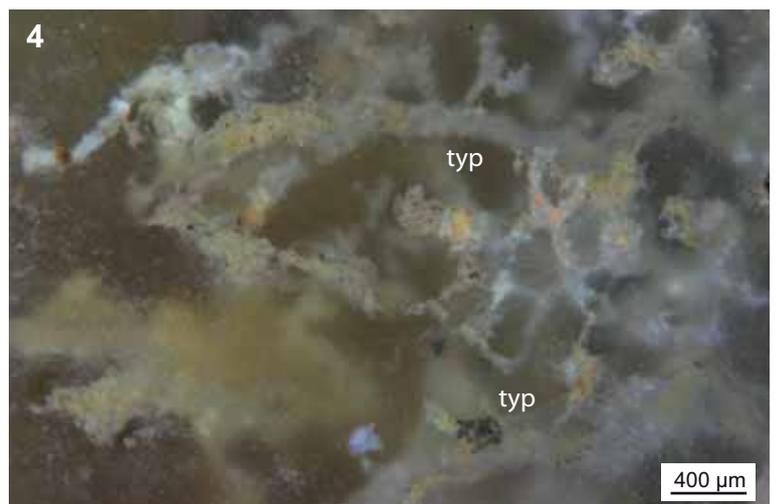
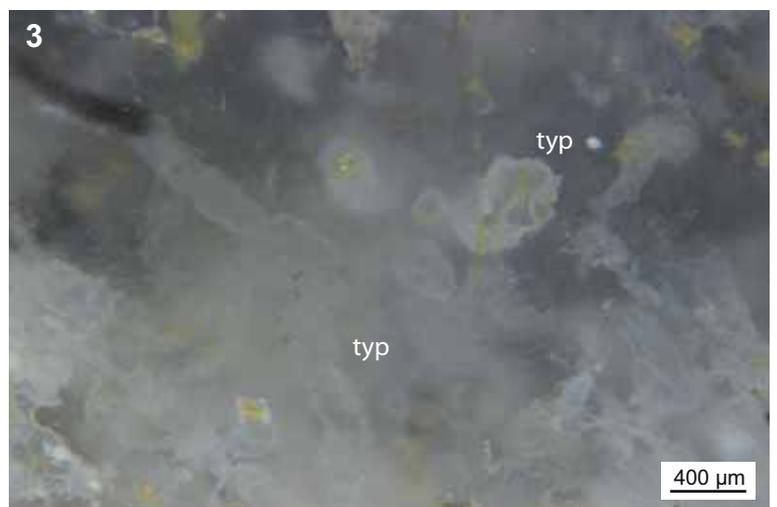
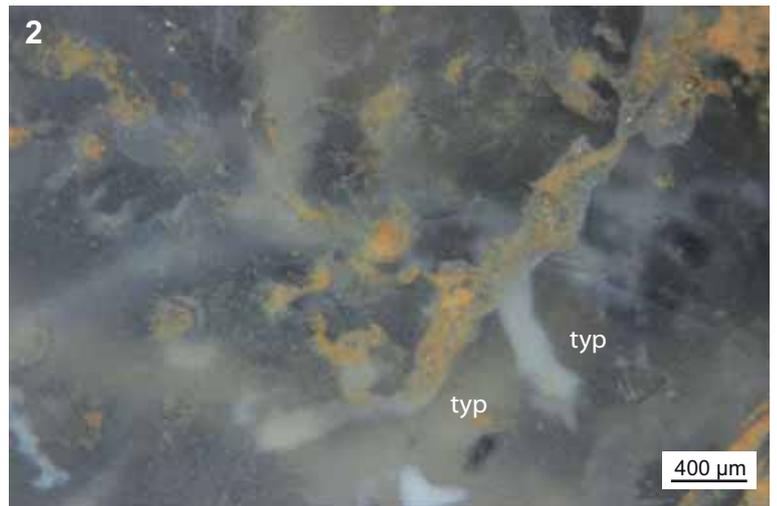
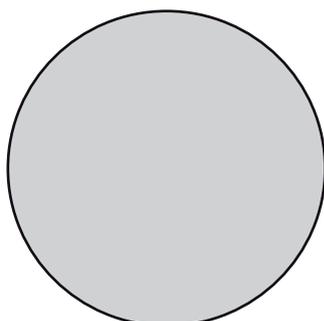


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
sphéricité	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : SAII_NM2266 et b : RDB_1DF416
2. Vue binoculaire, faciès à typha (typ),
ech : SAII_D1x17
3. Vue binoculaire, faciès à typha (typ),
ech : SAII_NM2266
4. Vue binoculaire, faciès à typha (typ),
ech : RDB_1DF416

Type : D1418 ; possible « Type 32 » de A. Masson (1981) ; « Type F7a » de P. Fernandes et J.-P. Raynal (2007).

Dénomination : silex palustre évolué des alluvions anciennes du Bassin du Puy.

Origine stratigraphique primaire : fin Éocène - début Oligocène.

Origine stratigraphique secondaire : plio-quadernaire.

Origine géographique primaire : indéterminée.

Origine géographique secondaire : alluvions infra-basaltiques plio-quadernaires, Le Monteil (Haute-Loire).

Type de silicification : silex.

Protolithe : indéterminé.

Milieu de dépôt : palustre à lacustre.

Habitus : galets pluricentimétriques à décimétriques (probable).

Cortex : absent.

Néocortex : alluvions anciennes (érosion forte, dissolution totale, recristallisation forte, patine brune et noire ; poli alluvial).

Limite cortex / zone silicifiée : absente.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétriques.

Pétrofabrique : allochems < 25%.

Structure : hétérogène.

Composante détritique : abondants éléments homométriques (100 µm) oxydés et arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,9).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : rares petits (< 50 µm) éléments ligneux ; rares fragments de tiges ; très rares petites gyrogonites ovoïdes à tours nombreux et ornementation peu marquée (*Techtochara* sp., probable).

Minéralogie : rares sphérolithes millimétriques oxydées.

Tri : très bon.

Répartition : hétérogène.

Couleur initiale : incolore.

Couleur acquise : orange à brune.

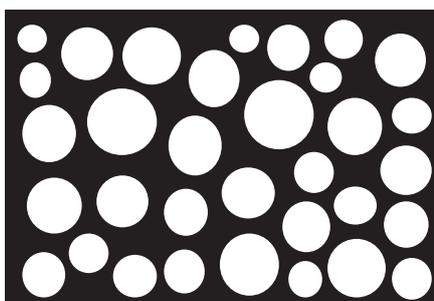
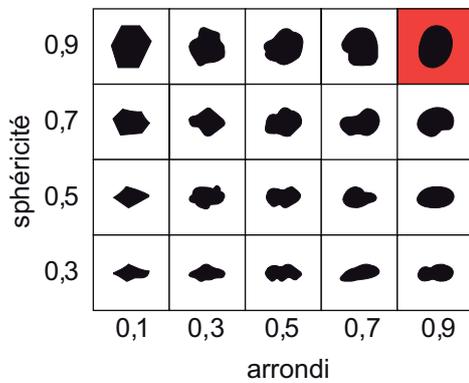
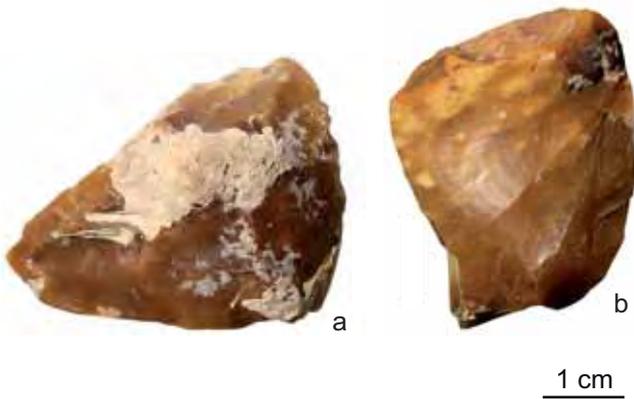
Porosité : faible ; diaclases tardives colmatées par de la silice limpide.

Rugosité : faible.

Altération : oxydation très forte de la matrice et des éléments figurés ; rares dendrites ferriques ; fréquentes ponctuations ferriques.

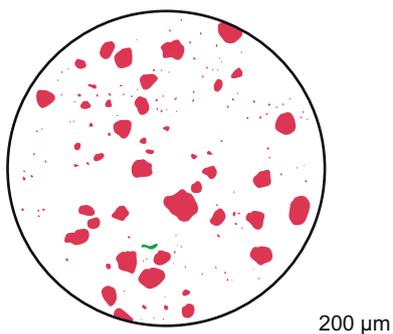
Bibliographie : Masson 1981a ; Fernandes 2006 ; 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes et al. 2008a.

1. Vue macroscopique



tri très bon

Schéma interprétatif



composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : RDB_3CF428 et b : SAI1_D1x13
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_3CF428
3. Vue binoculaire, faciès à gyrogonite (gyr) *Techtochara sp. (?)*,
ech : SAI1_D1x13
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : SAI1_D1x13

Type : D1424.

Dénomination : silex lacustre à nombreuses *Techtochara*.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène.

Origine stratigraphique secondaire : Plio-quatenaire (probable).

Origine géographique primaire : Bassin d'Aurillac.

Origine géographique secondaire : Bassin d'Aurillac, alluvions anciennes du Puy Courni.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : bio-calcimicrite (probable).

Milieu de dépôt : lacustre peu profond et assez agité.

Habitus : galets pluricentimétriques à décimétriques (probable).

Cortex : indéterminé.

Néocortex : alluvions anciennes (probable).

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique (probable).

Pétrofabric : allochems < 30 %.

Structure : hétérogène.

Composante détritique : rares grains de quartz détritiques (50 µm) arrondis (sph. 0,5 ; arr. 0,9) ; présence de petits (< 50 µm) éléments blancs.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondantes petites (300 µm) gyrogonites ovoïdes à tours nombreux et ornementation peu marquée (*Techtochara sp.*) ; fréquents fantômes de tiges de végétaux.

Autre : grandes floculations issues de la désagrégation d'anciens intraclastes (boue micritique initiale) en cours d'épigénie.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : bon.

Répartition : hétérogène ; les gyrogonites semblent regroupées en paquets.

Couleur initiale : indéterminée.

Couleur acquise : orange-brun.

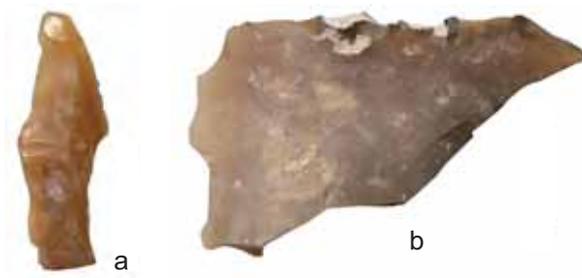
Porosité : nulle.

Rugosité : faible.

Altération : fréquentes ponctuations et petites dendrites ferriques ; forte oxydation de la matrice (coloration orange) ; remplissage des *allochems* (notamment des tiges de végétaux) ; certaines gyrogonites sont épigénisées par des microquartz.

Bibliographie : Gibert 1972 ; Park 1973 ; Rey 1971 ; Brousse *et al.* 1980 ; Pasty *et al.* 1999 ; Fernandes *et al.* 2008c ; Fernandes 2012.

1. Vue macroscopique

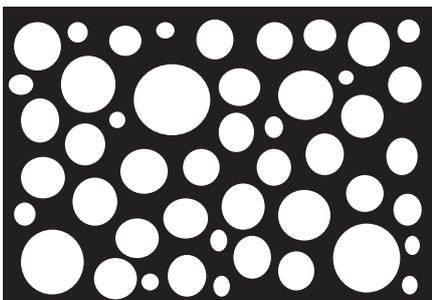


1 cm

0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9

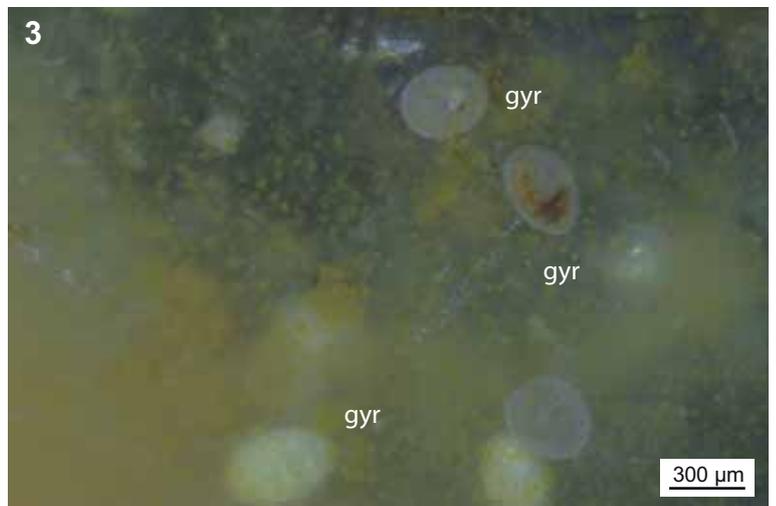
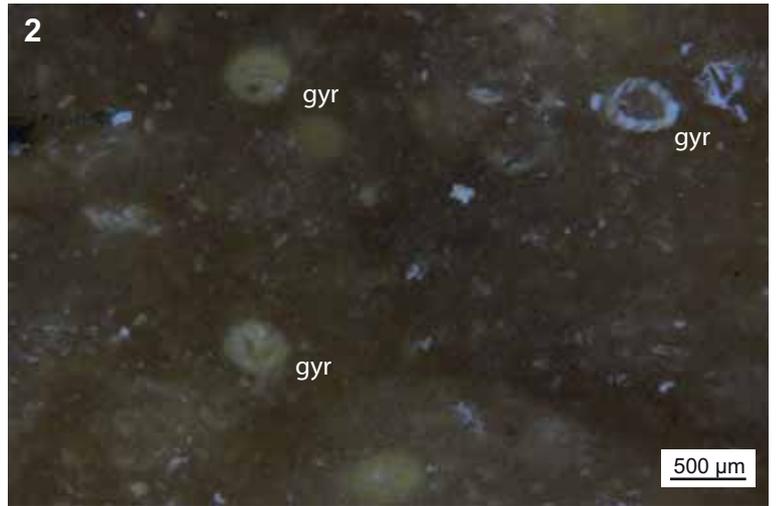
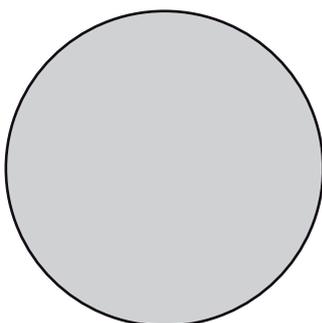
sphéricité

arrondi



tri bon

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : SAII_NM3349 et b : géologique
2. Vue binoculaire, faciès à gyrogonites (*Techtochara sp.*) (gyr), ech : géologique (carrière Coissy, Aurillac, 15)
3. Vue binoculaire, faciès à gyrogonites (*Techtochara sp.*) (gyr), ech : SAII_NM853
4. Vue binoculaire, faciès à gyrogonites (*Techtochara sp.*) (gyr), ech : SAII_NM3349

Type : D1436.

Dénomination : silex gris à cyanobactéries encroutées de Chauriat

Origine stratigraphique primaire : Oligocène supérieur.

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pleistocène.

Origine géographique primaire : Puy de Pileyre, Chauriat (Puy-de-Dôme)¹.

Origine géographique secondaire : Colluvions des formations oligocènes du Puy de Pileyre. La répartition géographique de ce faciès est probablement plus vaste.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : marno-calcaire.

Milieu de dépôt : lacustre à palustre.

Habitus : plaquettes plurimillimétriques.

Cortex : millimétrique à plurimillimétrique (jusqu'à 5 mm) ; grumeleux ; siliceux ; blanc à jaune ; à porosité moyenne ; constitué exclusivement de cyanobactéries encroutées qui forment les aspérités du cortex.

Néocortex : colluvions (érosion moyenne ; altération faible).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et régulière

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabric : *boundstone*.

Structure : grossièrement litée ; les lits, centimétriques, sont marqués par une variation de la densité en *allochems*, les plus clairs sont exclusivement composés de cyanobactéries, les plus sombres (gris) sont moins denses et laissent transparaître la matrice micritique initiale ; la limite entre les lits est diffuse et irrégulière.

Composante détritique : rares petits (< 50 µm) éléments blancs.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondantes cyanobactéries encroutées (400 µm de long suivant l'axe d'allongement maximal) ; fréquentes petites ponctuations ou « tubes » sombres que nous attribuons à des débris ligneux (fragments de tiges).

Minéralogie : pas d'information.

Tri : très bon.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : brune.

Porosité : faible ; présence anecdotique de macroporosités dans la zone sous corticale.

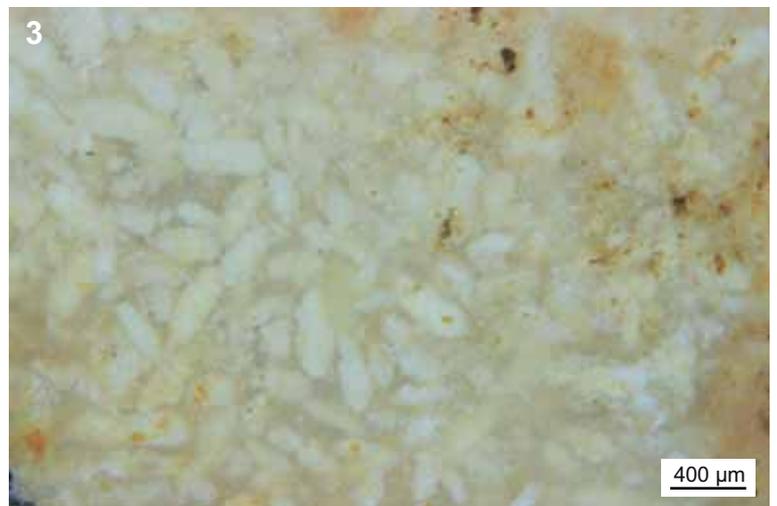
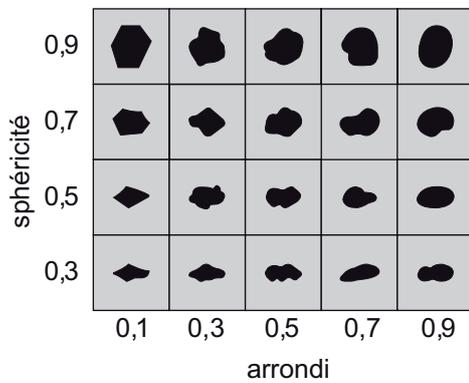
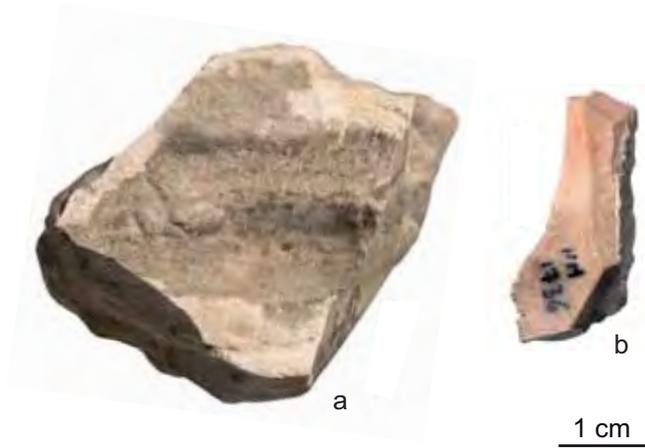
Rugosité : nulle à faible.

Altération : désagrégation partielle des encroûtements des cyanobactéries ; oxydation de la matrice et des *allochems* ; rares dendrites ferriques dans la macroporosité de la zone sous corticale.

Bibliographie : Giraud 1902 ; Aubert *et al.* 1982.

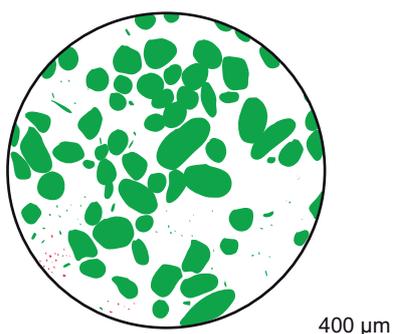
¹ Un faciès similaire à grosses cyanobactéries encroutées est connu au Nord de Pignols (Puy-de-Dôme) sous la forme d'une dalle d'épaisseur pluricentimétrique (5 cm).

1. Vue macroscopique

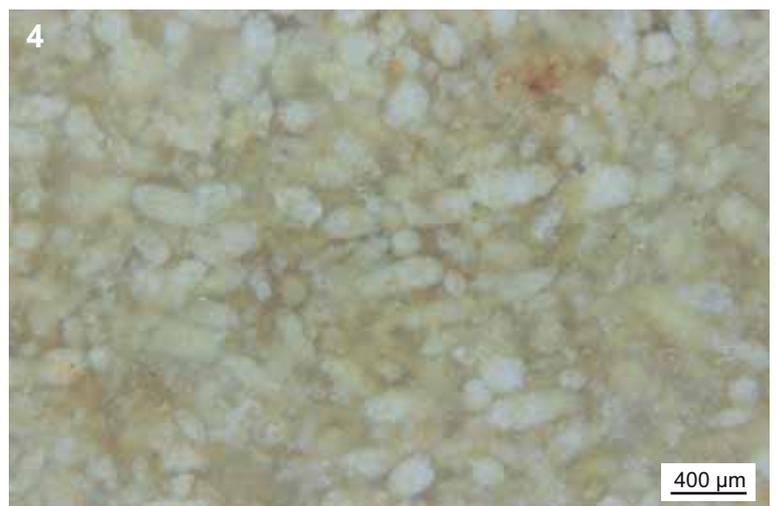


tri indéterminable

Schéma interprétatif



composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : SAII_NM1736
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Chauriat, 63)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : SAII_MxNM886
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : SAII_NM1736

Type : F0003.1 ; « silex noirs du Puy » de C. Torti (1980) ; « Type 11 » de A. Masson (1981a) ; « Type F3 » de P. Fernandes (2006, 2012).

Dénomination : silex noir du bassin du Puy.

Origine stratigraphique primaire : Stampien, Oligocène inférieur.

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : vallée de la Borne, (Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : colluvions plio-pléistocènes de la vallée de la Borne ; alluvions anciennes de la Borne et du Bassin du Puy-en-Velay ; alluvions anciennes infra-basaltiques du bassin du Puy-en-Velay.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : bio-calcimicrite lacustre.

Milieu de dépôt : lacustre peu profond et assez calme.

Habitus : plaquettes épaisses (pluri-centimétriques) ; rognons aplatis, réguliers, pluricentimétriques à décimétriques (R. Liabeuf a collecté un rognon de 25 x 15 x 5 cm).

Cortex : pluricentimétrique ; crayeux ; carbonaté ; blanc ; à porosité moyenne ; porte de fréquents moules internes de tiges de characées et moules externes d'ostracodes et de gyrogonites (*cf. infra*).

Néocortex : colluvions (érosion > altération) ; altérites (altération > érosion) ; alluvial (érosion forte, altération forte, recristallisation faible, porte un poli fluvial) ; alluvions anciennes (érosion forte, altération forte, recristallisation forte parfois épaisse) ; alluvions anciennes infra-basaltiques (érosion forte, altération forte, recristallisation absente à moyenne ; porte une patine noire totale) ; atypique (des rognons et plaquettes présentent une zone corticale portant les stigmates d'un séjour en milieu fluvial et une zone, opposée, non altérée, un tel type de cortex témoigne d'une collecte sur un gîte primaire situé dans le lit de la Borne).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et très irrégulière ; marquée par de fréquentes invaginations plurimillimétriques (témoins de macroporosité induite par les fragments de tiges) et par des golfes millimétriques ; présence d'îlots carbonatés millimétriques dans la zone sous corticale.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrique : allochems > 70%.

Structure : bioturbée.

Composante détritique : abondants petits (< 50 µm) éléments blancs ; fréquents petits (100 à 200 µm) intraclastes blancs anguleux (sph. 0,5 - 0,7 ; arr. 0,3) ; rares intraclastes plurimillimétriques, micritiques, blanc-gris.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquentes tiges de characées fragmentées ; fréquence variable de petites (200 µm) gyrogonites ovoïdes à tours nombreux et ornementation peu marquée (*Rhabdochara Stomansi sp.* et *Nitellopsis Tectochara meriani*) ; fréquence variable de fragments d'ostracodes lisses à test fin ; très rares gastéropodes entiers (Hydrobie).

Autre : fréquentes floculations blanches millimétriques à plurimillimétriques ; fréquentes zones mal silicifiées plurimillimétriques.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : modéré.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : noire.

Couleur acquise : brune.

Porosité : faible à moyenne ; macroporosité et cœur des gyrogonites recristallisés par de la calcédoine translucide (Fernandes et Raynal 2007).

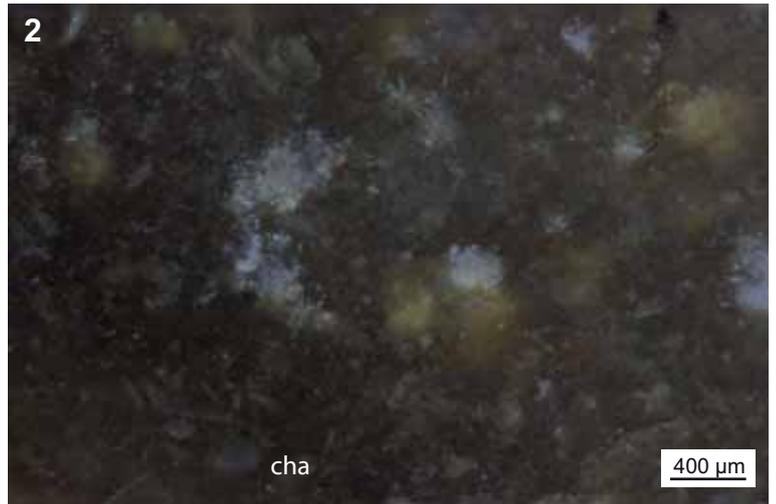
Rugosité : nulle à moyenne.

Altération : révélation d'une zonation par oxydation de la matrice (coloration brune) ; épigénie partielle et mise en exergue progressive des *allochems*.

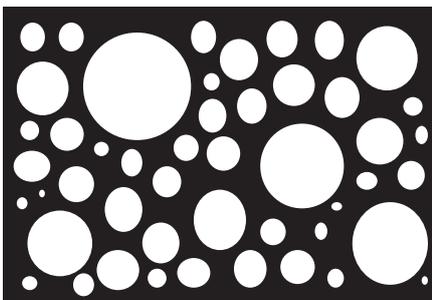
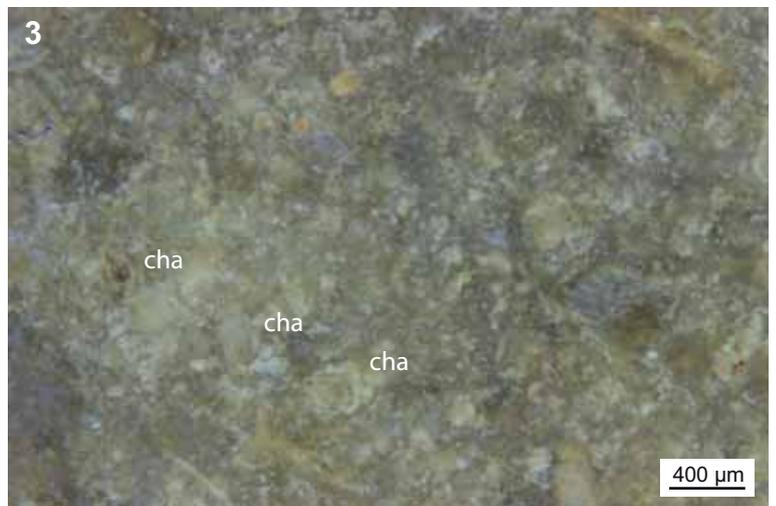
Bibliographie : Torti 1980 ; Masson 1981a ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

Type F0003.1

1. Vue macroscopique

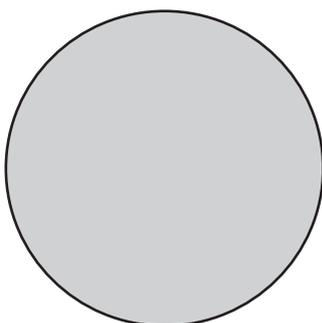


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri modéré

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : SAIL_Dx540
2. Vue binoculaire, faciès à tiges de characées (cha),
ech : géologique (Espaly-Saint-Marcel, 43)
3. Vue binoculaire, faciès à tiges de characées (cha),
ech : SAIL_Dx540
4. Vue binoculaire, faciès à Hydrobie (Hyd),
ech : SAIL_Cx1074

Type : F0003.2 ; « silex gris de la Borne » de C. Torti (1980) ; « Type 11 » de A. Masson (1981a) ; « Type F3b » de P. Fernandes (2006 ; 2012).

Dénomination : silex gris de la vallée de la Borne.

Origine stratigraphique primaire : Stampien, Oligocène inférieur.

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : vallée de la Borne, proche des Chazeaux, Borne (Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : alluvions anciennes de la Borne et du Bassin du Puy-en-Velay ; Alluvions anciennes infra-basaltiques du bassin du Puy-en-Velay.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : bio-calcimicrite lacustre.

Milieu de dépôt : lacustre peu profond et assez calme.

Habitus : plaquettes épaisses (pluricentimétriques) ; rognons aplatis, réguliers, pluricentimétriques à décimétriques.

Cortex : pluri-centimétrique ; crayeux ; carbonaté ; blanc ; à porosité moyenne ; porte de fréquents moules internes de tiges de characées et moules externes d'ostracodes et de gyrogonites (*cf. infra*).

Néocortex : altérites (altération > érosion) ; alluvial (érosion forte, altération forte, recristallisation faible, porte un poli fluvial) ; alluvions anciennes (érosion forte, altération forte, recristallisation forte parfois épaisse) ; alluvions anciennes infra-basaltiques (érosion forte, altération forte, recristallisation absente à moyenne ; porte une patine noire totale).

Limite cortex / zone endocorticale : nette et irrégulière ; marquée par de fréquentes invaginations pluri-millimétriques et par des golfes millimétriques.

Zone endocorticale :

Épaisseur : plurimillimétrique, rarement centimétrique.

Pétrofabrication : allochems > 70 %.

Structure : homogène.

Composante détritique : abondants petits (< 50 µm) éléments blancs ; fréquents petits (100 à 200 µm) intraclastes blancs anguleux (sph. 0,5 - 0,7 ; arr. 0,3).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : rares tiges de characées, gyrogonites et petits ostracodes (*infra*).

Minéralogie : pas d'information.

Tri : modéré.

Répartition : homogène, la faible densité de la composante biologique résulte de l'étroitesse de la zone endocorticale.

Couleur initiale : noire.

Couleur acquise : brune.

Porosité : faible.

Rugosité : faible à nulle.

Altération : imprégnation de la matrice par des oxydes ferriques (ponctuations jaunes).

Limite zone endocorticale / zone interne : diffuse et irrégulière marquée par un changement colorimétrique (noir > gris).

Zone interne :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrication : allochems > 70 %.

Structure : très bioturbée.

Composante détritique : abondants petits (< 50 µm) éléments blancs ; fréquents petits (100 à 200 µm) intraclastes blancs anguleux (sph. 0,5 - 0,7 ; arr. 0,3) ; rares intraclastes plurimillimétriques, micritiques, blanc-gris.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquentes tiges de characées peu fragmentées ; fréquents moules externes de gyrogonites (*Rhabdochara Stomansi sp.* et *Nitellopsis Tectochara meriani*) ; fréquents moules externes de petits ostracodes lisses à test fin entiers ; très rares gastéropodes (*Melanopsidae sp.*, probable).

Tri : modéré.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : indéterminée.

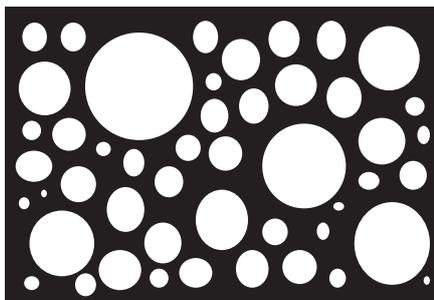
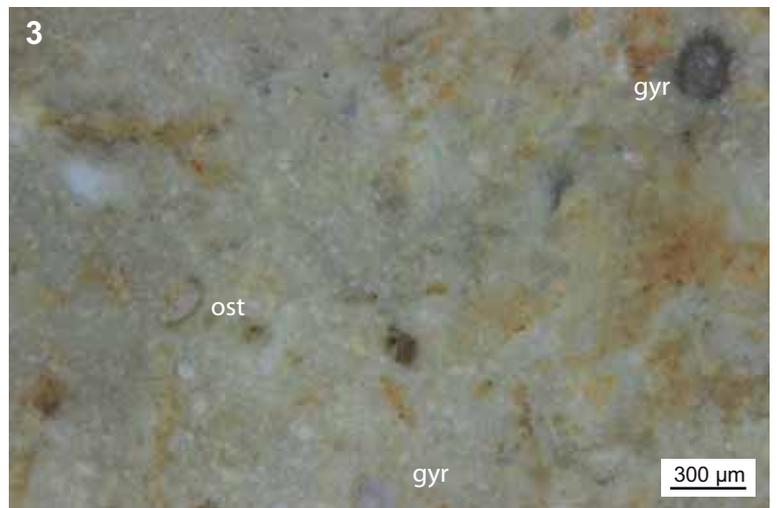
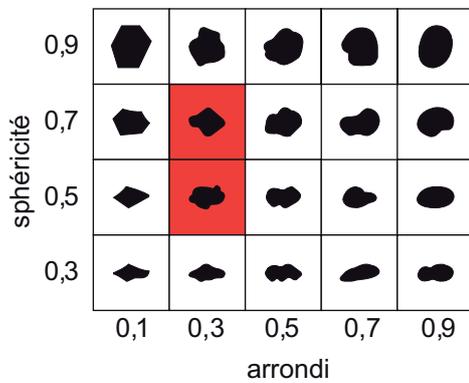
Porosité : faible ; macroporosité et cœur des gyrogonites rempli par de la silice limpide.

Rugosité : nulle à moyenne.

Bibliographie : Torti 1980 ; Masson 1981a ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

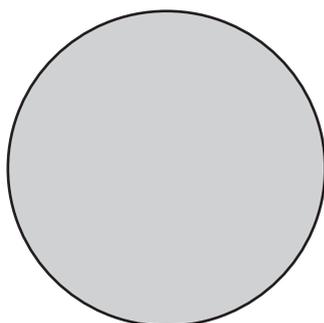
Type F0003.2

1. Vue macroscopique



tri modéré

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : RDB_1BF554 et b : SAll_D1x40
2. Vue binoculaire, faciès à ostracode (ost) et tige de characées (cha), ech : RDB_1BF554
3. Vue binoculaire, faciès à gyrogonites (gyr) et ostracode (ost), ech : SAll_D1x40
4. Vue binoculaire, faciès à Hydrobie (Hyd), gyrogonite (gyr) et ostracode (ost), ech : SAll_DxNM748

Type : F0003.3 ; « silex de la Table des Muses » de C. Torti (1980) ; « Type 11 » de A. Masson (1981a) ; « Type F3c » de P. Fernandes (2006, 2012).

Dénomination : silex brun de la vallée de la Borne.

Origine stratigraphique primaire : Stampien, Oligocène inférieur.

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : vallée de la Borne, environ de Saint-Vidal (Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : colluvions plio-pléistocènes de la vallée de la Borne ; alluvions anciennes de la Borne et du Bassin du Puy-en-Velay ; Alluvions anciennes infra-basaltiques du bassin du Puy-en-Velay.

Type de silicification : silex lacustre.

Protolithe : bio-calcimicrite lacustre.

Milieu de dépôt : lacustre peu profond et assez calme.

Habitus : plaquettes épaisses (pluricentimétriques) ; rognons aplatis, réguliers, pluri-centimétriques à décimétriques ; plaquettes roulées pluri-centimétriques.

Cortex : pluricentimétrique ; crayeux et régulier ; carbonaté ; blanc ; à porosité moyenne ; porte de fréquents moules internes de tiges de characées et moules externes d'ostracodes et de gyrogonites.

Néocortex : colluvions (érosion > altération) ; altérites (altération > érosion) ; alluvial (érosion forte, altération forte, recristallisation faible, porte un poli fluvial) ; alluvions anciennes (érosion forte, altération forte, recristallisation forte parfois épaisse) ; alluvions anciennes infra-basaltiques (érosion forte, altération forte, recristallisation absente à moyenne ; porte une patine noire totale).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et régulière.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrique : allochems < 80 %.

Structure : homogène à discrètement zonée, le cœur du silex étant plus sombre que sa périphérie.

Composante détritique : fréquents petits (< 50 µm) éléments indéterminés ; fréquents petits (100 à 200 µm) intraclastes blancs anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,1 - 0,3).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondantes tiges de characées fragmentées ou écrasées en place ; fréquentes petites (200 µm) gyrogonites ovoïdes entières, à tours nombreux et ornementation peu marquée (*Rhabdochara Stomansi* sp. et *Nitellopsis Tectochara meriani*) ; fréquents fragments d'ostracodes lisses à test fin de plus grandes dimensions que dans F0003.1.

Autre : rares zones mal silicifiées millimétriques identifiables à l'œil nu (ponctuation grisâtre).

Minéralogie : pas d'information.

Tri : modéré.

Répartition : les bioclastes semblent moins fragmentés vers le cœur du silex.

Couleur initiale : noire à brune ; résultat d'une oxydation précoce de la matrice dans le gîte primaire¹.

Couleur acquise : indéterminée.

Porosité : faible à moyenne ; macroporosité et cœur des gyrogonites recristallisés par de la silice limpide.

Rugosité : nulle.

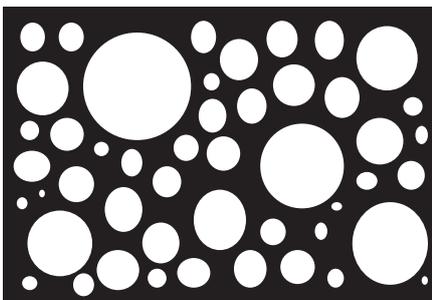
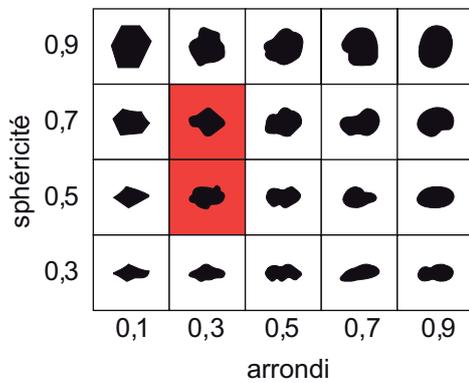
Altération : matrice et *allochems* fortement imprégnés par de la goéthite et de l'hématite dans les premiers temps de la post-génèse (Fernandes et Raynal 2007) ; certains clastes restent blancs.

Bibliographie : Torti 1980 ; Masson 1981a ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

¹ À ne pas confondre avec le type F0003.1 évolué dans les alluvions anciennes infra-basaltiques, qui acquiert sa couleur tardivement dans le gîte secondaire. La densité en *allochems* (notamment en tiges de characées) et leur degré de fragmentation (notamment des ostracodes) permettent de distinguer ces deux types dans la plupart des cas.

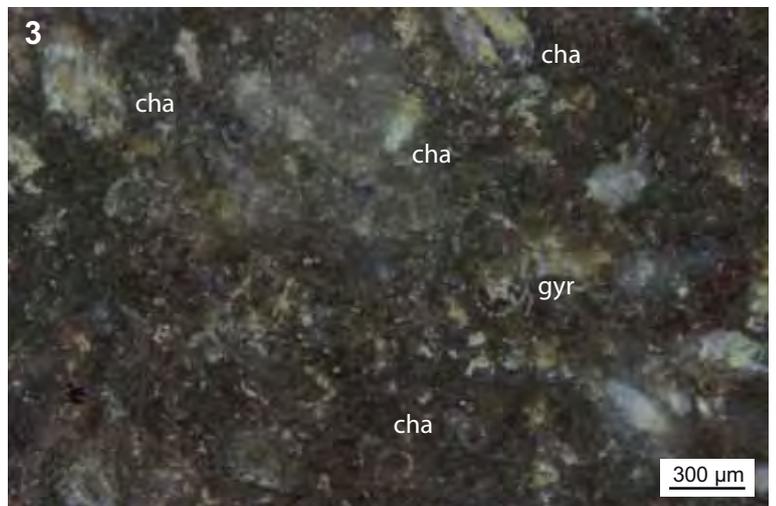
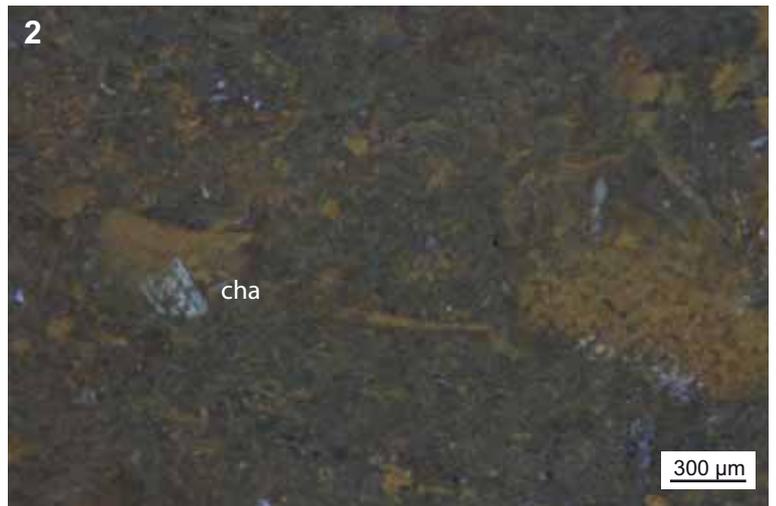
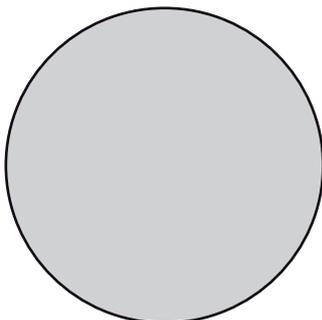
Type F0003.3

1. Vue macroscopique



tri modéré

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : RDB_1AF522 et b : géologique
2. Vue binoculaire, faciès à tiges de characées (cha), ech : géologique (Saint-Vidal, 43)
3. Vue binoculaire, faciès à tiges de characées (cha) et gyrogonite (gyr), ech : RDB_1AF522
4. Vue binoculaire, faciès à tiges de characées (cha), ech : SAIL_CxNM1544

Type : F0004 ; « silex de la Collange » de C. Torti (1980) ; « Type 43 » de A. Masson (1981a) ; « Type F4 » de P. Fernandes (2006 ; 2012).

Dénomination : silcrète blond de la Collange.

Origine stratigraphique primaire : fin-Éocène - début-Oligocène (?).

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : La Collange ; Lantriac (Haute-Loire)

Origine géographique secondaire : Colluvions pléistocènes en aval de la Collange ; alluvions anciennes de la Laussonne et de la Loire (ex : Coubon) ; alluvions anciennes du bassin du Puy-en-Velay (ex : Le Monteil).

Type de silicification : silcrète pédogénétique.

Protolithe : sable et grès fini-crétacés de la Collange.

Milieu de dépôt : continental.

Habitus : nodules irréguliers pluricentimétriques à décimétriques.

Cortex : millimétrique ; corné et irrégulier ; siliceux ; blanc à jaune ; à porosité moyenne ; ne porte pas de fossiles.

Néocortex : colluvions (érosion > altération) ; alluvions récentes (érosion forte ; altération moyenne ; poli fluvial) ; alluvions anciennes (érosion forte ; altération moyenne ; recristallisation faible à forte ; porte parfois une patine brun-noir et un poli fluvial).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière ; rares golfes inframillimétriques et invaginations millimétriques.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrique : allochems = 0%.

Structure : homogène.

Composante détritique : absente.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : absente.

Minéralogie : fréquentes sphérolithes (100 µm à 1 mm) à remplissage de quartz automorphes à croissance centrifuge, elles peuvent s'être développées au dépend d'ooides carbonatées dissoutes puis remplies secondairement (sphérolithes) ; rares petits minéraux noirs allongés.

Tri : indéterminable.

Répartition : indéterminable.

Couleur initiale : incolore à légèrement rosée ; translucide

Couleur acquise : jaune à orangée.

Porosité : faible ; fréquentes macroporosités plurimillimétriques en cours de remplissage par des quartz automorphes.

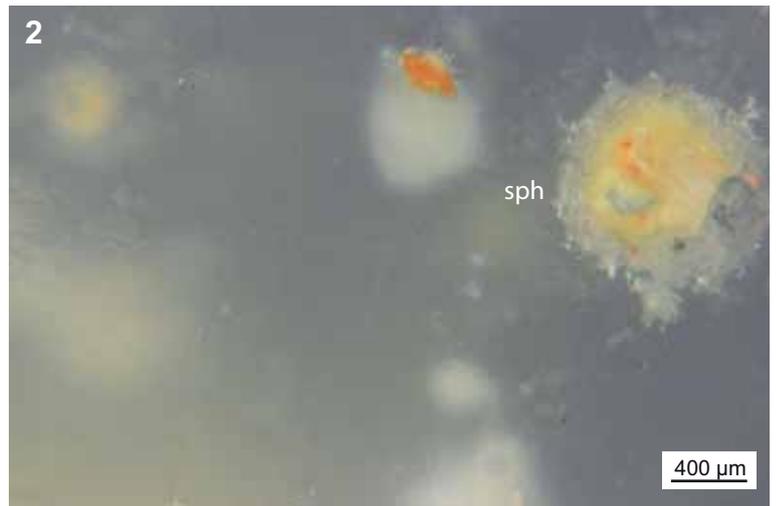
Rugosité : faible à nulle.

Altération : opacification et brunissement total de la matrice ; croissance des sphérolithes parfois jusqu'à former de véritables quartz polycristallins ; l'évolution de ce silcrète est très rapide une fois rentré dans le réseau hydrographique ; il correspond alors en partie au « Type F7a » de Fernandes *et al.* (2008a).

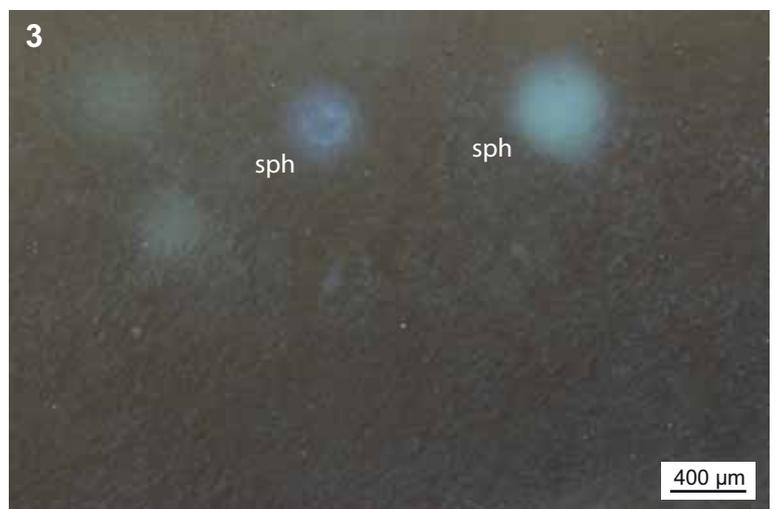
Bibliographie : Torti 1980 ; Masson 1981a ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

Type F0004

1. Vue macroscopique

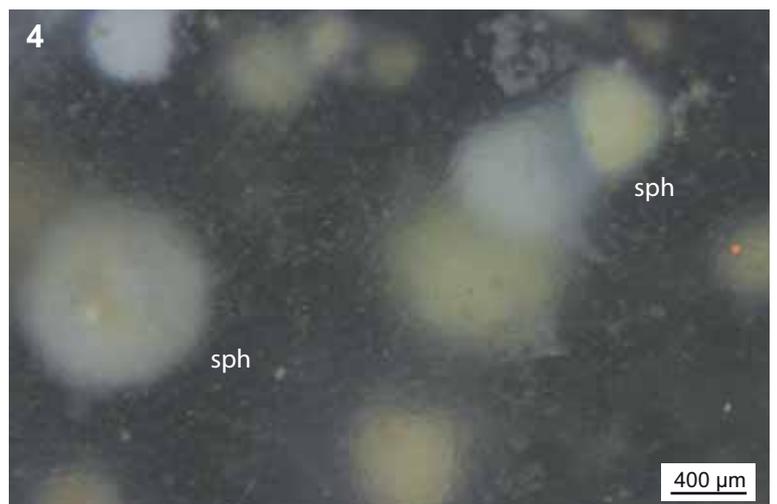
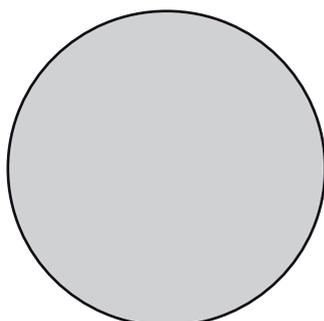


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
sphéricité	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RDB_1DF386
2. Vue binoculaire, faciès à sphérolithes (sph),
ech : géologique (La Collange, 43)
3. Vue binoculaire, faciès à sphérolithes (sph),
ech : RDB_1DF386
4. Vue binoculaire, faciès à sphérolithes (sph),
ech : SAI1_Cx1009

Type : F0005 ; possible « jaspe du Malzieu » de C. Torti (1980) ; « Type F5 » de P. Fernandes (2006 ; 2012)

Dénomination : silcrète à *Typha* de Saint-Léger-du-Malzieu.

Origine stratigraphique primaire : Sannoisien ; Oligocène inférieur.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène, Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : Saint-Léger-du-Malzieu (Lozère).

Origine géographique secondaire : Colluvions des formations oligocènes ; Chenal 2 et seconde partie du chenal 3 (Fernandes *et al.* 2008a ; Fernandes 2012) correspondant au cours de la paléo-Truyère.

Type de silicification : silcrète.

Protolithe : argiles vertes.

Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : fragments de banc pluridécimétriques.

Cortex : millimétrique à plurimillimétrique ; grumeleux et corné ; siliceux ; blanc à jaune ; porosité moyenne ; porte de fréquentes traces de racines.

Néocortex : colluvions (érosion > altération) ; alluvions récentes (érosion forte ; dissolution totale ; poli fluvial) ; alluvions anciennes (érosion forte ; dissolution totale ; poli fluvial ; recristallisation faible à forte).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et régulière.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique à pluridécimétrique.

Pétrofabrique : allochems < 10 %.

Structure : hétérogène.

Composante détritique : fréquents petits (< 100 µm) intraclastes anguleux (sph. 0,5 ; arr. 0,1) ; fréquents petits (< 50 µm) éléments blancs.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquents *Typha* ; rares petits débris ligneux.

Autres : fréquentes zones mal silicifiées et vacuoles plurimillimétriques à pluricentimétriques.

Minéralogie : matrice essentiellement composée d'opale, de calcédonite et de quartz microcristallin (< 50 µm) (Simon-Coinçon *et al.* 1995).

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : variable : gris, jaune, rouge, brun et noir ; les limites entre deux zones colorées sont nettes et régulières.

Couleur acquise : brune et rouge.

Porosité : moyenne ; la lumière des *Typha* est soit laissée vide soit colmatée par de la silice limpide.

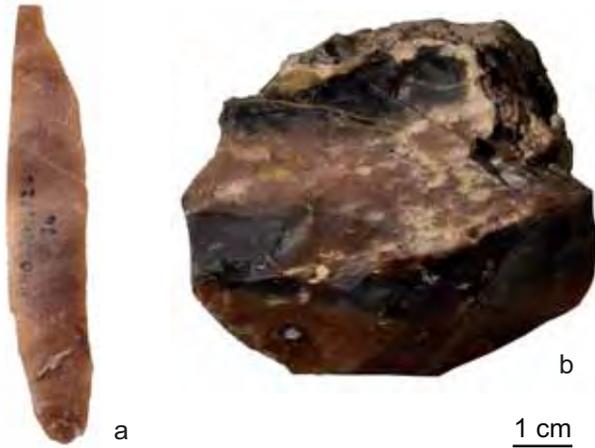
Rugosité : faible à moyenne.

Altération : homogénéisation (épigénie des *allochems*, notamment des intraclastes) et rubéfaction (oxydation) très rapide une fois dans les colluvions *i.e* dans les alluvions ; développement d'une patine brune plus ou moins épaisse.

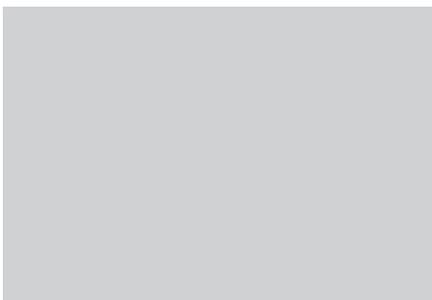
Bibliographie : Delaunay 1870 ; Couturié 1972 ; Torti 1980 ; Simon-Coinçon *et al.* 1995 ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

Type F0005

1. Vue macroscopique

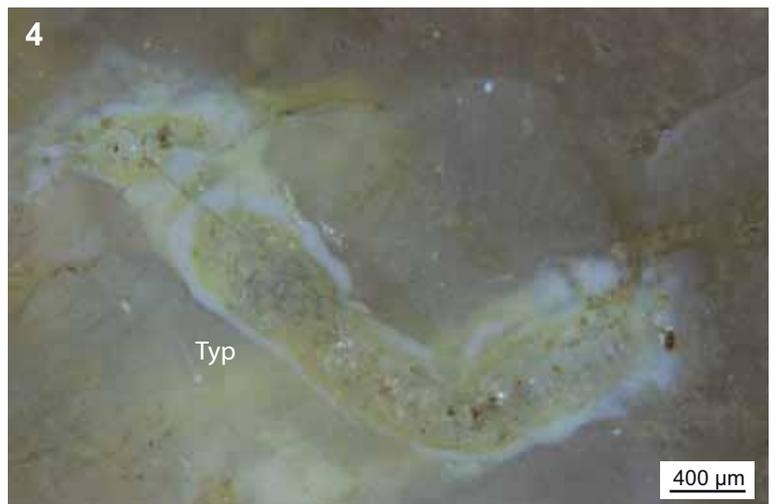
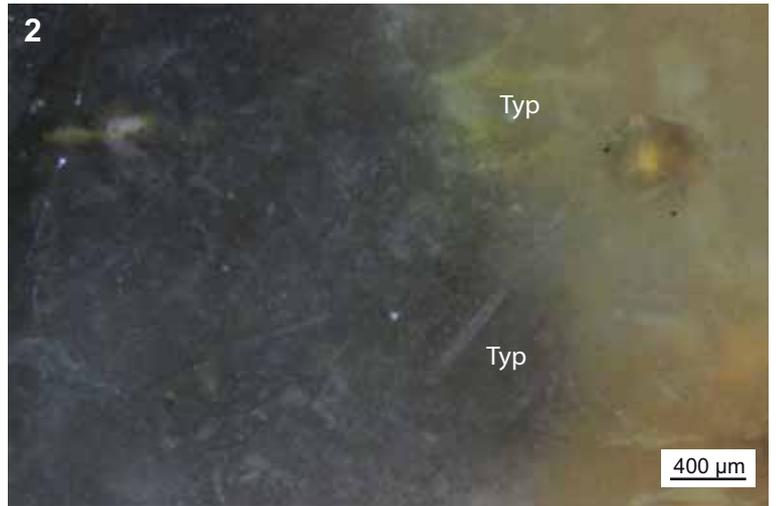
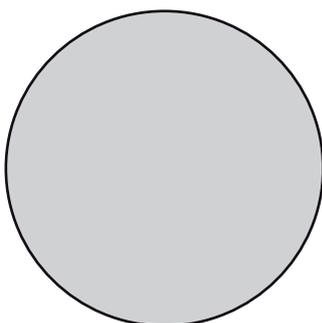


	a	b			
0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : Blot_K4_43/44_1267
2. Vue binoculaire, faciès à *Typha* (Typ),
ech : géologique (Saint-Léger-du-Malzieu, 48)
3. Vue binoculaire, faciès à *Typha* (Typ),
ech : Blot_K4_43/44_1267
4. Vue binoculaire, faciès à *Typha* (Typ),
ech : RDB_D4FA477

Type : F0007.2 ; « jaspe jaune veiné de grisâtre » de R. de Bayle des Hermens (1966b) ; « jaspe jaune » de M. Perpère (1984) ; « opale résinite de Madriat » de C. Torti (1980) ; « Type 13 » de A. Masson (1981a) ; « F7b » de P. Fernandes (2006 ; 2012).

Dénomination : silcrète pédogénétique jaune de Madriat.

Origine stratigraphique primaire : Sidérolithique.

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : dalle siliceuse entre le ruisseau de Souillouze et le chemin de Letz, « dalle 2 », Madriat (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : colluvions en aval de la dalle siliceuse ; dispersion dans le réseau hydrographique indéterminé.

Type de silicification : silcrète pédogénétique.

Protolithe : argiles rouges sidérolithiques.

Milieu de dépôt : continental.

Habitus : dalles et fragments de dalles pluricentimétriques à pluridécimétriques.

Cortex : épaisseur nulle (développée à même la zone silicifiée) ; corné ; siliceux ; jaune à brun ; porosité très faible ; ne porte pas de fossiles.

Néocortex : colluvions (érosion faible à moyenne ; altération nulle).

Limite cortex / zone silicifiée : absente.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique à pluridécimétrique.

Pétrofabric : indéterminable.

Structure : bréchique à fentes de dessiccation.

Composante détritique : abondants intraclastes anguleux de taille variable formés par la réunion des fentes de dessiccation.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : absente.

Autres : P. Fernandes (2012) note la présence de figures de compaction et de stylolithes postérieurs à la dessiccation.

Minéralogie : matrice de remplacement par de l'opale-CT (Thiry *et al.* 2006) ; A. Masson (1981a) signale que les fentes de dessiccation sont colmatées par de la calcédonite.

Tri : indéterminable.

Répartition : indéterminable.

Couleur initiale : jaune.

Couleur acquise : brun sombre.

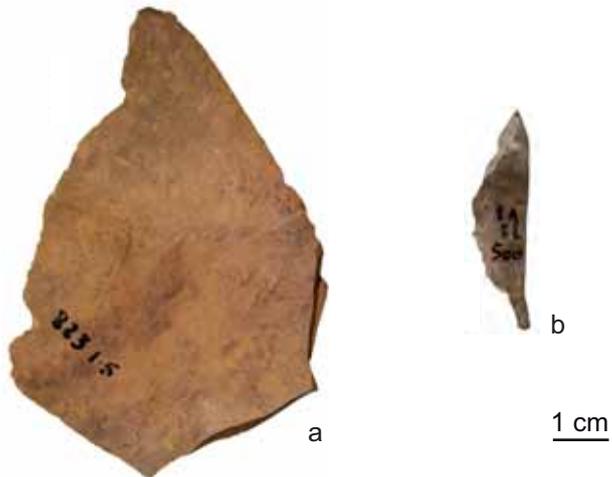
Porosité : faible à nulle.

Rugosité : nulle à moyenne.

Altération : opacification et assombrissement de la couleur jaune.

Bibliographie : Bayle des Hermens 1966b ; Chaillou 1967 ; Tapsoba 1967 ; Torti 1980 ; Masson 1981a ; Perpère 1984 ; Deschamp 1986 ; Fernandes 2006, 2012 ; Thiry *et al.* 2006 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010 ; Ricordel-Prognon *et al.* 2010.

1. Vue macroscopique

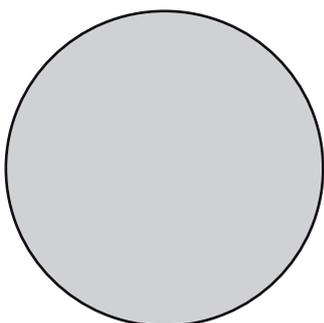


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RDB_1AF500
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Madriat, 63)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Madriat, 63)
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_1AF500

fType : F0009.1 ; « silex résinite » J.-M. Bertrand-Roux (1823) ; « opale résinite » de P. de Brun (1936) ; « résinite de Saint-Pierre-Eynac » de R. de Bayle des Hermens (1972) et de C. Torti (1980) ; « Type 12 » de A. Masson (1981) ; « opale résinite de Saint-Pierre-Eynac » F. Werth (1991) ; « Type F9 » de P. Fernandes (2006, 2012).

Dénomination : silcrète de Saint-Pierre-Eynac¹.

Origine stratigraphique primaire : fin Éocène - début Oligocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : niveau médian de Saint-Pierre-Eynac (Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : colluvions ; alluvions de la Sumène.

Type de silicification : silcrète.

Protolithe : dolomie massive (?).

Milieu de dépôt : palustre à lacustre.

Habitus : dalles et fragments de dalles pluricentimétriques à pluridécimétriques.

Cortex : absent à épaisseur variable ; grumeleux ; siliceux (calcédonite mamelonnée, Fernandes 2012) ; blanc ; à porosité moyenne ; ne porte pas de fossiles.

Néocortex : colluvions (érosion > altération) et alluvions anciennes (forte érosion ; forte altération ; recristallisation faible à forte ; poli fluviatile plus ou moins fréquent).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulier.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique à décimétrique.

Pétrofabrique : indéterminable.

Structure : massive à bréchique.

Composante détritique : fréquence variable d'intraclastes anguleux (sph. 0,7 ; arr. 0,1 - 0,3) plurimillimétriques à pluricentimétriques.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : absente.

Minéralogie : forte proportion de quartz, de dolomite et de tridymite mises en évidence par diffraction X (Werth 1991) ; fréquentes micro-géodes à remplissage polyphasé et polarisé ; fréquence variable de pyrites « framboïdes ».

Autre : fréquentes traces d'illuviations.

Tri : indéterminable.

Répartition : indéterminable.

Couleur initiale : grise à noire, rarement incolore.

Couleur acquise : blanche et brune.

Porosité : forte ; fréquentes géodes à remplissage tardif de calcédoine mamelonnée ou de quartz automorphes.

Rugosité : faible à forte.

Altération : acquisition d'une patine rouge dans les dépôts surmontant les granites (cf. colluvions au sud-ouest de l'affleurement) ; probable blanchiment rapide dans les terrains mal drainés² ; remplissage et colmatage des macroporosités ; oxydation (brunissement) de la matrice.

Bibliographie : Bertrand-Roux 1823 ; Tournaire 1871 ; Boule 1892 ; de Brun 1936 ; de Bayle des Hermens et Crémillieux 1966 ; de Bayle des Hermens 1972a ; Frerichmann 1977 ; Mergoïl *et al.* 1979 ; Torti 1980 ; Masson 1981a ; Werth 1991, 1992a, 1992b ; Feybesse *et al.* 1998 ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010 ; Wragg-Sykes *et al.* 2014.

¹ Une étude actuellement en cours, dirigée par R. Wragg-Sykes dans le cadre de son travail post-doctoral (Wragg-Sykes *et al.* 2014), va nous permettre de mieux apprécier les variations de faciès au sein du gîte (variation de couleur, de texture, de porosité, de minéralogie ...) dans le but de tester la validité de nos sous catégories : F0009.1 ; F0009.2 ...

² Nous effectuons actuellement une expérience de vieillissement du silcrète de Saint-Pierre-Eynac afin de déterminer la cinétique d'évolution du silex dans l'eau et à la lumière. Cette expérience, qui a débuté trop récemment, n'a pas encore délivré de résultats probants bien que le vieillissement (blanchiment) semble rapide dans les terrains mal drainés.

1. Vue macroscopique

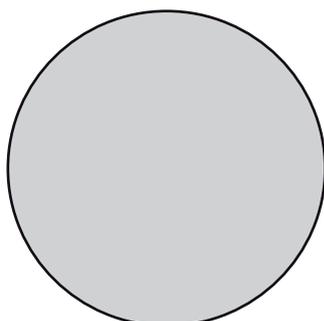


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
sphéricité	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : BLA_A007
2. Vue binoculaire, faciès ,
ech : géologique (Saint-Pierre-Eynac, 43)
3. Vue binoculaire, faciès ,
ech : BLA_A007
4. Vue binoculaire, faciès altéré,
ech : BLA_1076

Type : F0012 ; « silex rubané » de J. Giraud (1902) ; « silex à fines stratifications de Laps » de N. Estève 1942 ; « Type 17 » de A. Masson (1981a) ; « Type F12b » de P. Fernandes et collaborateurs (2014c).

Dénomination : silex rubané de Laps.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène.

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : Jolivat, Puy Montmol et les Verdiers, Laps (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex palustre.

Protolithe : dolomicrite.

Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : plaquettes minces centimétriques à pluricentimétriques

Cortex : millimétrique ; crayeux ; siliceux ; blanc ; à porosité faible ; ne porte pas de fossile.

Néocortex : colluvions

Limite cortex / zone silicifiée : nette et régulière.

Zone silicifiée :

Épaisseur : centimétrique à pluricentimétrique.

Pétrofabrique : allochems = 0% dans les lits sombres ; allochems > 90 % dans les lits clairs.

Structure : litée ; lits irréguliers, hétérométriques, généralement festonnés correspond à des bioconstructions stromatolithiques de type LLH-S, les limites entre les lits sont nettes et irrégulières.

Composante détritique : fréquence variable de petits (100 à 200 µm) intraclastes arrondis (sph. 0,7 ; arr. 0,9) en fonction des lits considérés.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquentes tiges en forme de bâtonnets (200 à 600 µm) ; fréquentes cyanophycées (rarement encroûtées) épigénisées en calcédoine ; fréquence variable de petits ostracodes ; rares fragments ligneux ; rares grains de pollens de saule et de pin (*in* Estève 1942 et Fernandes *et al.* 2014c).

Minéralogie : alternance de niveaux siliceux sombres (riches en sphérolithes de calcédonite torsadée ou non) et de niveaux clairs plus ou moins carbonatés.

Tri : indéterminable

Répartition : les éléments biogéniques sont strictement répartis dans les lits clairs.

Couleur initiale : noire et blanche.

Couleur acquise : brune et rouge.

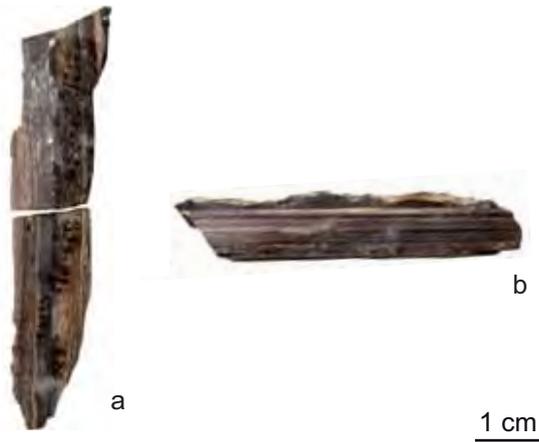
Porosité : moyenne ; macroporosités résultant de la dissolution partielle de lits carbonatés ; développement de sphérolithes de calcédonite en remplissage de la fissuration perpendiculaire au litage .

Rugosité : faible à nulle.

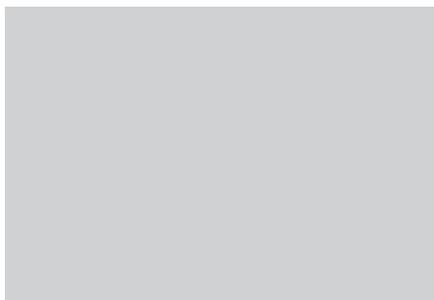
Altération : porosité en cours de colmatage par des microquartz automorphes ; brunissement de la matrice.

Bibliographie : Giraud 1902 ; Estève 1942 ; Rudel 1966 ; Masson 1981a ; Dufresne 1999 ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008, 2014c ; Delvigne 2010.

1. Vue macroscopique

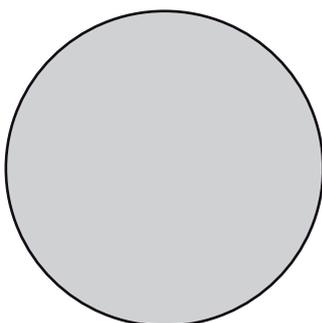


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : Rem Blot_H0_217 et H1_45/46_476
b : géologique.
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Laps, 63)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : Blot_H1_45/46_476
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : Blot_I3_33/42_1555

Type : F0020 ; « Type F20 » de P. Fernandes (2006, 2012).
Dénomination : silex du Mazet-Saint-Voy.

Origine stratigraphique primaire : Miocène (?).
Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.
Origine géographique primaire : Roudon, Le Mazet-Saint-Voy (Haute-Loire).
Origine géographique secondaire : vallée du Lignon.

Type de silicification : silex.
Protolithe : sable-argileux noirâtre (probable).
Milieu de dépôt : palustre à lacustre.

Habitus : plaquettes fines pluricentimétriques (jusqu'à 5 cm).
Cortex : fin ; grumeleux et corné ; siliceux ; blanc à jaune ; à porosité moyenne ; ne porte pas de fossiles.
Néocortex : colluvions (érosion forte > altération) ; alluvions récentes (érosion forte ; altération faible à moyenne ; poli fluvial ; développement plus ou moins prononcé de patine brune).
Limite cortex / zone endocorticale : nette et régulière.

Zone endocorticale :

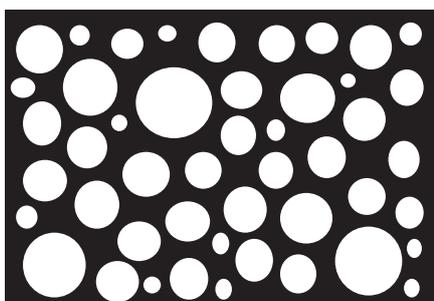
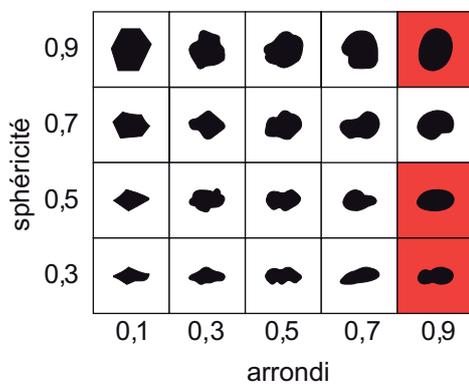
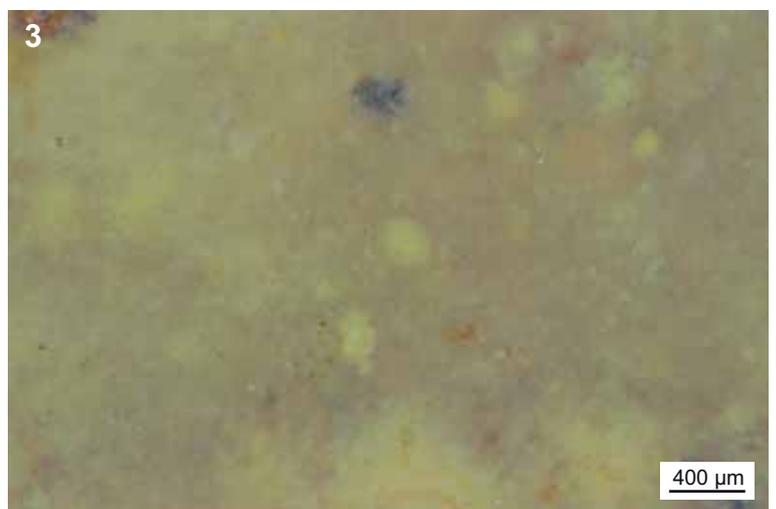
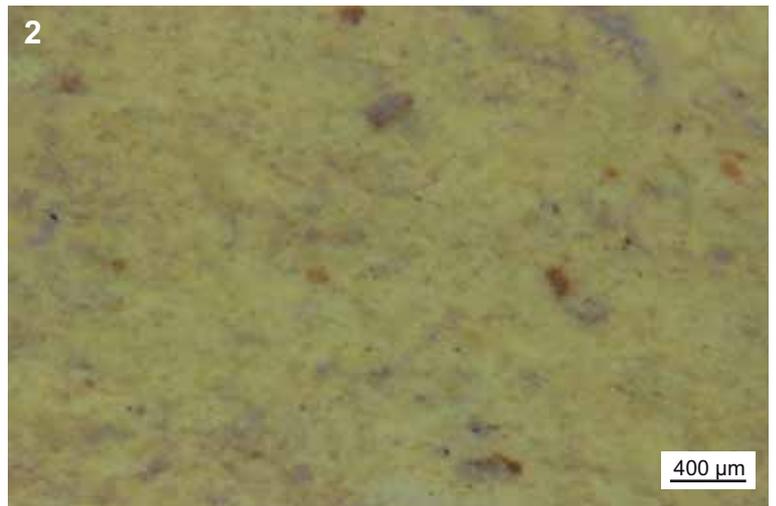
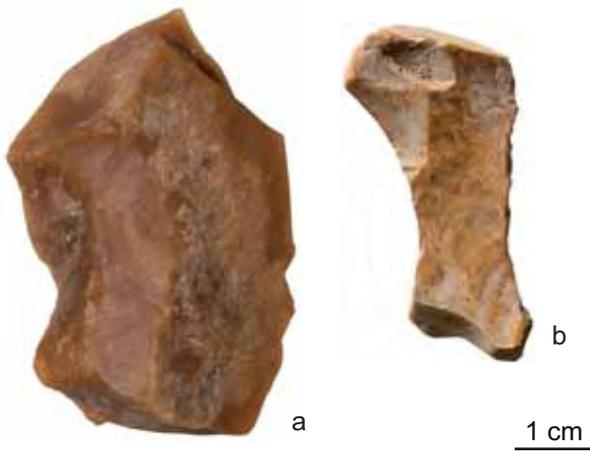
Épaisseur : centimétrique à pluricentimétrique.
Pétrofabrique : allochems < 50%.
Structure : homogène.
Composante détritique : abondants petits (50 µm) éléments anguleux (sph. 0,9 ; arr. 0,3 - 0,5) ; rares intraclastes (100 à 200 µm) micritiques blancs arrondis (sph. 0,9 ; arr. 0,9) ;
Composante chimique : absente.
Composante biologique : fréquents (200 µm) débris ligneux (fragments de tige) ; rares valves peu fragmentées de grands ostracodes lisses à tests fins.
Minéralogie : pas d'information.
Tri : bon.
Répartition : homogène.
Couleur initiale : blonde. **Couleur acquise** : brune.
Porosité : faible. **Rugosité** : faible à moyenne.
Altération : imprégnation de la matrice et des *allochems* par du fer ferrique.
Limite zone endocorticale / zone interne : diffuse et irrégulière.

Zone interne :

Épaisseur : pluricentimétrique.
Pétrofabrique : allochems < 50%.
Structure : homogène à pseudo-bréchique en remplacement de la structure de sol initial à rares fentes de dessiccation.
Composante détritique : fréquence variable de petits (50 µm) éléments anguleux (sph. 0,9 ; arr. 0,3 - 0,5).
Composante chimique : absente.
Composante biologique : rares petits (200 µm) débris ligneux (fragments de tige).
Autre : fréquentes floculations blanche, correspondant à des zones moins bien silicifiées ; fréquentes petites ponctuations noires que nous assimilons à des oxydes ferro-manganésifères.
Minéralogie : fréquentes tapissages de petites sphérolithes par de la calcédoine mamelonnée.
Tri : indéterminable.
Répartition : homogène.
Couleur initiale : blonde à orange. **Couleur acquise** : orange à brune.
Porosité : faible à moyenne. **Rugosité** : moyenne.
Altération : homogénéisation et opacification de la matrice ; colmatage complet des sphérolithes.

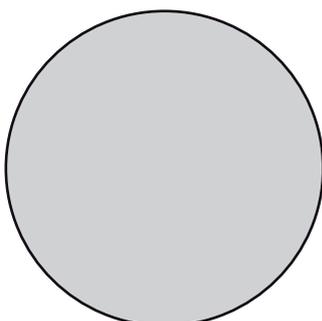
Bibliographie : de Bayle des Hermens et Chomette 1990 ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

1. Vue macroscopique



tri bon (zone endocorticale)

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : COT_63.1.166.8
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (le Mazet-Saint-Voy, 43)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (le Mazet-Saint-Voy, 43)
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : COT_63.1.166.8

Type : F0021 ; « chailles jaunes à brunes » de C. Torti (1980) ; « Type 20 » de A. Masson (1981a) ; « Type F21 » de P. Fernandes (2006, 2012).

Dénomination : « Chailles » jurassiques.

Origine stratigraphique primaire : Aalénien-Bajocien, Jurassique moyen.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène.

Origine géographique primaire : Causses de Lozère (ex : Le Bleymard ; Marvejols ...)

Origine géographique secondaire : formations sablo-argileuses miocènes du Velay : « sables à chailles » que l'on retrouve des hauts plateaux ardéchois (Mazaboulet) au cœur du Bassin du Puy-en-Velay, soit à l'affleurement soit sous les colluvions pléistocènes (vallée de la Laussonne, de la Gazeille, de l'Orcival ...) ; vallée du haut-Allier (ex : Naussac)¹.

Type de silicification : chert.

Protolithe : bio-calcimicrite massive : « calcaire gris du bajocien de Lozère ».

Milieu de dépôt : plate-forme externe peu profonde et assez agitée.

Habitus : galets pluricentimétriques à décimétriques (jusqu'à une quinzaine de centimètres) ; fragments roulés de banc pluricentimétrique.

Cortex : absent.

Néocortex : alluvial ancien (érosion forte ; altération forte ; poli fluviatile variable ; recristallisation faible à moyenne)

Limite cortex / zone silicifiée : absente.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrique : allochems > 90%.

Structure : homogène à finement litée.

Composante détritique : abondants éléments (150 µm et 50 à 70 µm) arrondis (sph. 0,5 - 0,7 ; arr. 0,7).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondants spicules canaliculés monoaxones ; fréquents spicules tri-axones, fréquents *lithophyllum* ; rares tubes indéterminés (algue ?) (Ø : 80 µm) ; rares petits foraminifères bisériés (*Textularia* sp.) ; rares fragments de bivalve ; P. Fernandes (2012) signale la présence de rares ostracodes et de codiacées.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : bon.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : grise (F0021.gr).

Couleur acquise : beige (F0021.bl), brune (F0021.br), plus rarement rouge (F0021.ro) ou noire (F0021.no).

Porosité : faible à forte.

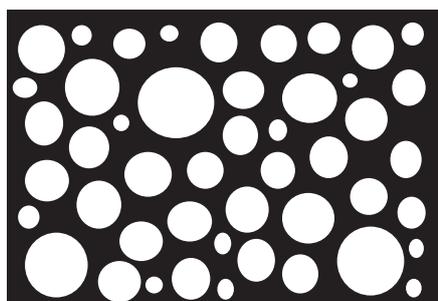
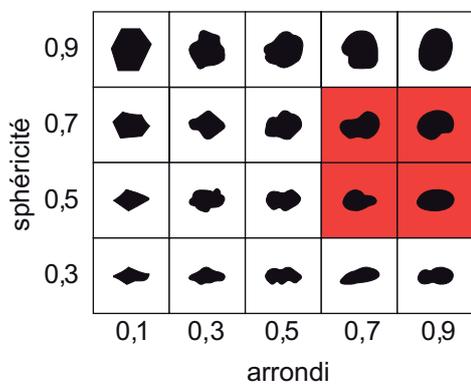
Rugosité : faible à forte.

Altération : oxydation (jaunissement) des *allochems* puis de la matrice (patine jaune) qui reste longtemps limpide ou patinée en blanc, la couleur et la patine sont acquises dans les alluvions anciennes ; épigénie partielle des bioclastes ; dans les formes les plus évoluées on note une augmentation de la rugosité et une dissolution de la matrice siliceuse (augmentation de la porosité acquise) ; P. Fernandes (2012) remarque qu'il n'y a pas, ou très peu, de transformations minéralogiques de la matrice entre les échantillons géologiques provenant des gîtes primaires et ceux collectés au sein des alluvions anciennes des paléo-écoulements (chenal 1, 2, 3).

Bibliographie : Vinay 1867 ; Lory 1870 ; Grüner 1870 ; Boule 1892 ; Fabre 1893 ; Fabre et Ressouches 1911 ; Bout 1953 ; Torti 1980 ; Masson 1981a ; Turland *et al.* 1994 ; Defive 1996 ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a, 2008b, 2009 ; Feybesse *et al.* 1998 ; Defive *et al.* 2011.

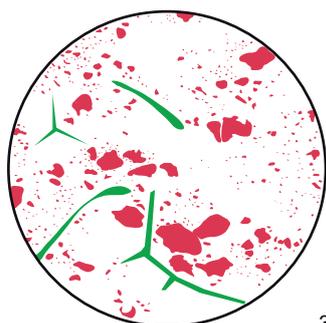
¹ Dans le cadre du projet WRACC (direction E. Defive) nous cherchons à distinguer la provenance des différents sous type de F0021. L'ubiquité de faciès des silex et la présence de la plupart des sous types dans les différents gîtes secondaires n'autorisent qu'une approche statistique de la composition des dépôts (*cf.* Fernandes 2012 pour le chenal 2) ne permettant pas l'application aux ensembles archéologiques (par définition biaisés). Par défaut et en gardant à l'esprit l'approximation que cela induit, nous attribuons aux objets archéologiques réalisés en F0021 une origine locale tant qu'un gîte secondaire contenant ce matériau est présent à proximité du site.

1. Vue macroscopique



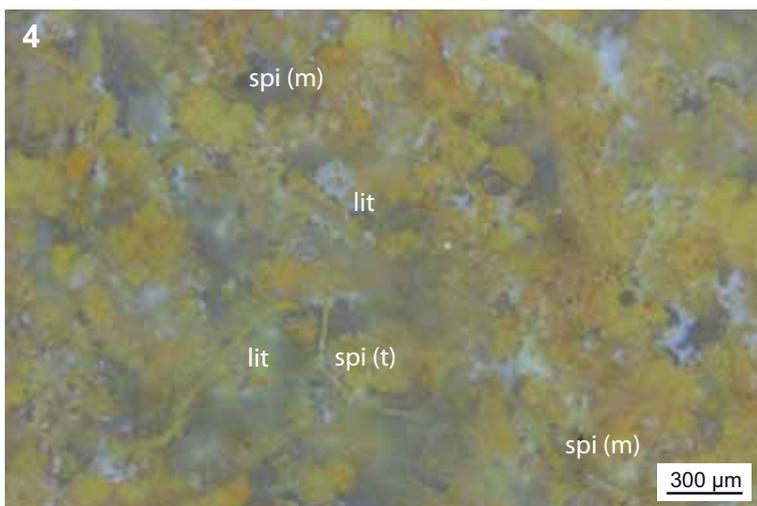
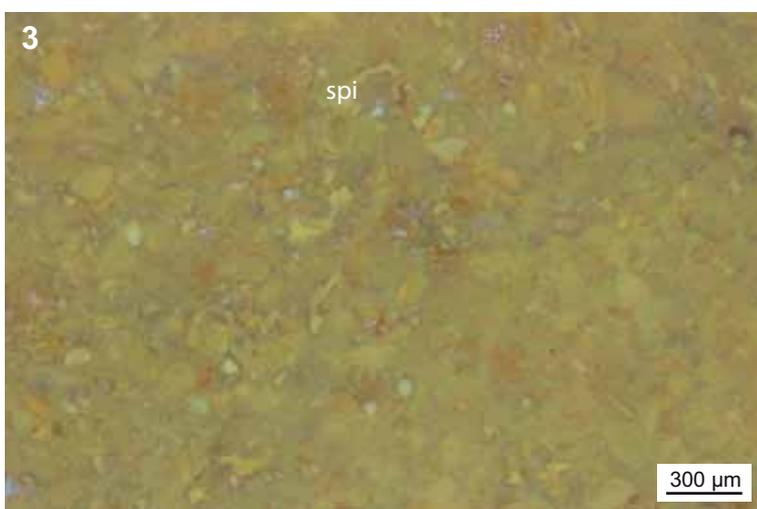
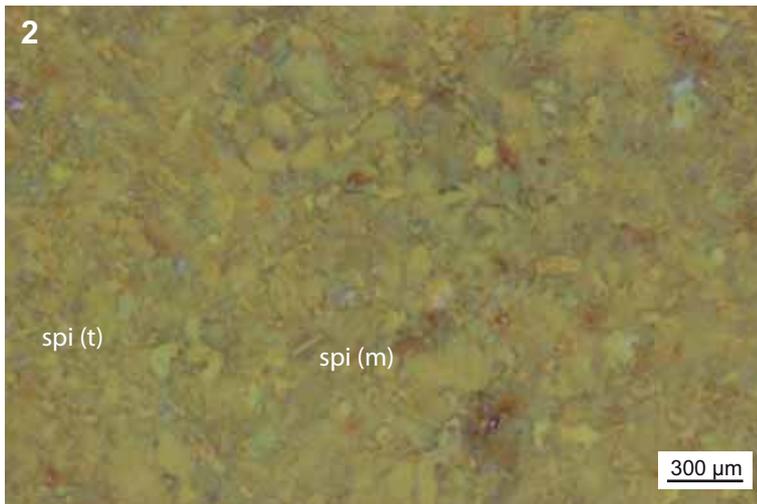
tri bon

Schéma interprétatif



300 µm

composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : remontage Blot J1_43/45_702 ; J1_43/45_758 ; J1_43/45_779 ; I1_43/44_866 ; I2_1588 ; I2_1682 ; I2_1688 ; I2_47_1770 ; I1_48_3208 ; K2_A364 ; J3_42_A365 ; NM0002

2. Vue binoculaire, faciès à spicules monoaxones (spi(m)) et triaxones (spi(t)) fragmentés, ech : géologique (Naussac)

3. Vue binoculaire, faciès à spicules monoaxones (spi) fragmentés, ech : Blot_I2_1682

4. Vue binoculaire, faciès à spicules monoaxones (spi(m)), triaxones (spi(t)) et *lithophyllum* (lit) ech : BVm_6

Type : F0036.1 ; « Type 09 » de A. Masson (1981a) ; « Type F36 » de P. Fernandes (2006, 2012).
Dénomination : silex lacustre à planorbes des alluvions anciennes du Monteil.

Origine stratigraphique primaire : Miocène (probable).
Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.
Origine géographique primaire : inconnue.
Origine géographique secondaire : alluvions anciennes du Monteil.

Type de silicification : silex.
Protolithe : inconnu.
Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : plaquettes pluricentimétriques (jusqu'à 5 cm d'épaisseur) ; plaquettes pluricentimétriques roulées.

Cortex : plurimillimétrique ; grumeleux ; siliceux ; blanc à jaune ; à forte porosité ; porte de fréquents moules externes de gastéropodes (Planorbes)

Néocortex : Alluvial ancien (érosion forte ; altération totale ; recristallisation totale ; développement plus ou moins important d'une patine noire).

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière ; fréquents îlots carbonatés millimétriques à plurimillimétriques dans la zone endocorticale, fréquents golfes millimétriques.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabric : allochems < 20%.

Structure : homogène, discrètement litée.

Composante détritique : absente.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquents moules internes ou externes de gastéropodes (Planorbes : *Hyppautis sp.* ou *Anisus sp.* , détermination G. Truc *in* Masson 1981a) ; rares petites tiges carbonatées et fragmentées ; rares petits débris ligneux ; P. Fernandes et J.-P. Raynal (2007) signale la présence de rares gyrogonites entières mais déformées, de même A. Masson (1981a) note la présence de rares ostracodes.

Autre : fréquentes zones mal silicifiées plurimillimétriques contenant de nombreux moules externes de planorbes.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : les gastéropodes sont répartis en lits illustrant une thanatocénose.

Couleur initiale : gris-rose.

Couleur acquise : gris-brun, jaune, orangée, rouge.

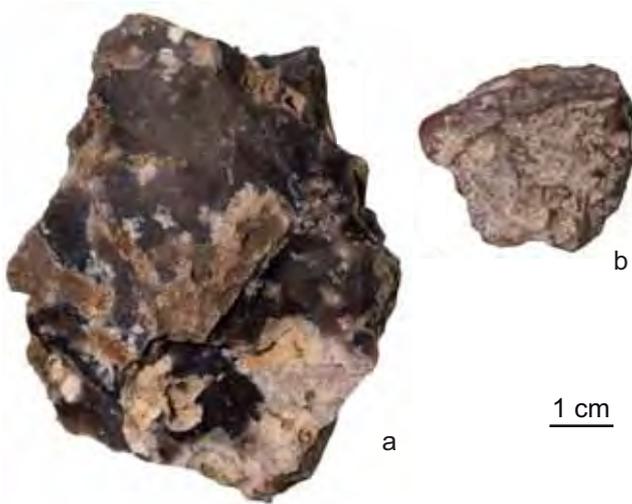
Porosité : forte ; macroporosité en cours de colmatage par des microquartz.

Rugosité : moyenne à forte.

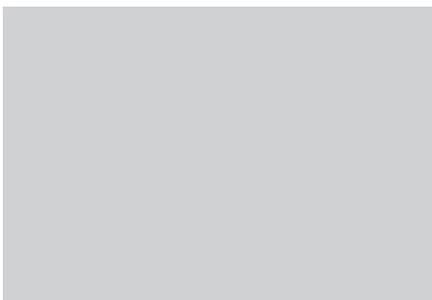
Altération : homogénéisation de la matrice et épigénie des bioclastes entraînant une diminution de la rugosité ; opacification et imprégnation de la matrice par des oxydes ferriques (coloration en jaune voire en rouge).

Bibliographie : Boule 1892 ; Masson 1981a ; Feybesse *et al.* 1998 ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

1. Vue macroscopique

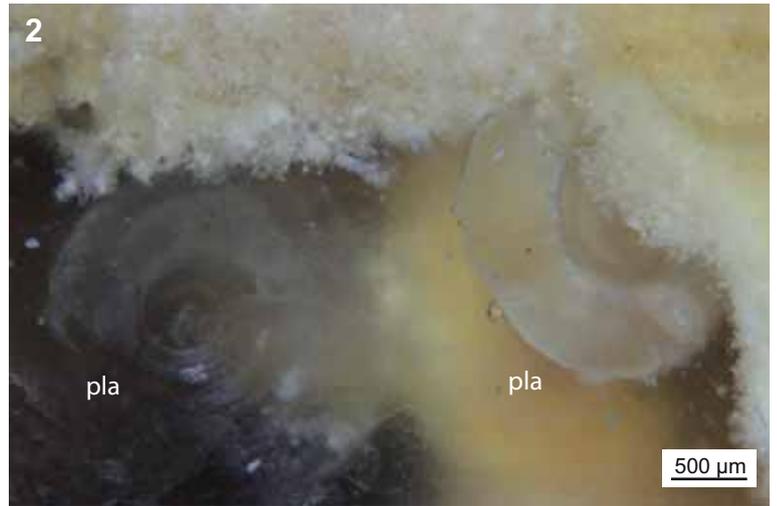
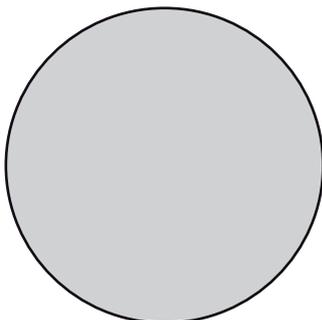


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
sphéricité	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : SAII_Bx38
2. Vue binoculaire, planorbidés (pla),
ech : géologique (Araules, 43)
3. Vue binoculaire, planorbidé (pla),
ech : SAII_Bx38
4. Vue binoculaire, planorbidé (pla),
ech : SAII_NM3238

Type : F0036.2 ; « Type F36b » de P. Fernandes (2012).

Dénomination : dalle de silcrète noir de l'Aulagnier.

Origine stratigraphique primaire : Miocène (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : ferme de l'Aulagnier, est du suc du Collet, Araules (Haute-Loire).

Origine géographique secondaire : alluvions anciennes indéterminées.

Type de silicification : silcrète pédogénétique.

Protolithe : sable-argileux noirâtre (probable).

Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : dalles ou fragments de dalles pluri-centimétriques à décimétrique.

Cortex : millimétrique ; grumeleux et légèrement corné ; siliceux ; blanc ; porosité faible à moyenne ; porte de fréquents débris ligneux (tiges de végétaux).

Néocortex : alluvial ancien (érosion moyenne ; altération forte ; recristallisation forte ; poli fluviatile faible).

Limite cortex / zone silicifiée : diffuse et très irrégulière.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabric : allochems < 10 %.

Structure : homogène à pseudo-bréchique.

Composante détritique : fréquents petits (< 50 µm) grains de quartz (détritique ?) ; fréquents petits (< 50 µm) éléments blancs à jaunes arrondis (sph. 0,7 ; arr. 0,9).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquentes traces de racines ; fréquents débris ligneux dans la zone sous corticale moins bien silicifiée.

Minéralogie : pas d'informations.

Tri : indéterminable.

Répartition : zonée ; les racines sont présentes dans la zone noire au cœur du silex ; les tiges de végétaux sont situées dans les zones sous-corticales plus ou moins épaisses et mal silicifiées.

Couleur initiale : noire.

Couleur acquise : indéterminée.

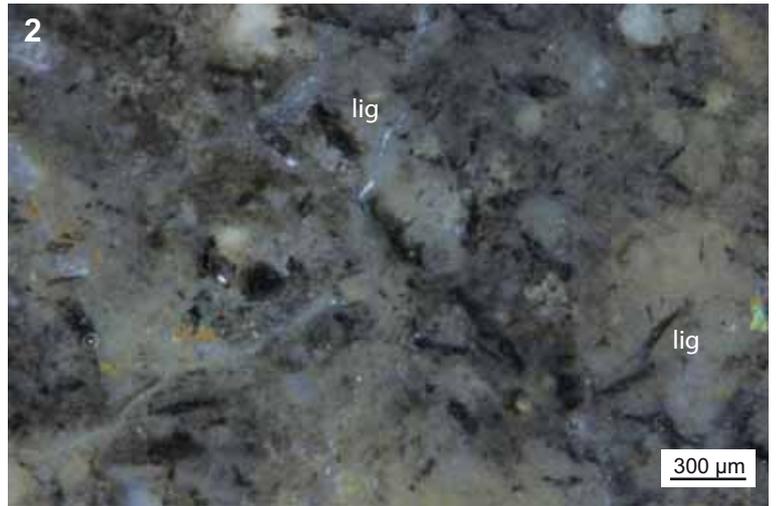
Porosité : faible à moyenne ; la lumière des racines est en cours de colmatage par des microquartz automorphes dont la croissance s'effectue sur des lits d'opale et de calcédonite mamelonnée.

Rugosité : nulle à moyenne.

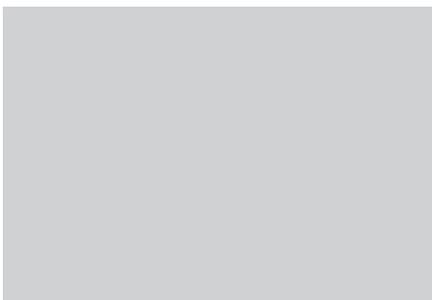
Altération : colmatage complet de la macroporosité induite par la lumière des racines ; homogénéisation de la matrice ; disparition des zones mal silicifiées.

Bibliographie : Boule 1892 ; Feybesse *et al.* 1998 ; Fernandes 2012 ; Fernandes *et al.* 2008a.

1. Vue macroscopique

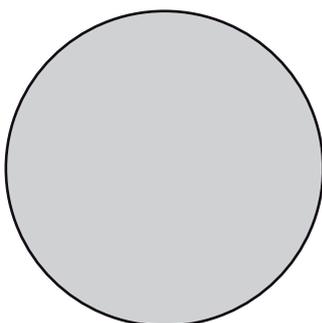


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : BVsl_14
2. Vue binoculaire, faciès zone endocorticale à débris ligneux (lig),
ech : géologique (Araules, 43)
3. Vue binoculaire, faciès zone interne,
ech : géologique (Araules, 43)
4. Vue binoculaire, faciès zone interne,
ech : BVsl_14

Type : F0037 ; « Type 50 » de A. Masson (1981a) ; « Type F37 » de P. Fernandes (2006 ; 2012).
Dénomination : silex palustre à mycélium du paléochenal 2.

Origine stratigraphique primaire : indéterminée.

Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.

Origine géographique primaire : inconnue.

Origine géographique secondaire : alluvions anciennes de la Paléo-Truyère, section 2 du chenal 2 (Cantal et Haute-Loire) (P. Fernandes et J.-P. Raynal comm pers.).

Type de silicification : silex.

Protolithe : indéterminé.

Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : galets pluricentimétriques.

Cortex : indéterminé.

Néocortex : alluvions anciennes (érosion forte ; altération totale ; recristallisation faible ; poli fluviatile fort ; patine noire forte).

Limite cortex / zone silicifiée : indéterminée.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabrique : *boundstone*.

Structure : homogène.

Composante détritique : absente.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : enchevêtrement d'Hyphes mycéliens.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : indéterminée.

Couleur acquise : jaune d'or.

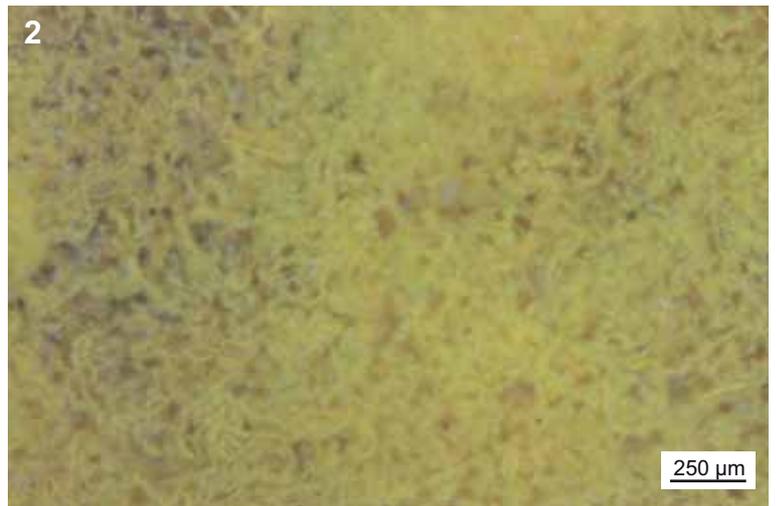
Porosité : nulle.

Rugosité : nulle.

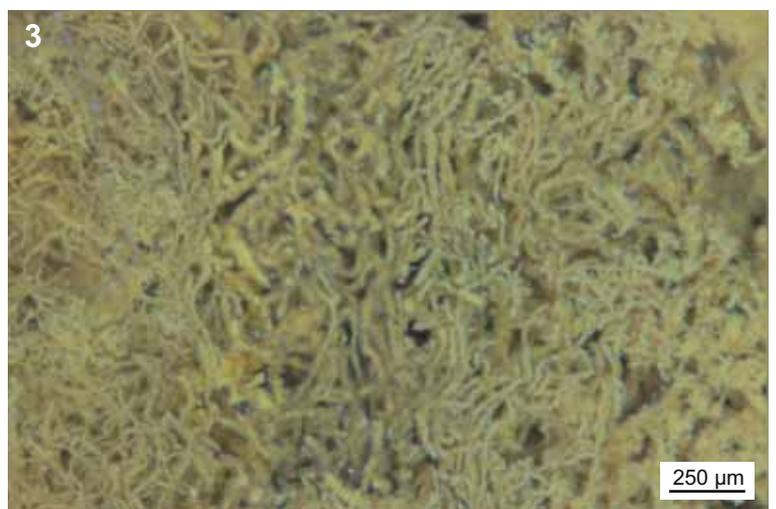
Altération : imprégnation des Hyphes par des oxydes de fer ferriques.

Bibliographie : Masson 1981a ; Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

1. Vue macroscopique

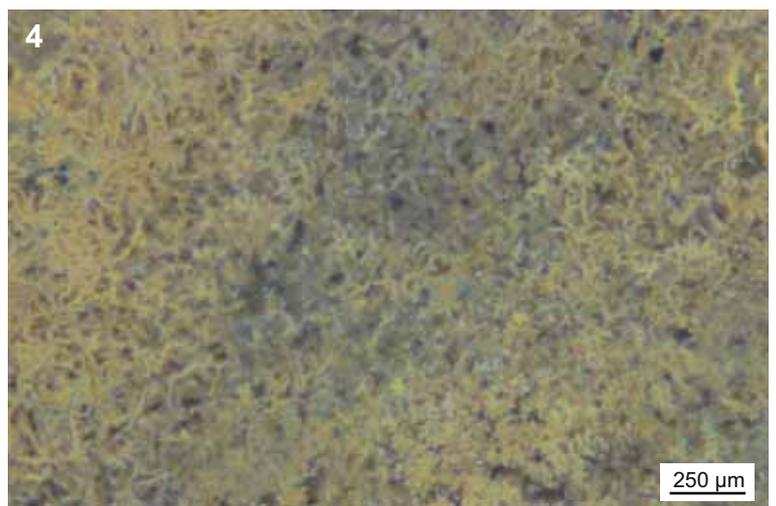
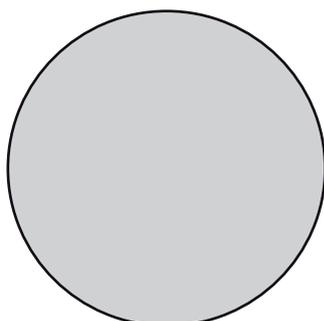


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : RDB_1AF527 et b : SAII_DxNM580
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_1AF527
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : SAII_DxNM580
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : SAII_Vx45

Type : F0044 ; « Type F44 » de P. Fernandes (2006 ; 2012).
Dénomination : silcrète de Arlanc.

Origine stratigraphique primaire : Oligocène.
Origine stratigraphique secondaire : Plio-pléistocène.
Origine géographique primaire : Arlanc (Puy-de-Dôme).
Origine géographique secondaire : vallée de la Dore.

Type de silicification : silcrète.
Protolithe : argiles vertes.
Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : dalles pluricentimétriques ; fragments de dalles pluricentimétriques.
Cortex : absent.

Néocortex : colluvions (érosion faible) ; alluvions récentes (érosion moyenne ; poli fluviatile fort ; acquisition d'une patine brune) ; alluvions anciennes (érosion forte ; recristallisation variable ; poli fluviatile d'intensité variable ; patine brune épaisse).

Limite cortex / zone silicifiée : diffuse et régulière, s'étend sur plusieurs centimètres de la roche encaissante à la dalle siliceuse.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabric : *allochems* > 80 %.

Structure : bréchique ; en remplacement de la structure initiale de sol à fentes de dessiccation.

Composante détritique : abondants intraclastes micritiques anguleux (sph. 0,5 - 0,7 ; arr. 0,1 - 0,3) de taille variable (pluri-millimétrique à 100 µm) formés par les fentes de dessiccation ; fréquents petits (< 50 µm) grains de quartz détritiques.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquentes petites tiges de végétaux indéterminés ; rares traces de racines.

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène ; la densité en fragments de végétaux, qui varie en fonction des échantillons considérés, pourrait avoir une valeur géologique.

Couleur initiale : verte

Couleur acquise : brune.

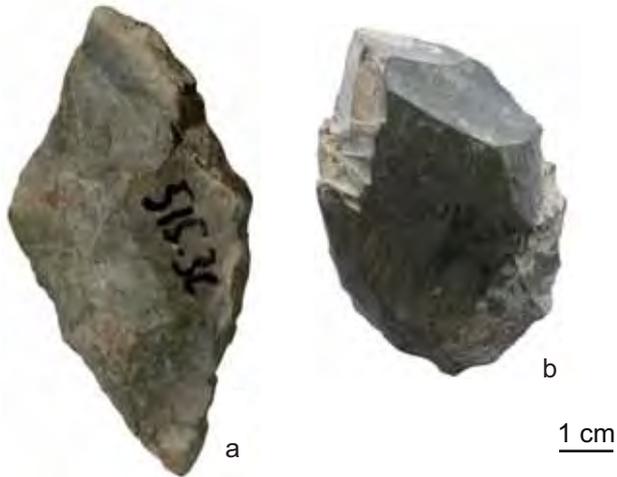
Porosité : moyenne, en cours de colmatage par de la silice limpide.

Rugosité : faible à moyenne.

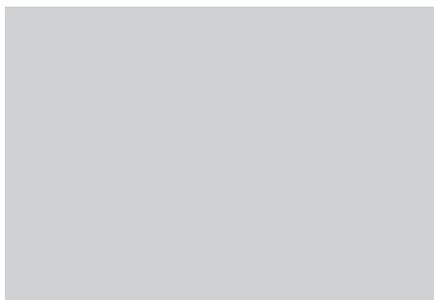
Altération : épigénie partielle des intraclastes ; passage progressif d'un faciès bréchique à un faciès homogène ; acquisition d'une patine brune.

Bibliographie : Fernandes 2006, 2012 ; Fernandes et Raynal 2007 ; Fernandes *et al.* 2008a ; Delvigne 2010.

1. Vue macroscopique

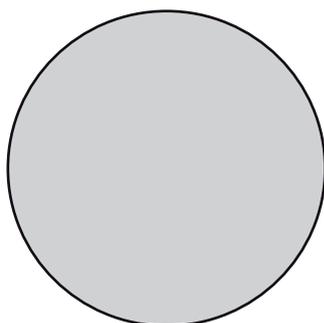


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
sphéricité	arrondi				



tri bon

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RDB_T12F10
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Arlanc, 63)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_1CF526
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_T12F10

Type : F0140.1 ; « Type F140 et dérivés : F148 ; F22 ; F34 » de P. Fernandes (2012) et V. Delvigne (2010).

Dénomination : silex bajocien de Lozère.

Origine stratigraphique primaire : Bajocien.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène.

Origine géographique primaire : Causses de Lozère, notamment le Causse de Sauveterre (Lozère).

Origine géographique secondaire : Naussac (Lozère) et plus rarement dans les hautes vallées de la Loire et de l'Allier.

Type de silicification : silex marin.

Protolithe : bio-dolomicrite massive

Milieu de dépôt : plate-forme externes peu profonde et assez agitée.

Habitus : rognons pluricentimétriques à décimétriques.

Cortex : absent.

Néocortex : alluvial ancien (érosion forte ; altération forte ; recristallisation forte).

Limite néocortex / zone silicifiée : nette et régulière, généralement soulignée par une bande centimétrique bipartite brune dans les premiers millimètres et grise à forte recristallisation en partie basale.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabric : entre 70 et 90 %.

Structure : homogène.

Composante détritique : fréquents petits intraclastes jaunes (50 µm) ; fréquents éléments (100 à 150 µm) sub-arrondis (sph. 0,5 - 0,7 ; arr. 0,5) ; rares exoclastes (100 µm) noirs arrondis (sph. 0,7 ; arr. 0,9).

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquents gros spicules mono-axones épigénisés (parfois sous forme de fantôme) ; rares petits entroques ; fréquents fragments de bivalves (dont *Trigonia costata*) ; fréquence variable de dasycladacées peu fragmentées ; rares *lithophyllum* fragmentés ; P. Fernandes et collaborateurs (2008b) notent la présence de codiacées.

Minéralogie : fréquents petits (50 à 100 µm) rhomboédres en cours de recristallisation.

Tri : bon

Répartition : homogène.

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : brune (oxydation prononcée de la matrice).

Porosité : faible.

Rugosité : faible à moyenne.

Altération : forte oxydation de la matrice puis, dans un second temps, des *allochems* ; homogénéisation de la matrice et évolution de la calcédonite en microquartz ; importante épigénie des *allochems* (notamment des spicules) jusqu'à l'obtention d'un faciès homogène à rares fantômes de spicules (« Type F0034 » de P. Fernandes *et al.* 2008b)¹.

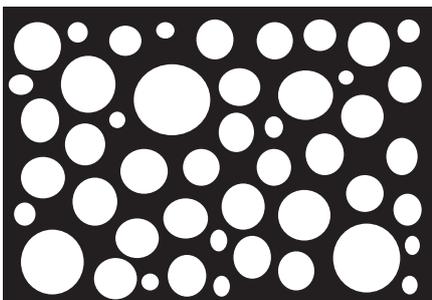
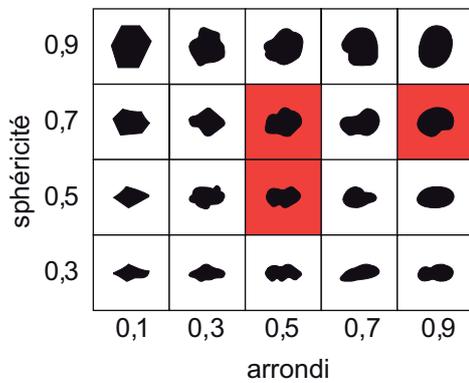
Bibliographie : Masson 1981a ; Fernandes *et al.* 2008a, 2008b, 2009 ; Fernandes 2012 ; Delvigne 2010.

¹ P. Fernandes et collaborateurs (2008b), dans le cadre de la prospection thématique sur l'espace minéral dans le sud du massif central, ont bien illustré l'évolution du Type F140 selon le principe de chaîne évolutive du silex:

Type F140 > Type F148 > Type F22 (correspondant au « Type 30 » de A. Masson) > Type F034
D'un pôle à l'autre de cette chaîne on constate une diminution de la taille et un arrondissement des rognons, une forte recristallisation passant d'une matrice à dominante de calcédonite à une matrice comprenant des microquartz (forme minéralogique la plus stable), une opacification, une oxydation et une disparition des *allochems*.

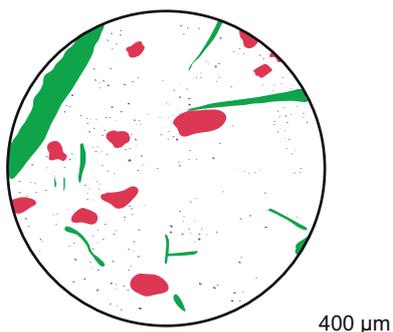
Type F140.1

1. Vue macroscopique

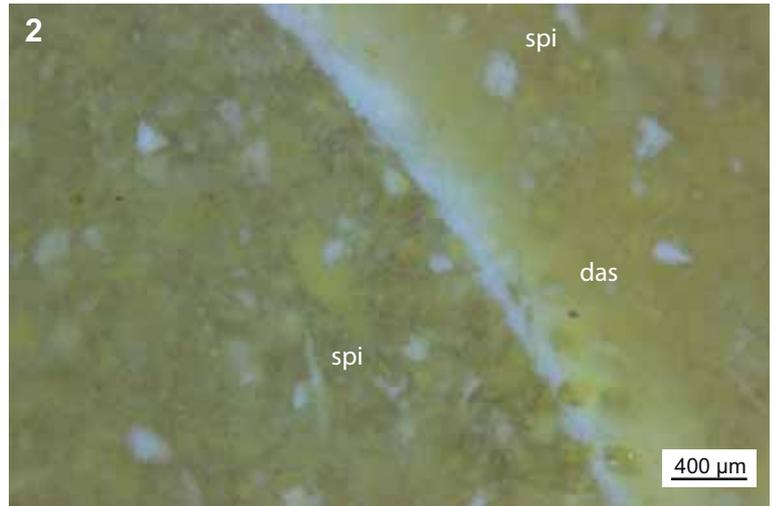


tri bon

Schéma interprétatif



composante détritique (■), chimique (■), biologique (■)



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RAT_822
2. Vue binoculaire, faciès à spicule (spi) et dasycladacée (das), ech : géologique (Naussac, 48)
3. Vue binoculaire, faciès à spicule (spi), fragment de coquille de lamellibranche (lam) et fragment de *lithophyllum* (lam), ech : géologique (Naussac, 48)
4. Vue binoculaire, faciès à rhomboèdres (rho), cliché P. Fernandes ech : RAT_822

Type : F0140.2.

Dénomination : silex gris zoné de Naussac.

Origine stratigraphique primaire : Tithonien (probable)¹.

Origine stratigraphique secondaire : Miocène.

Origine géographique primaire : inconnue.

Origine géographique secondaire : Naussac (Lozère).

Type de silicification : silex marin.

Protolithe : indéterminé.

Milieu de dépôt : plate-forme externe assez calme proche de la barrière.

Habitus : rognons pluricentimétriques (probable).

Cortex : absent.

Néocortex : alluvial ancien (érosion très forte ; altération totale ; recristallisation moyenne à forte ; poli fluviatile moyen, développement d'une forte patine brune antérieurement à la recristallisation).

Limite néocortex / zone silicifiée : nette et régulière ; soulignée par un front d'oxydation (coloration brune) inframillimétrique marqué.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique

Pétrofabrique : allochems > 70%.

Structure : homogène à zonée.

Composante détritique : fréquents fantômes de gros intraclastes (500 µm) arrondis (sph. 0,7 - 0,9 ; arr. 0,9) ; fréquents petits éléments micritiques blancs arrondis (sph. 0,7 ; arr. 0,9)

Composante chimique : absente.

Composante biologique : fréquents spicules mono-axones ; rares squelettes tridimensionnels d'éponges peu fragmentés ; rares dasycladacées peu fragmentées ; rares foraminifères bisériés (*Textularia sp.*) ; fréquents *lithophyllum* ; rares fragments de bivalves.

Minéralogie : fréquentes grosses (200 µm) sphérolithes à remplissage de microquartz automorphe.

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : indéterminée.

Couleur acquise : grise

Porosité : faible.

Rugosité : nulle à faible.

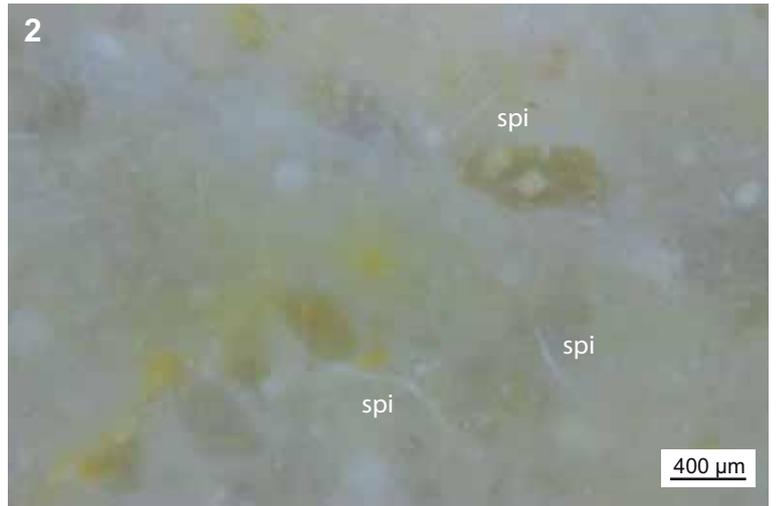
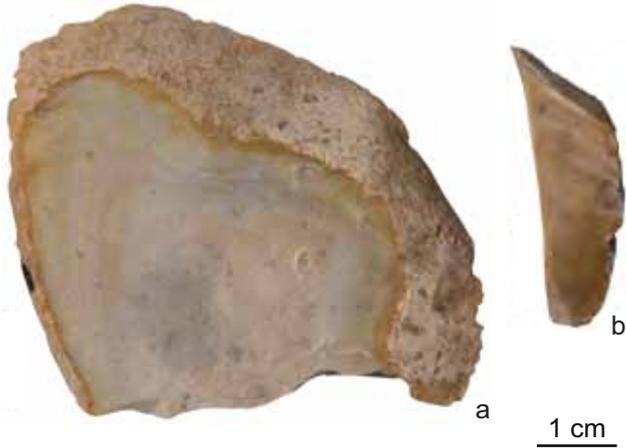
Altération : le cœur du silex est moins évolué que la périphérie ; opacification de la matrice, les fantômes d'intraclastes restent limpides ; imprégnation centripète de la matrice par du fer ferrique.

Bibliographie : absente.

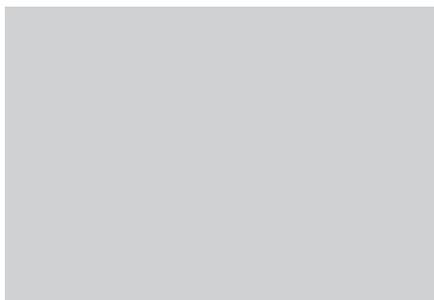
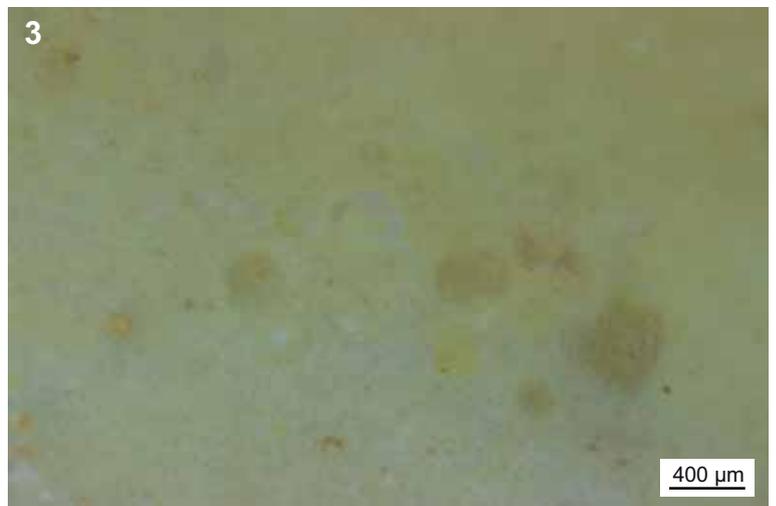
¹ Ce type, retrouvé uniquement en position secondaire dans les dépôts miocènes de Naussac, n'est pas sans rappeler les silex du Tithonien d'Ardèche (ex Labaume ; Vogüe) (Delvigne et Lafarge 2012). Pourrait-il provenir d'anciens calcaires tithoniens démantelés présents dans le bassin versant de l'Allier en amont de Naussac et aujourd'hui complètement disparus ?

Type F0140.2

1. Vue macroscopique

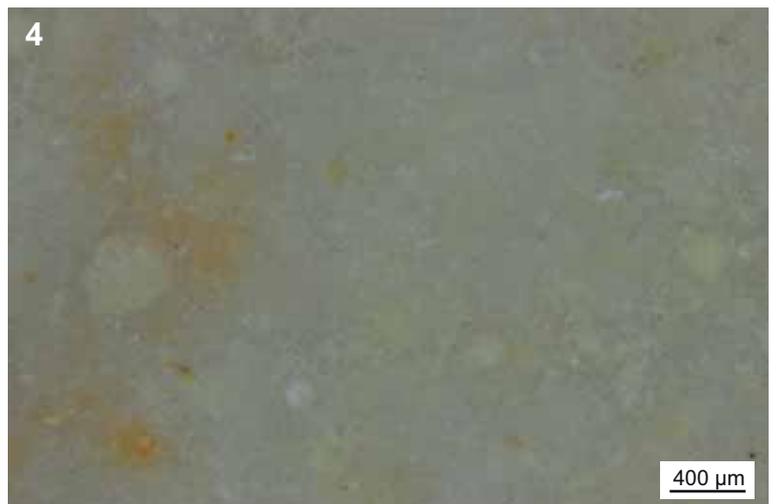
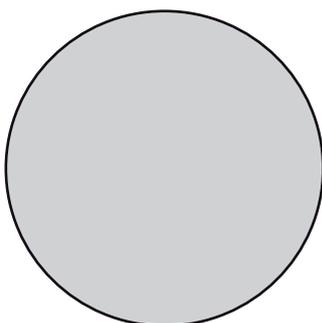


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RDB_2DF114
2. Vue binoculaire, faciès à spicules (spi),
ech : géologique (Naussac, 48)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : RDB_2DF114
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : BVm_67

Type : F0152 ; « Type F152 » de P. Fernandes (2012).

Dénomination : silice hydrothermale de Naussac.

Origine stratigraphique primaire : indéterminée ; postérieure au Sidérolithique (probable).

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : La Garenne, Naussac (Lozère).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silice hydrothermale.

Protolithe : granite (probable).

Milieu de dépôt : filon de basse température (probable).

Habitus : fragment de filon pluricentimétrique.

Cortex : granitique.

Néocortex : colluvions (érosion forte > altération).

Limite cortex / zone silicifiée : plus ou moins diffuse et irrégulière.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique.

Pétrofabricque : indéterminable.

Structure : homogène.

Composante détritique : absente.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : absente.

Minéralogie : enchevêtrement de fibres aciculaires orientées ou en faisceaux.

Tri : indéterminable.

Répartition : indéterminable.

Couleur initiale : kaki.

Couleur acquise : verte à noire.

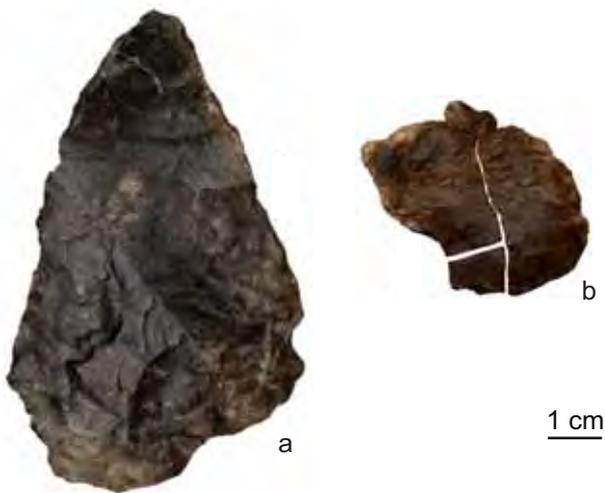
Porosité : nulle ; rares diaclases colmatées par du quartz tardif

Rugosité : nulle à faible.

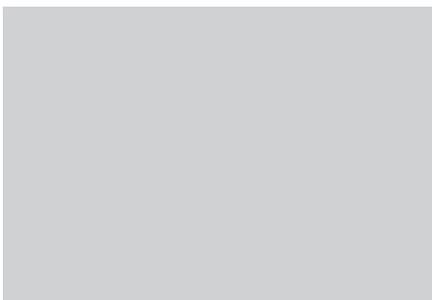
Altération : indéterminée.

Bibliographie : Fernandes *et al.* 2008a ; 2008b ; Fernandes 2012.

1. Vue macroscopique

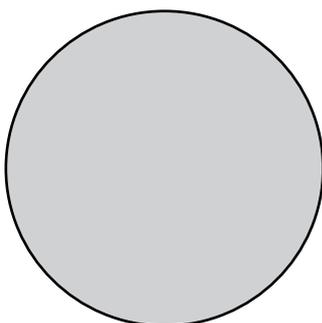


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RAT_203
2. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Naussac, 48)
3. Vue binoculaire, faciès,
ech : géologique (Naussac, 48)
4. Vue binoculaire, faciès,
ech : RAT_203

Type : F0558 ; « Type F0558 » de P. Fernandes et collaborateurs (2014c).

Dénomination : silex à stromatolithes du Puy Ferrat.

Origine stratigraphique primaire : Miocène.

Origine stratigraphique secondaire : indéterminée.

Origine géographique primaire : Puy Ferrat, Egliseneuve-près-Billom (Puy-de-Dôme).

Origine géographique secondaire : inconnue.

Type de silicification : silex.

Protolithe : dolomicrite massive.

Milieu de dépôt : palustre.

Habitus : dalles et fragments de dalles pluricentimétrique à pluridécimétrique.

Cortex : millimétrique à centimétrique ; grumeleux et corné ; siliceux ; blanc à jaune ; à faible porosité ; ne porte pas de fossiles.

Néocortex : colluvions (érosion > altération)

Limite cortex / zone silicifiée : nette et irrégulière ; marquée par des invaginations millimétriques.

Zone silicifiée :

Épaisseur : pluricentimétrique à pluridécimétrique.

Pétrofabric : allochems > 80 %.

Structure : homogène.

Composante détritique : fréquents petits (100 µm) exoclastes anguleux (sph. 0,5 - 0,7 ; arr. 0,3) ; abondant petits (< 50 µm) éléments blancs.

Composante chimique : absente.

Composante biologique : abondants grands stromatolithes LLH-S et LLH-C assez fragmentés

Minéralogie : pas d'information.

Tri : indéterminable.

Répartition : homogène.

Couleur initiale : grise.

Couleur acquise : brune.

Porosité : faible à moyenne.

Rugosité : faible à moyenne.

Altération : brunissement partielle de la matrice.

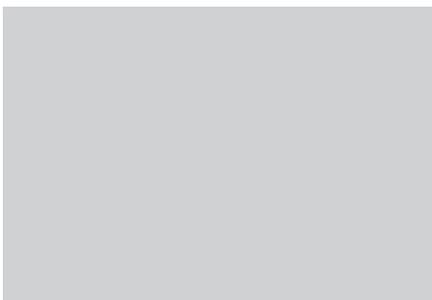
Bibliographie : Fernandes *et al.* 2014c.

Type F0558

1. Vue macroscopique

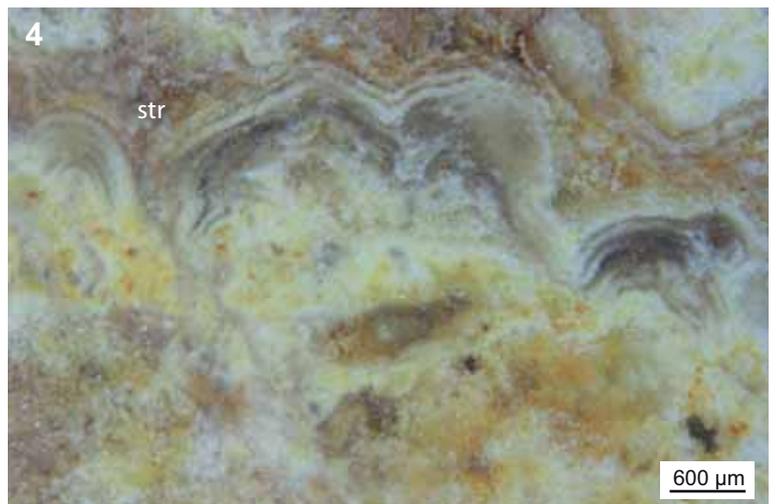
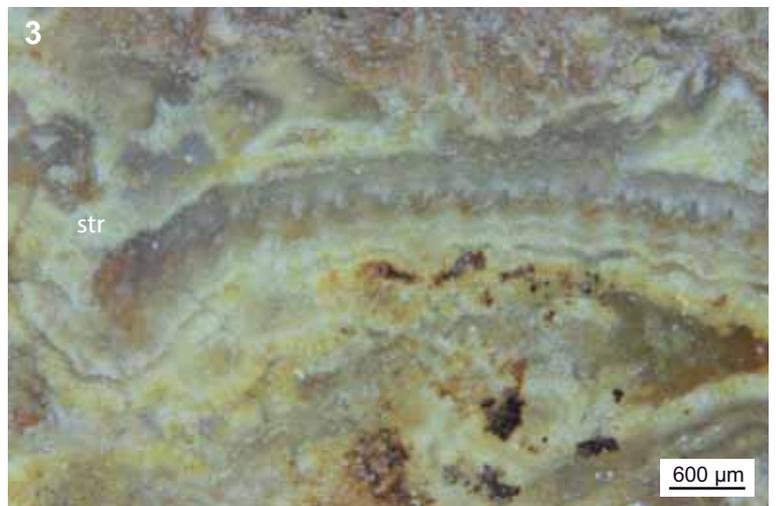
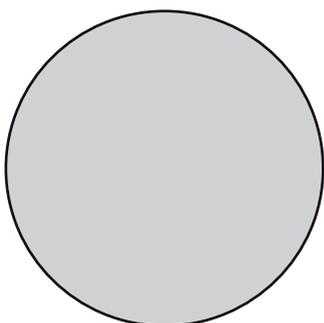


0,9					
0,7					
0,5					
0,3					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
	arrondi				



tri indéterminable

Schéma interprétatif



1. Vue macroscopique, a : géologique et b : RAT_130
2. Vue binoculaire, faciès à stromatholithe LLH-C (str), ech : géologique (Égliseneuve-près-Billom, 63)
3. Vue binoculaire, faciès à stromatholithe LLH-C (str), ech : RAT_130
4. Vue binoculaire, faciès à stromatholithe LLH-C (str), ech : RAT_1686

01 - Id	02 - département	03 - commune	04 - lieu dit	05 - X-lamb93	06- Y-lamb93	07 - Z
8	15-Cantal	Ytrac	Belbex carriere Lamartinie	653163.189	6424348.450	640
9	15-Cantal	Ytrac	Belbex carriere Lamartinie	653163.189	6424348.450	640
10	15-Cantal	Ytrac	Belbex carriere Lamartinie	653163.189	6424348.450	640
11	15-Cantal	Aurillac	les Garoustes	654439.005	6424587.513	640
12	15-Cantal	Aurillac	les Granges	656024.395	6420053.441	605
13	15-Cantal	Saint-Paul-des-Landes	carriere du Puy-du-Toule	646509.115	6429074.890	640
14	15-Cantal	Crandelles	carriere Masmarty	647760.593	6429389.099	640
15	15-Cantal	Jussac	Limagne	653767.821	6433885.507	640
16	15-Cantal	Saint-Simon	le Martinet	659050.337	6429419.269	700
17	15-Cantal	Aurillac	Uni-Centre-Serum	654716.205	6424879.913	645
18	15-Cantal	Vic-sur-Cere	la Prade	671040.985	6432615.410	740
19	15-Cantal	Giou-de-Mamou	Chemin -de-Mamou-Bas	660967.731	6425756.572	701
20	15-Cantal	Giou-de-Mamou	Calfour	660793.378	6425932.873	680
21	15-Cantal	Giou-de-Mamou	Longuevergne	660658.587	6424635.220	720
22	15-Cantal	Yolet	Boudieu	661534.383	6424827.676	700
23	15-Cantal	Giou-de-Mamou	Carnejac	660754.078	6424109.909	620
24	15-Cantal	Aurillac	Lescudilier	654714.149	6424635.158	640
24	15-Cantal	Aurillac	Lescudilier	654714.149	6424635.158	640
25	15-Cantal	Aurillac	Aron	654260.404	6424139.431	650
26	15-Cantal	Aurillac	les Issarts	654939.139	6421686.025	620
27	15-Cantal	Yolet	chateau de Caillac	662651.320	6423994.065	620
28	15-Cantal	Aurillac	Puy Courny, Coissy	656261.751	6424522.265	650
29	15-Cantal	Aurillac	puy Courny	656536.055	6424470.010	740
30	15-Cantal	Arpajon-sur-Cere	la Vergne	657711.973	6421737.688	613
31	15-Cantal	Aurillac	Baradel	655848.723	6422927.225	606
32	15-Cantal	Aurillac	Marmier	655669.282	6422379.244	610
33	15-Cantal	Aurillac	Tronquiere	654419.282	6422239.872	640
34	15-Cantal	Yolet	le Pont-de-Couderc	664311.831	6425428.757	628
35	15-Cantal	Vezac	Lagane	663708.229	6421962.083	750
36	15-Cantal	Arpajon-sur-Cere	Puy-de-Vaurs	657813.240	6422969.684	700
37	15-Cantal	Arpajon-sur-Cere	Peyssierre	655983.885	6421177.727	585
38	15-Cantal	Arpajon-sur-Cere	le Bousquet	655148.274	6421368.566	610
39	15-Cantal	Aurillac	lycee Emile duclaux	655848.956	6425570.754	640
40	15-Cantal	Aurillac	Bois-de-Conthe	654032.693	6423791.668	660
41	15-Cantal	Arpajon-sur-Cere	Conros	654405.019	6420541.581	620
42	15-Cantal	Montmurat	Puech-du-Rozier	636148.159	6393825.213	330
43	15-Cantal	Saint-Santin-de-Maurs	Salieges	636993.053	6393313.614	340
44	15-Cantal	Saint-Santin-de-Maurs	la Garenne	637685.403	6395222.957	340
45	15-Cantal	Saint-Santin-de-Maurs	Gratacap	636328.378	6394468.079	300
46	15-Cantal	Nieudan	Peyrelevade	639146.357	6430784.063	590
47	15-Cantal	Laroquebrou	Pont-d'Orgon	639039.817	6430826.916	590
48	15-Cantal	Thiezac	Lasmolineries ruisseau	671946.253	6434530.999	820
49	15-Cantal	Thiezac	Lescure	673188.614	6435544.591	950
51	15-Cantal	Anglards-de-Saint-Flour	la Courbertirade	712224.344	6432268.301	860
52	15-Cantal	Faverolles	Bois de Chassan	712006.446	6427159.959	890

01 - Id	02 - département	03 - commune	04 - lieu dit	05 - X-lamb93	06- Y-lamb93	07 - Z
53	15-Cantal	Faverolles	Champ Grand	712635.148	6427669.165	850
54	15-Cantal	Saint-Georges	Palageat	709348.214	6437737.483	850
55	15-Cantal	Saint-Flour	Vendeze	708278.005	6438186.104	850
56	15-Cantal	Saint-Flour	Grisols	709421.790	6434614.779	870
57	15-Cantal	Joursac	le Cimetiere	700225.109	6448814.270	890
58	15-Cantal	Saint-Flour	la Cheyre	705814.078	6439225.947	820
59	15-Cantal	Saint-Georges	le Crozatier	710865.987	6437050.302	820
60	15-Cantal	Vezac	Lagane Rn 990	663783.153	6421961.454	740
62	15-Cantal	Cros-de-Ronesque	le Teil, carriere de Morziere	669063.722	6420243.655	850
63	15-Cantal	Cros-de-Ronesque	pont-de-Plancarade	668167.239	6420560.899	590
64	15-Cantal	Cros-de-Ronesque	Puech-Maurenq	669437.501	6420140.606	830
65	15-Cantal	Carlat	Lessenat	666523.669	6420784.513	848
66	15-Cantal	Raulhac	le Goul	671216.369	6420800.013	560
68	15-Cantal	Carlat	Estourel	667576.163	6421554.936	850
123	43-Haute-Loire	Beaumont	Montlaison	725793.801	6468595.108	520
124	43-Haute-Loire	Beaumont	Chaniat	725759.536	6467496.397	478
125	43-Haute-Loire	Brioude	la Graviere	731893.542	6466270.604	424
127	43-Haute-Loire	Fay-sur-Lignon	Senicroze	796882.382	6430751.921	1180
128	43-Haute-Loire	Chaudeyrolles	les Fontettes	794976.759	6429059.739	1310
129	43-Haute-Loire	Saint-Etienne-sur-Blesle	chateau de la Fage	709324.795	6467177.659	620
200	43-Haute-Loire	Solignac-sur-Loire	Vallee de la Beaume	770530.856	6427703.805	750
202	43-Haute-Loire	Solignac-sur-Loire	Vallee de la Beaume	770755.549	6427691.910	670
203	43-Haute-Loire	Goudet	le bourg	772900.663	6421464.615	730
204	43-Haute-Loire	Goudet	le Plot	772927.545	6421689.174	734
208	43-Haute-Loire	Solignac-sur-Loire	le Chambon	773115.608	6429130.520	680
209	43-Haute-Loire	Solignac-sur-Loire	le Chambon 2	773095.670	6429135.684	685
210	43-Haute-Loire	Chadron	confluence Loire Gazeille	773164.710	6429030.198	680
221	63-Puy-de-Dome	Charbonnier-les-Mines	le bourg	722636.256	6479187.237	410
222	63-Puy-de-Dome	Madriat	cimetiere	714070.163	6481702.412	480
228	63-Puy-de-Dome	Saint-Babel	Mont-Servais	722576.955	6503159.437	790
230	63-Puy-de-Dome	Pignols	le bourg	721895.936	6505214.382	630
231	63-Puy-de-Dome	Pignols	Prama	722134.085	6505493.122	630
232	63-Puy-de-Dome	Laps	Fontenil	719657.857	6508046.811	580
233	63-Puy-de-Dome	Egliseneuve-pres-Billom	Puy-Ferrat	730140.722	6512539.188	553
234	43-Haute-Loire	Chadron	Gazeille	773884.540	6428499.591	670
235	63-Puy-de-Dome	Saint-Jean-des-Ollieres	Lavandy	732880.679	6506201.581	640
236	63-Puy-de-Dome	Busseol	Ladot	719646.515	6509660.490	640
237	63-Puy-de-Dome	Busseol	la Motte	720001.460	6510281.944	590
238	63-Puy-de-Dome	Laps	Jolivat	721287.692	6508787.380	585
239	63-Puy-de-Dome	Laps	les Verdiers	720754.198	6507727.822	564
247	43-Haute-Loire	Lantriac	les Chiers	777246.925	6430319.330	790
266	43-Haute-Loire	Lantriac	la Cabouche	777775.013	6430739.450	790
267	43-Haute-Loire	Chadron	Colempce	773884.964	6428549.541	705
268	43-Haute-Loire	Beaulieu	les Rouzeyroux	773932.481	6445907.800	620
269	43-Haute-Loire	Le Monastier sur Gazeille	l'Herm	777061.915	6429122.032	870

01 - Id	02 - département	03 - commune	04 - lieu dit	05 - X-lamb93	06- Y-lamb93	07 - Z
270	43-Haute-Loire	Le Monastier sur Gazeille	Meyzoux	780986.772	6426591.089	1010
271	43-Haute-Loire	Le Monastier sur Gazeille	le Mont	776527.463	6427952.676	970
272	43-Haute-Loire	Chadron	Chabeyre	775250.968	6427638.809	900
273	43-Haute-Loire	Freycenet-la-Tour	Ribette-Basse	785783.468	6426725.187	1110
274	43-Haute-Loire	Presailles	Chabardeuil	782756.108	6423179.286	1140
277	43-Haute-Loire	Brives-Charensac	le Chartreuse	772306.845	6439777.348	605
278	43-Haute-Loire	Espaly-Saint-Marcel	les Riveaux	767807.875	6439415.882	640
279	43-Haute-Loire	Polignac	les Estreys	764076.407	6441195.891	680
280	43-Haute-Loire	Saint-Vidal	la Borne	762511.444	6442208.229	720
281	43-Haute-Loire	Borne	les Chazeaux	762674.143	6443720.439	735
282	43-Haute-Loire	Saint-Pierre-Eynac	Billiere	781964.694	6438796.240	860
293	43-Haute-Loire	Araules	le Calvaire	792304.196	6444552.882	1070
299	43-Haute-Loire	Araules	le collet	792327.896	6444402.821	1060
300	43-Haute-Loire	Araules	Aulagnier	791282.437	6444470.651	1050
301	43-Haute-Loire	Araules	le Clarel	791875.283	6444047.006	1090
302	43-Haute-Loire	Chastel	Moulergues	725202.929	6440061.269	1060
303	43-Haute-Loire	Saint-Julien-du-Pinet	Glavenas	783049.899	6448927.485	980
304	43-Haute-Loire	Le Monteil	Fay-la-Triouleyre	773302.528	6440670.057	770
310	43-Haute-Loire	Mazet-Saint-Voy	les Crozes	797345.049	6439919.348	1060
311	43-Haute-Loire	Mazet-Saint-Voy	Roudon	798358.137	6439805.833	1050
312	43-Haute-Loire	Saint-Jeures	Freycenet	795909.004	6442574.071	1040
323	63-Puy-de-Dome	Egliseneuve-pres-Billom	les Maisons-Basses	729854.634	6511672.375	510
450	43-Haute-Loire	Polignac	Bilhac	767285.983	6442667.272	710
452	43-Haute-Loire	Le Monteil	Plateau-de-la-Chaud	772426.666	6441533.683	775
500	43-Haute-Loire	Chadron	Onzillon	773004.976	6427867.655	750
501	43-Haute-Loire	Chadron	bois Lissard	773492.689	6426474.835	925
502	43-Haute-Loire	Chadron	les Bourlattes	773153.555	6426186.987	890
503	43-Haute-Loire	Coubon	la Pepiniere	769662.616	6434289.951	790
504	43-Haute-Loire	Beaulieu	Mariol	773431.533	6448684.466	595
505	43-Haute-Loire	Arsac-en-Velay	les Boiroux	775952.720	6433802.030	713
506	43-Haute-Loire	Cussac-sur-Loire	la Prade	770152.921	6433201.815	650
507	43-Haute-Loire	Coubon	Charentus	770597.280	6433762.514	650
508	43-Haute-Loire	Chadron	Senieberge	773899.122	6427275.627	820
515	63-Puy-de-Dome	Arlanc	Vivic	760040.94	6479648	-
516	63-Puy-de-Dome	Arlanc	Le Beilloux	760133.55	6480640.58	-
518	63-Puy-de-Dome	Arlanc	Choupayres	761046.36	6481421.10	-
526	63-Puy-de-Dome	Chatel-guyon	Saint Hyppolithe	704541.92	6534691.23	-
529	15-Cantal	Anglards-de-Saint-Flour	nord du Bourg	712138.113	6431994.287	878
530	15-Cantal	Anglards-de-Saint-Flour	cimetiere	712219.182	6431655.921	855
531	15-Cantal	Faverolles	La Fouliere	713633.976	6429064.407	840
532	15-Cantal	Chaudes-Aigues	les Angles	699203.547	6419806.033	856
534	43-Haute-Loire	Lantriac	la Collange reservoir	777023.563	6432134.512	911
539	43-Haute-Loire	Saint-Germain-Laprade	Priouret	776376.333	6435683.656	696
540	43-Haute-Loire	Arsac-en-Velay	le Magnore b	774827.532	6435070.382	645
542	43-Haute-Loire	Mazeyrat	le Chassagnon	739705.841	6450388.972	580

01 - Id	02 - département	03 - commune	04 - lieu dit	05 - X-lamb93	06- Y-lamb93	07 - Z
543	43-Haute-Loire	Saint-Haon	le bourg	758429.170	6415795.798	740
545	43-Haute-Loire	Saugues	Cubizolle	745410.39	6431297.46	-
547	43-Haute-Loire	Mazeirat	le Monteil	739689.819	6450030.439	570
548	63-Puy-de-Dome	Orbeil	Naves	721714.82	6497784.59	-
549	63-Puy-de-Dome	Pignols	Puy-de-Courand	721499.051	6505186.762	610
551	63-Puy-de-Dome	Le Crest	la Vernede	710356.640	6510722.084	440
552	63-Puy-de-Dome	Pignols	le Puy	721864.448	6505626.285	630
553	43-Haute-Loire	Polignac	Flayac	767243.667	6442037.219	710
556	43-Haute-Loire	Saint-Haon	Crouzet du Tatissou	759013.267	6417880.854	902
557	43-Haute-Loire	Saint-Privat-d'Allier	le Bois Noir	752921.015	6430382.664	660
558	43-Haute-Loire	Mazeyrat	le Lac Long	739446.786	6451535.110	570
559	43-Haute-Loire	Couteuges	Chausse-Haut	739995.093	6451985.053	576
561	43-Haute-Loire	Chambezon	La Bau	717790.049	6475571.483	650
562	43-Haute-Loire	Saint-Julien-de-Chapteuil	le bourg	784074.653	6437255.761	890
569	63-Puy-de-Dome	Saint-Jean-des-Ollieres	Chavarot	733361.013	6506290.435	640
570	63-Puy-de-Dome	Saint-Jean-des-Ollieres	Arbaud	732521.212	6506345.497	653
700	03-Allier	Saint Angel	Le Bouchat (carriere)	679243.420	6582856.903	326
701	03-Allier	Urcay	Les Pics 1	669201.269	6614043.050	229
702	03-Allier	Urcay	Les Pics 2	669460.245	6614183.757	230
703	03-Allier	Urcay	Les Pics 3	669484.425	6614088.630	233
704	03-Allier	Saint Bonnet de Fours	Les Mats 1	691352.402	6580596.739	368
705	03-Allier	Saint Bonnet de Fours	Les Mats 2	691025.090	6580646.457	361
706	03-Allier	Saint Bonnet de Fours	Les Mats 3	690806.874	6580243.631	368
707	03-Allier	Saint Bonnet de Fours	Les Mats 4	690997.593	6580584.740	363
708	03-Allier	Nassigny	Montchevrier (ferme)	668861.626	6599086.045	236
709	03-Allier	Chazemais	Le Petit Villevandret	666450.950	6600317.336	238
710	03-Allier	Domerat	Les Ferrandes	664949.472	6582174.851	277
711	03-Allier	Domerat	Chateaugay : zone industrielle	666745.028	6585387.085	228
712	03-Allier	Domerat	Chateaugay : voie rapide	666907.952	6585750.414	227
713	03-Allier	Domerat	Chateaugay : zone industrielle	666918.473	6585813.274	227
714	03-Allier	Domerat	Voreilles (petit bois)	664956.450	6583836.422	251
715	03-Allier	Domerat	Les Rimords	664953.110	6582607.464	271
716	03-Allier	Domerat	Clos Sanvoisin	665430.839	6583572.645	254
717	03-Allier	Domerat	La brosse tempete	665880.831	6583615.821	230
718	03-Allier	Domerat	Valleix	665107.131	6583932.074	248
719	03-Allier	Vallon	Peufeulieux	671175.929	6606352.641	234
720	03-Allier	Braize	Montaloyer	672927.604	6615388.596	288
721	03-Allier	Saligny sur Roudon	Tilly	755395.225	6595127.864	250
722	03-Allier	Pierrefite sur Loire	Les Grands brules	760262.245	6599959.554	254
723	03-Allier	Pierrefite sur Loire	Les Grands brules 2	760398.692	6599553.728	259
724	03-Allier	Pierrefite sur Loire	La reverdits	763343.295	6599199.000	250
725	03-Allier	Montaigut Le Blin	Les Ruets	741736.408	6577428.327	326
726	03-Allier	Saint Pourcain	Briailles cote 296	725387.385	6577976.241	296
727	03-Allier	Meillers	La Bruyere Chaumiau	708457.005	6602356.386	376
728	03-Allier	Voussac	La Juche	709914.609	6579702.742	451

01 - Id	02 - département	03 - commune	04 - lieu dit	05 - X-lamb93	06- Y-lamb93	07 - Z
729	03-Allier	Louroux Hodement	Le Fournil	678142.957	6595156.076	286
730	03-Allier	Domerat	Chateaufavier	663722.092	6583554.046	272
731	03-Allier	Louroux Hodement	Sud	678098.3	6595621.62	-
732	03-Allier	Louroux Hodement	Plateau	678481.94	6595603,1	-
733	03-Allier	Domerat	Le Rocher du Mery	665594.384	6580089.145	327
734	03-Allier	Couleuvre	Le petit Dumys	695963.208	6617652.565	237
735	03-Allier	Pouzy-Mesangy	Les Bariteaux	697838.130	6619242.462	230
736	03-Allier	Pouzy-Mesangy	La cote Pelouze	699336.189	6621522.990	234
737	03-Allier	Pouzy-Mesangy	Foret Champroux	699524.484	6621931.074	241
738	03-Allier	Couleuvre	Le Chauvet	692529.798	6621308.619	229
739	03-Allier	Couleuvre	Sud le ratoire	694253.896	6616979.532	241
741	03-Allier	Premilhat	Les maisons rouges	666566.641	6579621.344	291
742	03-Allier	Verneix	Le Chatre	674115.312	6587328.421	352
743	03-Allier	Domerat	Les Rimords 2	664821.899	6582450.698	282
744	03-Allier	Premilhat	Les maisons rouges	666390.368	6579215.165	285
745	03-Allier	Domerat	Crevallat	666440.414	6583621.104	232
746	03-Allier	Domerat	Les Guillaumettes	666041	6584540	246
747	03-Allier	Domerat	Le Mery	663462.571	6582397.186	335
748	03-Allier	Domerat	Le Mery	663977.320	6582417.835	297
749	03-Allier	Vaux	Les Champs d'argentiere	667401.322	6589406.257	217
750	03-Allier	Vaux	Les Crozardais	668093.120	6589687.201	236
751	03-Allier	Saligny sur Roudon	Carriere de Tilly	755535.947	6595226.588	265
752	03-Allier	Nassigny	Cimetiere	669049.258	6598941.583	208
753	03-Allier	Nassigny	Montchevrier colline	668246.455	6599006.289	253
754	03-Allier	Urcay	Beaumont	671397.289	6614848.915	277
755	03-Allier	Vaumas	Formelay	752247.101	6594457.138	288
756	03-Allier	Vaumas	Montrouset	751194.725	6594665.895	291
757	03-Allier	Vaumas	Formelay: cote 386	752339.729	6594776.090	286
910	03-Allier	Chamblet	Le Gratelet - Le Bouchat	679477.271	6582387.321	327
911	03-Allier	Saint Angel	Le Gratelet - Le Bouchat	679368.042	6582468.174	326
912	03-Allier	Premilhat	Les Gardes cote 296	666677.561	6578791.097	298
913	03-Allier	Premilhat	Les Brandes cote 278	666635.801	6580122.347	281
914	03-Allier	Premilhat	Les Bosquets Sud cote 274	666915.022	6580294.853	276
930	03-Allier	Vallon en Sully	Ancienne carriere des Aiguillons	673124.246	6603133.850	246
931	03-Allier	Nassigny	Sud Ouest ferme de Montchevrier	668798.909	6599113.550	241
932	03-Allier	Saint Victor	Les Barrichoux	667779.853	6586655.328	205
943	03-Allier	Saint Bonnet de Fours	Le Feuilloux	691535.99	6580799,01	-
945	63-Puy-de-Dome	Saint Maurice	Puy Saint Romain	718903.94	6508897,2	-
946	63-Puy-de-Dome	Saint Maurice	Puy Saint Romain	718903.94	6508897,2	-
947	63-Puy-de-Dome	Saint Maurice	Puy Saint Romain	718903.94	6508897,2	-
948	63-Puy-de-Dome	Pignols	Elevage	722166.35	6505493,11	-
949	63-Puy-de-Dome	Pignols	Le Puy 2	722198.14	6505276,15	-
954	03-Allier	Meillers	point cote	707789.71	6601188,52	-
955	03-Allier	Meillers	point cote	707789.71	6601188,52	-
966	43-Haute-Loire	Saint-Pierre-Eynac	Carriere	781923.2	6439122,65	-

01 - Id	02 - département	03 - commune	04 - lieu dit	05 - X-lamb93	06- Y-lamb93	07 - Z
969	03-Allier	Meillers	Pont de Villemier-Rau de Coulombiere	705231.048	6605486.107	242
970	03-Allier	Gipcy	Rau de Jean Le bois	703257.189	6604840.310	255
971	03-Allier	Gipcy	La place	703099.089	6600668.045	375
972	03-Allier	Gipcy	Lariot (proxim. Cote 332)	703411.870	6601619.626	320
973	03-Allier	Gipcy	Les charmes (proxim cote 304)	703169.320	6601886.458	306
974	03-Allier	Gipcy	Les charmes (bosquets)	703382.848	6601969.586	295
975	03-Allier	Gipcy	La Jarrie	703585.139	6601668.122	318
980	63-Puy-de-Dome	Pignols	Plateau ^ l'ouest et nord ouest village	722042.946	6505349.020	650
1012	63-Puy-de-Dome	La Sauvetat	Grosmeniers	712658.986	6505324.364	381
1013	63-Puy-de-Dome	La Sauvetat	SE de Grosmeniers	712647.713	6505172.593	385
1014	63-Puy-de-Dome	La Sauvetat	Grosmenier cote 388	712611.428	6504780.245	382
1015	63-Puy-de-Dome	Vertaizon	Ancienne eglise	722342.756	6519307.217	423
1016	63-Puy-de-Dome	Chauriat	Nord puy de Pileyre	722660.575	6517072.487	498
1017	63-Puy-de-Dome	Chauriat	Nord puy de Pileyre	722572.771	6516968.321	485
1018	63-Puy-de-Dome	Chauriat	nord de a cote 475 puy de pileyre	722396.433	6517146.656	491
1019	63-Puy-de-Dome	Chauriat	puy Benoit ouest de la cote 481	721983.396	6515444.644	474
1020	63-Puy-de-Dome	Chauriat	puy Benoit	722125.265	6515325.548	478
1047	03-Allier	Meillers	Le Moulin	706317.368	6601247.376	-
1048	03-Allier	Domerat	Chateaugay-echangeur 38 avec RN45	667103.628	6585968.587	-
1049	03-Allier	Souvigny	Picoiseau sud	715570.572	6603100.622	-
1050	03-Allier	Vaux	Les Chapus pres argentieres	666414.881	6589376.587	-
1051	03-Allier	Domerat	Clos Sanvoisin	665618.695	6583455.160	-
1052	03-Allier	Domerat	Clairembois	665328.160	6583957.193	-
1053	03-Allier	Domerat	oie rapide cote 254pont du chemin de fe	665079.374	6583839.384	-
1054	03-Allier	Villefranche d'Allier	Les vizelles-Ruisseau de rongeres	689683.455	6584591.502	-
1055	03-Allier	Meillers	Carriere	707750.77	6601121,75	-
2342	43-Haute-Loire	Lantriac	Pont-de-Moulines	776995.051	6430071.702	780
2721	43-Haute-Loire	Freycenet-la-Tour	Reyrac	783778.670	6425942.972	1070
4991	43-Haute-Loire	Chadron	l'Ardouze	773248.683	6428330.148	745
5051	43-Haute-Loire	Arsac-en-Velay	le Magnore	775633.497	6434447.130	660
5171	63-Puy-de-Dome	Pignols	Pignols nord	722087.234	6505742.299	637
5241	43-Haute-Loire	Le Monastier sur Gazeille	pont de l'Estaing	779485.220	6425774.623	867
123-3	43-Haute-Loire	Le Monastier sur Gazeille	Saint-Victor	776482.674	6425620.266	1000
123-4	43-Haute-Loire	Lantriac	la Collange	777455.214	6431316.620	820
131-8	63-Puy-de-Dome	Madriat	la Chausse	714120.639	6482356.397	480
144-1	15-Cantal	Lorcieres	Broussoles	721028.672	6426186.606	880
222-1	63-Puy-de-Dome	Madriat	la Querade	713926.010	6481787.554	490
222-2	63-Puy-de-Dome	Madriat	la Ronzaille	713566.372	6481200.123	505
222-3	63-Puy-de-Dome	Madriat	Soullouze	713645.143	6481418.261	480
222-4	63-Puy-de-Dome	Madriat	Soullouze 2	713344.046	6481138.059	525
222-5	63-Puy-de-Dome	Madriat	Soullouze 3	713279.478	6481656.139	515
223-1	63-Puy-de-Dome	Madriat	Tapsoba / dalle 2	711974.20	6480542.42	-
223-2	63-Puy-de-Dome	Madriat	Ruisseau de la Souillouze	713402.95	6481388.67	-
223-3	63-Puy-de-Dome	Madriat	dalle 3	713273.30	6481246.21	-
231-1	63-Puy-de-Dome	Pignols	Pre Soubre	722049.785	6505803.562	637

01 - Id	02 - département	03 - commune	04 - lieu dit	05 - X-lamb93	06- Y-lamb93	07 - Z
232-1	63-Puy-de-Dome	Saint-Maurice	Puy-Redon	719334.980	6508264.350	610
233-1	63-Puy-de-Dome	Egliseneuve-pres-Billom	la Forestille	732031.605	6512128.545	580
233-2	63-Puy-de-Dome	Egliseneuve-pres-Billom	le bourg	730408.653	6513621.965	305
234-1	43-Haute-Loire	Lantriac	Couteaux	778715.098	6432614.699	780
235-1	63-Puy-de-Dome	Saint-Jean-des-Ollieres	le Chene-Vert	733208.543	6506573.476	645
239-1	63-Puy-de-Dome	Yronde	cotes de l'Abbat	721537.256	6502850.500	803
267-1	43-Haute-Loire	Chadron	bois Rouillier	774400.165	6430393.424	845
268-1	43-Haute-Loire	Malrevers	les Pabiers	774606.398	6445852.127	640
27-1	15-Cantal	Saint Jacques du Blats	Les Gardes /Ruisseau des chaumettes	678794.20	6440460.59	-
27-2	15-Cantal	Saint Jacques du Blats	Les Gardes /Ruisseau des chaumettes	678794.20	6440460.59	-
270-1	43-Haute-Loire	Le Monastier sur Gazeille	le Crouzet-de-Meyzous	781911.019	6426603.222	1040
270-2	43-Haute-Loire	Le Monastier sur Gazeille	viaduc de la Recoumene	780628.208	6425545.127	970
273-1	43-Haute-Loire	Les Estables	bois-du-Mas	785537.975	6426052.911	1080
273-2	43-Haute-Loire	Freycenet-la-Tour	Charbouneyre	783680.681	6426168.591	1090
278-1	43-Haute-Loire	Ceyssac	montagne du Croustet	766861.094	6436751.417	870
279-1	43-Haute-Loire	Polignac	Cheyrac	769623.069	6441398.614	680
279-2	43-Haute-Loire	Polignac	la Denise	767716.667	6440440.697	760
301-1	43-Haute-Loire	Araules	la Bruyere	793003.162	6444037.419	1010
315-1	43-Haute-Loire	Beaulieu	Recours	773862.057	6449380.160	650
549-1	63-Puy-de-Dome	Pignols	Puy-de-Courand	721257.151	6505291.715	590
549-2	63-Puy-de-Dome	Pignols	Puy-de-Courand	721438.720	6505141.312	600
553-1	43-Haute-Loire	Yssingaux	les Barris	789493.212	6455998.079	850
553-2	43-Haute-Loire	Presailles	le bourg	781145.166	6423362.804	1100
561-1	63-Puy-de-Dome	Les martres-de-Veyre	le Pont-de-Longues	716172.939	6507813.475	350
569-1	63-Puy-de-Dome	Saint-Jean-des-Ollieres	Chavatot 2	733361.013	6506290.435	630
570-1	63-Puy-de-Dome	Saint-Jean-des-Ollieres	Chavarot 3	732481.250	6506345.835	653
693-1	63-Puy-de-Dome	Dallet	Puy de Mur	720240.88	6517789.22	-
694-1	63-Puy-de-Dome	Peschadoires	Gourdet	737080.64	6523325.64	-
717-1	63-Puy-de-Dome	Mirefleus	-	717866.38	6509533.06	-
742-1	43-Haute-Loire	Azerat	La Peyraille	732344.69	6471209.51	-
766-1	43-Haute-Loire	Beaumont	Le Pouget	725739.63	6468151.56	-
768-1	43-Haute-Loire	Bas-en-Basset	Navogne	786458.82	6466019.28	-
789-1	15-Cantal	Saint Flour	Roueyre	705862.04	6439706.19	-
791-1	43-Haute-Loire	Polignac	Champ de la louche	767431.42	6441277.10	-
791-2	43-Haute-Loire	Beaulieu	Jabruzac	774857.6	6446363.83	-
791-3	43-Haute-Loire	Chaspinhac	carriere des roches	774699.64	6443363.21	-
791-4	43-Haute-Loire	Chaspinhac	Mont Serre	773627.91	6443085.69	852
791-4	43-Haute-Loire	Cheyrac	-	762509.14	6470752.95	-
791-5	43-Haute-Loire	Chaspinhac	Garampou	775899.93	6441872.55	843
791-5	43-Haute-Loire	Polignac	Stade	767911.73	6441634.98	-
791-6	43-Haute-Loire	Chaspinhac	Landenouze	773700.67	6444071.27	-
791-7	43-Haute-Loire	Loudes	Rochely	758392.12	6443903.96	835
816-1	43-Haute-Loire	Le Monastier sur Gazeille	Granegoules	781010.17	6425381.66	-
816-2	43-Haute-Loire	Présailles	vallon de Champetienne	783323.93	6420015.86	-
792-1	43-Haute-Loire	Saint-Pierre-Eynac	Hill-top	781969.24	6438880.01	886

01 - Id	02 - département	03 - commune	04 - lieu dit	05 - X-lamb93	06- Y-lamb93	07 - Z
787-1	15-Cantal	Saint-Chamant	Cors	657779.88	6443261.91	-
811-1	15-Cantal	Marmanhac	roque Sedaiges	657553.46	6434253.25	-
811-2	15-Cantal	Tournemire	route de Tournemire	659474.04	6439498.28	-
811-3	15-Cantal	Saint Simon	Vallée de la Jordanne rive gauche	659034.04	6428446.97	720
811-4	15-Cantal	Saint Simon	Vallée de la Jordanne rive droite	658721.92	6429113.75	697

