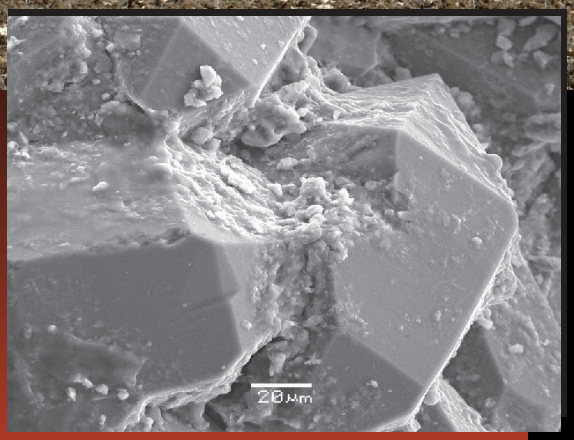
Projet Collectif de Recherche
rapport d'activité 2010



Réseau de Lithothèques en Rhône-Alpes

Coordinateur : Paul Fernandes

Contributions : Vincent Delvigne, Jehanne Affolter, Michel Piboule, Jean-Paul Raynal, Marie-Roger Séronie-Vivien, Marion Dousse, Christophe Tufféry

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère Culture Communication

PALEOTIME archéologie préventive

pacea UMR 5199

Terre d'Audace Département de l'Ardèche

isère CONSEIL GÉNÉRAL

SAVOIE CONSEIL GÉNÉRAL

LA DRÔME

RHÔNE LE DÉPARTEMENT

RHÔNE-ALPES LA RÉGION

Légende des illustrations de la page de couverture :

En haut : Photo du plateau de Forillon prés de Grane (Drôme)
En dessous : Mégaquartz automorphes à pyramides hexagonales , enrobées d'enduits de silice amorphe

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.

SOMMAIRE

SECTION 1 : DONNÉES ADMINISTRATIVES

1. Documentation administrative .....p. 3-6
1.1. Fiche signalétique .....p. 3
1.2. Fiche générique .....p. 3-4
1.3. Equipe d'intervention .....p. 4

SECTION 2 : LES JOURNÉES SILEX DE LYON

Présentation de l'opération .....p. 8-11

Les journées silex de lyon les 20 et 21 octobre 2010 .....p. 13-17

Programme du 20 et 21 octobre .....p. 14-15

Liste des inscrits aux journées silex de Lyon les 20 et 21 octobre 2010

Liste des présents aux journées silex de Lyon les 20 et 21 octobre 2010 .....p. 19-22
Liste des personnes excusées aux Journées Silex de Lyon les 20 et 21 octobre 2010.....p. 22-23

Compte-rendu de la table ronde .....p. 25-38

1. Etat des lieux .....p. 26-27
2. Face à ce constat .....p. 27
3. Thèmes et réflexions abordés lors de la table ronde.....p. 27-34
   3.1. Proposer un protocole commun minimal .....p. 28
      3.1.1. Le terrain .....p. 28-29
      3.1.2. Deuxième étape, le laboratoire : les éléments essentiels de la grille descriptive...p. 29-32
      3.1.3. Troisième étape, le laboratoire : les analyses.....p. 32
   3.2. Concrétiser et diffuser un lexique .....p. 32
   3.3. Informer régulièrement sur les ouvrages ou articles traitant du silex .....p. 32
   3.4. Présenter un questionnaire sur la démarche collaborative à mettre en place.....p. 32-33
   3.5. Publication des actes de la table ronde .....p. 33
   3.6. Mise en place de groupes de travail .....p. 33-34
4. Les perspectives au-delà de la table ronde .....p. 34-38

Minéralogie

1 : Michel PIBOULE.....p. 40-53
«Du quartz au silex, l'hydrothermalisme source de matériaux silicieux : Exemple des jaspéroïdes de l'Hettangien du Berry»

2 : Médard THIRY.....p. 54
«Opale ou opale et quartz ou quartz : là sont toutes les différences et les moteurs des évolutions pétrographiques»

Méthodologie de la Pétroarchéologie 1

3 : Marie-Roger SÉRONIE-VIVIEN .....p. 56-68
«Une approche vers la détermination des silex : La Pétrographie sédimentaire»

4 : Jehanne AFFOLTER .....p. 69-70
«Microfaciès sédimentaires dans les silex : pour une meilleure identification des silex»

5 : Paul FERNANDES .....p. 71-80
«Du gîte au site : itinéraires et transformations naturelles du silex. Intérêt pétroarchéologique»

6 : Vincent DELVIGNE .....p. 81-86
«Détermination de provenance de matériaux siliceux intégrant la notion de chaîne évolutive des silicifications : application au Magdalénien de la couche F2 du Rond du Barry (Polignac, Haute-Loire).»

Méthodologie de la Pétroarchéologie 2

7 : Mar REY, Xavier MANGADO, Christophe DELAGE.....p. 88-94
«Caractérisation des silex crétacés de Charente (France) : évaluation de l'approche macroscopique à l'oeil nu et au microscope.»

8 : David ORTEGA, Xavier TERRADAS .....p. 95-98
«Méthode de travail pour la documentation des affleurements de roches siliceuses en Catalogne (le projet LITOCAT)»

9 : Maria-Dolores GARCIA-ANTON TRASSIERRA.....p. 99-104
«Retour à la source des silex altérés, questions et réponses sur l'altération des silex.»

10 : Christophe TUFFÉRY.....p. 105-111
«Hétérogénéité des données lithologiques et nécessité d'une méthodologie d'harmonisation : le cas du PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes»

Applications à l'Archéologie

11 : Alain TURQ en collaboration avec P. BIDART, L. BOURGUIGNON, I. ORTEGA, H. DIBBLE, P. GOLDBERG, S. MACPHERRON, D. SANGATE .....p. 113-120
«Du type de matiere premiere lithique a l'estimation du nombre de blocs : premiers résultat, premières implications archéologiques et intérêt»

12 : André MORALA .....p. 121-129
«Les fondamentaux : caractères discriminants élémentaires comme critères de caractérisation de l'origine des matériaux ; l'exemple périgourdin de l'assemblage Paléolithique moyen de l'abri du Musée aux Eyzies, Dordogne (France).»

13 : Jean-Paul RAYNAL et Marie-Hélène MONCEL .....p. 130-136
«Matières et cultures au Paléolithique moyen : un retour sur expérience»

14 : P. FOUCHER, D. MILLET, F. MILLET, M.-R SÉRONIE-VIVIEN, M. SÉRONIE-VIVIEN G. DUCLOS.....p. 137
«Les matières siliceuses dans le Gers, au carrefour entre Pyrénées et Périgord ; état de la question, implications et enjeux»

Objectifs pour 2011 .....p. 138

SECTION 3 : ANNEXES

Annexe 1 : Lexique .....p. 142-189

Annexe 2 : Bibliographie

Bibliographie géologique .....p. 190-217
Bibliographie applications archéologiques .....p. 218-228

Annexe 3 : Prospection en Rhône-Alpes J. Affolter - 2010 .....p. 231-232

Annexe 4 : Questionnaire : Démarche collaborative .....p. 235

1. Documentation administrative

1.1. Fiche signalétique

L'identité du lieu d'intervention
Région : Rhône-Alpes
Départements : Ain, Ardèche, Drôme, Isère, Loire, Rhône, Savoie, Haute-Savoie

Nature de l'opération
Le projet : Projet collectif de recherche «Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes»
Programme de rattachement : 12, le Néolithique : habitats, sépultures, productions, échanges
Arrêté d'autorisation : 2010/1075/ALB/LD
Code d'opération : 10327
Responsable d'opération : Paul Fernandes
Dates de l'intervention : 05/06/2010 au 29/12/2010

Les résultats
Chronologie : préhistoire
Lieux de dépôts : Dolomieu, avec deux collections, a) une collection de silex régionaux conservée dans le laboratoire de préhistoire (P Bintz) ; b) une collection nationale dans le bureau de M Piboule. Capra Valence : qui conserve des silex de l'Ardèche et de la Drôme. Le Musée d'Orgnac : qui possède des silex de l'Ardèche et du Gard. Neuchâtel : qui conserve les collections d'échantillons provenant des Alpes françaises. Laussone (Haute-Loire) : où sont stockés des échantillons auvergnats mais aussi de la Loire de l'Ardèche, de la Drôme et du Gard. Lyon et Bron où sont stockés des échantillons de la zone autour de Lyon dans les bureaux de J Liagre et S Saintot.

1.2. Fiche générique

Responsables scientifiques les travaux sont coordonnés par Paul Fernandes, Doctorant, Université de Bordeaux 1 Sciences et Technologies, UMR 5199 PACEA et Michel Piboule, Professeur retraité de Pétrologie-Géochimie, Institut Dolomieu et Maison des Géosciences, Université Joseph Fourier, Grenoble.

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 2010, des aides des Conseils Généraux de l'Ain, l'Ardèche, la Drôme,l'Isère et la Savoie. Autre collectivité : société Paléotime.

	Fonctionnement	Analyses
ETAT (sous dir. de l'archéologie)	5 000	529.54
Collectivités Départements		
CG Ain	1 000	
CG Ardèche	2 000	
CG Drôme	1 200	
CG Isère	1 200	
CG Savoie	1 200	
Autre collectivité Paléotime	3500	
TOTAL	**15 100**	**529.54**

La gestion Financière est assurée par les associations suivantes : l'AVDPA (Association pour la valorisation et la diffusion de la Préhistoire Alpine, siège social : Institut Dolomieu, 15, rue Maurice Gignoux, Grenoble) ; l'ESPAHS (Etude et sauvegarde du patrimoine archéologique de la Haute-Savoie, siège social : 19 bis, rue Bienheureux Pierre-Favre, 74230 Thônes) ; ADRAS (Association départementale pour la recherche en Savoie, siège social : chez Mr Gilbert Pion, 895 route de la Batie 73230 ST Alban-Leysse).

1.3. Equipe d'intervention

Sur le terrain

J. Affolter, pétroarchéologue Neuchâtel ; G. Boccaccio, Conservation départementale du Gard ; S. Bernard-Guelle, Paléotime ; V. Delvigne étudiant Bordeaux 1 Sciences et Technologies PACEA ; S. Gaillot, Service Archéologique de la Ville de Lyon ; J. Liagre Service archéologique de la Ville de Lyon ; M. Piboule Grenoble ; F. Prudhomme, Musée d'Orgnac ; S. Saintot, Inrap Bron.

En Laboratoire

François Fröhlich, Professeur Muséum National Histoire Naturelle, MNHN, UMR 5198
Aïcha Gendron, Ingénieur Muséum National Histoire Naturelle, MNHN, UMR 5198
François-Xavier Le Bourdonnec, Dr Université Bordeaux 3, UMR 5060, IRAMAT
Marie-Roger Séronnie-Vivien, Ingénieur-Géologue ENSPM, retraité, ancien Directeur de l'Exploration de la Société ESSO-REP France.
Médard Thiry, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau- UMR CNRS 7619
Christophe Tuffery, Dr en Géographie spécialiste SIG, 7 rue Jobbé Duval, 75015 Paris.
Patrick Schmidt, MNHN, Paris.

Consultants archéologues

Jean-Pierre Daugas, Conservateur général du patrimoine retraité
Marie-Hélène Moncel, CR CNRS, MNHN, UMR 5198
Jean-Paul Raynal, Directeur de recherche au CNRS, UMR 5199 PACEA.
Alain Turq, Musée National de Préhistoire des Eyzies, Université de Bordeaux 1, UMR 5199 PASEA.
André Morala, Musée National de Préhistoire des Eyzies, Université de Bordeaux 1, UMR 5199 PASEA.
Pascal Foucher, SRA Midi-Pyrénées.
Christian Normand, SRA Aquitaine, UMR 5608 Toulouse le Mirail.
Pierre-Yves Demars, Université Bordeaux 1, UMR 5199 PASEA.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION
PRÉFECTURE DE LA RÉGION RHÔNE-ALPES
Direction régionale des affaires culturelles, Service régional de l'archéologie
Le grenier d'abondance 6, quai St-Vincent 69283 LYON CEDEX 01

LE PREFET DE LA REGION RHONE-ALPES
PREFET DU RHONE
Chevalier de la Légion d'Honneur
Officier de l'ordre national du Mérite
à

Monsieur Paul FERNANDES

N° : 2010/1075
(code opération : 10327)

Monsieur,

Vous m'avez soumis pour avis un projet de recherche :

[X] projet collectif de recherche

concernant, en région **Rhône-Alpes**,
le projet : « Le réseau des lithothèques en Rhône-Alpes. »
Programme : 12 LE NEOLITHIQUE : HABITATS, SEPULTURES, PRODUCTIONS, ECHANGES

J'ai l'honneur de vous faire connaître que, après avis de la commission interrégionale de la recherche archéologique Centre-Est je suis favorable à la réalisation de ce projet, jusqu'au **31/12/2010.**

A la fin de l'année, vous voudrez bien adresser au conservateur régional de l'archéologie l'ensemble de la documentation relative à l'opération et, en cinq exemplaires, un rapport sur les travaux menés accompagné, le cas échéant, de cartes et de photographies, ainsi que des fiches détaillées établies pour chacun des nouveaux sites identifiés au cours des recherches.

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de ma considération distinguée.

Fait à Lyon, le 23 avril 2010

Pour le directeur régional des affaires culturelles
par subdélégation
la conservatrice régionale de l'archéologie
Anne LE BOT-HELLY

Remerciements

J'adresse mes remerciements au Service Régional de l'Archéologie de Rhône-Alpes (Ministère de la Culture et de la Communication) pour le soutien constant accordé au projet depuis sa création. Je tiens à adresser toute ma reconnaissance aux Conseils généraux de l'Ain, d'Ardèche, de la Drôme, de l'Isère, de la Savoie et de la Haute-Savoie pour les subventions qu'ils ont attribué au fonctionnement de ce projet et ce malgré leurs difficultés actuelles. J'exprime toute ma gratitude à tous les membres du PCR qui ont œuvré à la constitution d'un outil de travail qui dépasse désormais les limites régionales pour constituer un projet comprenant tout le sud de la France et le nord de l'Espagne. Je remercie l'ensemble des intervenants archéologues, géologues, minéralogistes, 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 PACEA, UMR 5199 du CNRS de Bordeaux 1, LAMPEA, UMR 6636 de Grenoble et du soutien informatique de la Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme à Aix-en-Provence.

Ce rapport contient les contributions présentées lors de la table ronde «Les journées silex de Lyon» les 20 et 21 octobre 2010 à Lyon. Je tiens à exprimer toute ma gratitude à ceux qui ont conçu, organisé, hébergé, participé ou facilité de quelque manière que se soit la tenue de cette manifestation. Cette rencontre doit autant à l'investissement bénévole des membres du PCR qu'aux soutiens des diverses institutions déjà citées. Les soutiens d'Anne Le Bot-Helly (conservatrice régionale de l'archéologie), de Jacques Jaubert (directeur de l'UMR PACEA), la coopération de la Région Rhône-Alpes, les crédits et le support logistique accordés par la société Paléotime ont été décisifs dans la concrétisation d'un tel projet. L'accueil chaleureux et professionnel de tout le personnel du Musée de la Civilisation Gallo-romaine de Lyon a rendu possible cette session de travail. La réussite de ces journées doit beaucoup aux conseils prodigués par Marie-Hélène Moncel, Jean-Paul Raynal et Michel Piboule. Il a aussi fallu toute l'attention et l'ingéniosité d'Alain Queffelec et Vincent Delvigne pour trouver des solutions à tous les problèmes techniques. Enfin je remercie vivement les équipes de l'ADRAS, l'AVDPA et l'ESPAHS qui ont assuré la gestion des crédits. Ma gratitude va en particulier à M. Chevrier, Henry Barthelemy, Pierre Bintz et Gilbert Pion.

Présentation de l’opération

Introduction

Les espaces parcourus durant la préhistoire peuvent être appréhendés par l'identification des sources d'approvisionnement en matériaux siliceux. L'identification de ces sources s'appuie non seulement sur la pertinence des méthodes utilisées pour caractériser et comparer les matériaux géologiques et archéologiques mais également sur la connaissance des ressources en silex disponibles dans l'environnement régional, voir extra régional.

C'est pour favoriser ces aspects que le P.C.R. a été développé avec pour cadre, la région Rhône-Alpes. Depuis une trentaine d'années, plusieurs foyers de recherches sur les matières premières siliceuses se sont développés dans la région pour répondre à des besoins d'applications souvent immédiats et sans politique scientifique à long terme. Cet état de fait a conduit d'une part à l'accumulation d'un grand nombre d'indications sur les gîtes, mais d'autre part a généré une documentation inégale et un cloisonnement préjudiciable à la recherche sur les circulations préhistoriques. Face à cette masse de données à valoriser, il est apparu nécessaire de proposer un cadre fédératif et une réflexion commune sur la constitution des référentiels lithologiques et leur exploitation à des fins archéologiques. La réunion tenue à Orgnac en novembre 2004 a constitué à ce sujet une étape décisive puisqu'elle a motivé la mise en place en 2006 d'un P.C.R. consacré aux problèmes relatifs aux matières premières siliceuses.

En 2010, le P.C.R. entre dans sa cinquième année de fonctionnement. Les objectifs fixés en 2006, ont été élargis :

- Réaliser un bilan cartographique, géologique, gîtologique et photographique des ressources siliceuses (silex essentiellement) à l'échelle régionale ;
- Coordonner les opérations de prospection des gîtes siliceux en harmonisant et en améliorant les modes de prélèvement et d'enregistrement des échantillons ;
- Renforcer les collaborations entre les acteurs de la recherche sur les matières premières siliceuses dans le sud de la France et en Espagne (géologues, archéologues, prospecteurs) en favorisant les occasions de rencontre ;
- Dynamiser les recherches sur l'origine des matériaux lithiques préhistoriques en favorisant l'accessibilité des référentiels et en créant des pôles de recherche autour des lithothèques en Rhône-Alpes ;
- Développer les connexions interrégionales pour inscrire le P.C.R dans une dynamique d'harmonisation des méthodes et des outils à l'échelle internationale.

Notre démarche s'appuie sur la mise en place d'une base de données, correspondant aux lithothèques régionales. Cependant, au-delà d'un simple inventaire des ressources en silex et d'une valorisation des référentiels lithologiques, il s'agit d'uniformiser et d'améliorer la démarche globale d'acquisition des informations sur les gîtes, depuis la collecte sur le terrain jusqu'à la caractérisation des échantillons. Le P.C.R. offre ainsi un cadre de réflexion méthodologique, en intégrant les avancées récentes. Ces nouvelles pratiques nécessitent des modes d'échantillonnage spécifiques et un travail de caractérisation à plusieurs échelles (macroscopique, microscopique, ultramicroscopique). À terme, il s'agit moins de considérer chaque gîte comme un élément individuel et ponctuel mais plutôt de l'intégrer à un modèle interdépendant et dynamique, du gîte primaire aux formations remaniées à silex les plus lointaines. La notion d'inventaire des ressources siliceuses redéfinie vise donc, à terme, non pas à un simple semis de points correspondant à des gîtes mais à une image qualitative de la distribution des matières premières. Cette année aucune liste descriptive des gîtes n'a été mise en ligne sur la plate-forme collaborative Petr@rch dédiée au P.C.R. (Bressy 2007) : *http://petrarch.mmsh.univ-aix.fr.* La base de données est cependant toujours opérationnelle et peut-être complétée à tout moment en ligne. Elle constitue l'architecture du système d'information géographique.

Problématique régionale

La région Rhône-Alpes offre un cadre approprié au développement d'un tel projet car elle recèle un potentiel en matériaux siliceux important et varié avec une distribution spécifique : silex, quartz, roches dures alpines, etc. En outre, elle constitue un «territoire» contrasté, sur le plan du relief et des axes naturels de communication. La vallée du Rhône se présente comme un couloir de circulation majeur tandis que les Alpes sont parcourues par de nombreuses vallées secondaires. Ce terrain d'étude offre donc de nombreuses possibilités pour évaluer les interactions entre des milieux différents, notamment entre zones de plaine et de montagne. C'est pour cette raison que le PCR est en relation étroite depuis sa création avec le PCR «*Entre plaines et montagnes : espaces de subsistance et expressions culturelles au Paléolithique moyen dans le Massif central (Auvergne-Ardèche)*» coordination Marie-Hélène Moncel et Jean-Paul Raynal. En outre, la région a été le terrain, très tôt, de prospections de gîtes siliceux à l'initiative de plusieurs chercheurs, fruit de différents programmes : P. Bintz puis C. Grünwald dès les années 1970, pour les massifs subalpins, C. Riche pour le plateau de Vassieux, J. Affolter et J. Féblot-Augustins pour le Bugey, et sur les régions alpines encore, le projet CIRCALP coordonné par A. Beeching. Le CAP de Valence et le Musée d'Orgnac ont joué un rôle important dans la collecte d'échantillons de silex. Il existe ainsi régionalement un potentiel important d'échantillons et d'informations sur les gîtes qu'il faut synthétiser. Toutefois, les inégalités en termes de documentation des secteurs restent notables, accentuées par l'investissement dont certains secteurs géographiques ont fait l'objet.

Collaborations interrégionales, un besoin urgent

Lorsqu'il s'agit d'étudier les déplacements préhistoriques, il est nécessaire de dépasser les clivages régionaux afin de mettre en évidence des mouvements de matériaux sur de longues distances ou de confronter les données sur les comportements liés à l'acquisition des matières premières lithiques. Pour le midi de France, plusieurs programmes et opérations centrées sur les matières premières lithiques ont participé à l'élaboration d'une masse d'informations considérables. Il est temps d'harmoniser ces démarches.

La matérialisation des connexions interrégionales du P.C.R. a débuté avec l'organisation, en juin 2008, de la table ronde de Lattes «Silex et territoires préhistoriques : Avancées des recherches dans le Midi de la France». La tenue de la table ronde «les Journées silex de Lyon, vers une harmonisation méthodologique» les 20 et 21 octobre 2010 a consolidé cette démarche (cf. compte rendu p. 26).

Bilan d'activité

Cette année les différents volets d'activité du PCR ont donc été alimentés de manière inégale. En effet nous avons été contraints de parer à l'essentiel : tendre vers l'interopérabilité entre les bases de données constituées en Rhône-Alpes et dans les différentes régions. Il n'est plus possible de construire des projets différents dans chaque région. Il faut pour évoluer dans de bonnes conditions, homogénéiser nos méthodes de prélèvements et de caractérisations, renforcer nos argumentations et élaborer une démarche transdisciplinaire et suprarégionale.

Indépendamment de cet objectif, nous avons poursuivi les analyses des échantillons, créé de nouveaux contacts, diffusé des informations, subventionné des prospections, inventorié et cartographié le résultat des recherches sur le terrain.
Les travaux de terrain destinés à mieux connaître le potentiel minéral de la région ont été menés par différents membres du PCR (figure 1).

- les prospections de J. Affolter dans l'Ain la Savoie et la Haute-Savoie apportent des informations supplémentaires sur tout les types de roches exploitables dans ces départements.
- Les prospections de M. Piboule dans le département de la Loire permettent de préciser le

potentiel minéral, dans un département souvent délaissé malgré sa position qui autorise des voies de communication avec le Massif central à l'ouest.

• La zone de Cruas à Viviers, en rive droite du Rhône, a été une nouvelle fois prospectée afin de préciser l'origine stratigraphique des différents niveaux à silex Barrémo-bédouliens (P. Fernandes et M. Piboule).

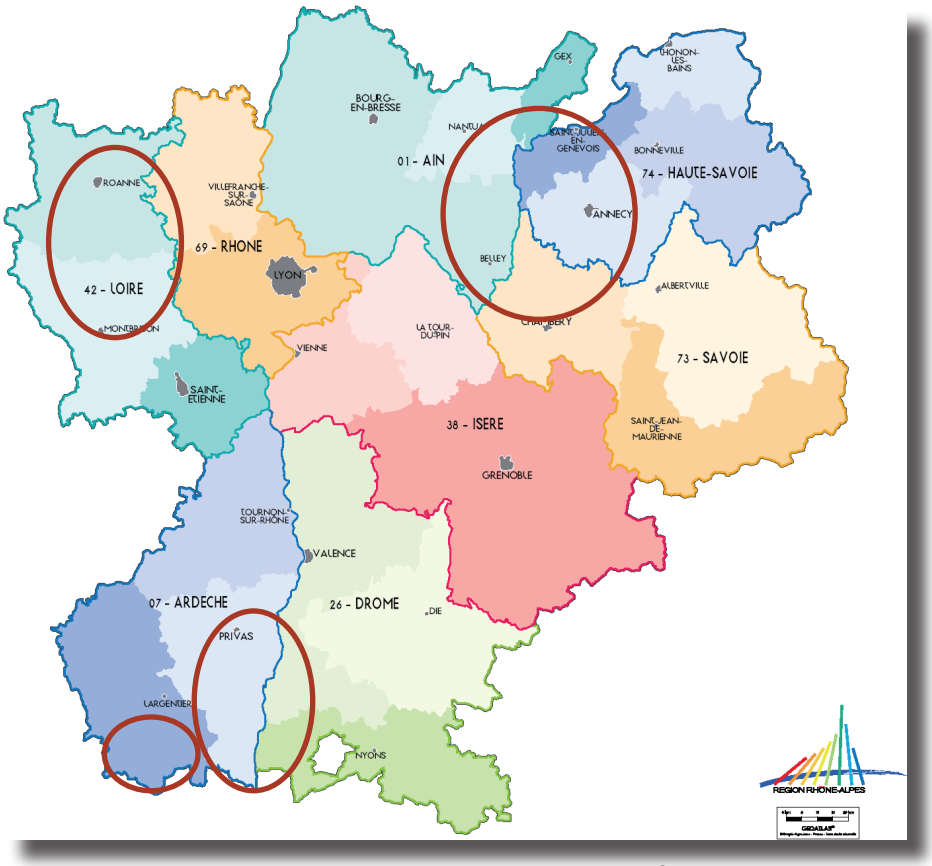


Figure 1 - carte des secteurs prospectés en 2010.

• Le travail dirigé par G. Boccaccio sur le silex blond translucide à dendrites bien connu des spécialistes du Paléolithique supérieur est mené par certains membres du PCR (C. Bressy, M. Piboule, P. Fernandes) en collaboration avec S. Guégan, S. Grégoire,T. Aubry, J. Mangado, J Primault et M. Rue. Cette démarche, prolongée en 2010, est l'exemple d'ouverture nécessaire (pour ce type de silex à large diffusion) et devrait permettre d'en déterminer la provenance exacte.

• Comme en 2009, nous avons organisé plusieurs sessions de travail à l'Archéo-Logis (Laussonne, Haute-Loire) pour les mesures, les observations macroscopiques et à la loupe binoculaire. Nous nous sommes concentrés, sur la caractérisation des silex en position secondaire, la comparaison de leurs surfaces et leurs structures avec les différentes variantes gîtologiques (Fernandes, Raynal). Sur ces mêmes échantillons, à l'Université de Bordeaux 1 (UMR 5199 PACEA) comme à l'Institut Dolomieu (Grenoble) le matériel microscopique et photographique mis à notre disposition nous a permis de poursuivre l'étude des lames minces et d'enrichir la base de données photographiques aux échelles mésoscopiques et microscopiques (Fernandes, Piboule, Séronie-Vivien). En parallèle, à l'Université de Bordeaux 3 (UMR 5060 IRAMAT), nous avons réutilisé le MEB (Fernandes, Le Bourdonnec) afin de révéler des aspects beaucoup plus discrets. Enfin, c'est dans le Département des Sciences Préhistoriques du Muséum National d'Histoire Naturelle à Paris, que nous avons poursuivi (Fröhlich, Gendron, Le Bourdonnec) les analyses en cartographie infra-rouge. Ce type d'analyses, permet de quantifier et de cartographier les phases minérales des silex étudiés. Le résultat de ces analyses est attendu pour l'année 2010.

• Le travail de révision de la liste des gîtes inventoriés de la région Rhône-Alpes entamé en 2008 a été poursuivi. Cette liste a été enrichie par les résultats des prospections de 2010.

• La plate-forme collaborative Petr@rch a été alimentée par des compléments bibliographiques et lexicaux.

- Plusieurs séances de travail ont été organisées en petit comité (à Grenoble, Laussone, Bordeaux, Fontainebleau) afin de constituer un lexique interdisciplinaire consacré aux roches siliceuses (Fernandes, Thiry, Piboule, Raynal, Séronie-Vivien).
- Certains d'entre nous ont participé à des programmes de prospections dans d'autres régions afin d'améliorer les contacts et s'initier à d'autres méthodes : V Delvigne, en Auvergne ; P Fernandes en Aquitaine.

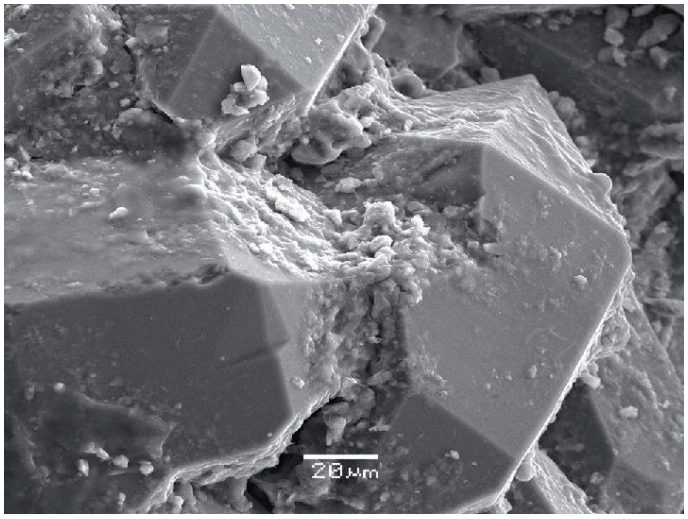
Les journées silex de Lyon les 20 et 21 octobre 2010

Le PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes organise

Les journées silex de Lyon
vers une harmonisation méthodologique

1ère Session des Rencontres : Caractérisation des silex

Musée de la civilisation Gallo-Romaine
17 rue Cléberg, 69005 Lyon
20 et 21 octobre 2010



PROGRAMME

MUSEES·GALLO·ROMAINS

Les journées silex de Lyon, les 20 et 21 octobre 2010.

Organisées par les membres du PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes, avec le soutien du Service Régional de l'Archéologie et de la DRAC Rhône-Alpes, des Conseils Généraux du Rhône, de la Drôme, de l'Ardèche, de l'Isère, de la Savoie et de la Haute-Savoie, de la Région Rhône-Alpes, du Musée de la civilisation Gallo-Romaine de Fourvières, de PACEA UMR 5199 et de la société Paléotime.

20 octobre 2010

9h00 – Accueil des participants

Minéralogie

1- Du quartz au silex, l'hydrothermalisme source de matériaux siliceux.
Michel Piboule, Professeur retraité, Pétrologie, Géochimie, Institut Dolomieu, Université Joseph Fourier, Grenoble.

2- Opale ou opale et quartz ou quartz : là sont toutes les différences et les moteurs des évolutions pétrographiques. Minéralogie-Géochimie-Pétrographie-Vitesse d'évolution de la silice.
Médard Thiry, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, UMR 7619, CNRS.

3- Caractérisation et dosage dans les roches des phases de la silice par la spectroscopie infrarouge.
François Fröhlich, Professeur au Muséum national d'Histoire naturelle, UMR 5198, MNHN.

4- L'évolution cristallographique et minéralogique de la silice en fonction de l'élévation de température et significations archéométriques de ce processus.
Patrick Schmidt, Muséum national Histoire naturelle, UMR 5198, MNHN.

5- La diversité minéralogique et génétique des silicifications, une donnée fondamentale dans la recherche des sources de matières premières.
François Fröhlich, Professeur au Muséum national d'Histoire naturelle, UMR 5198, MNHN.

12h00 – Repas

14h00 – Reprise des communications

Méthodologie de la Pétroarchéologie 1

6- Une voie vers la détermination des silex : la pétrographie sédimentaire.
Marie-Roger Séronie-Vivien, Ingénieur-Géologue ENSPM, retraité, ancien Directeur de l'Exploration de la Société ESSO-REP France.

7- Microfaciès sédimentaire dans les silex : pour une meilleure identification des silex.
Jehanne Affolter, Membre associée UMR 5594 Dijon, Dîme 86, Neuchâtel, Suisse.

8- Intérêt de la méthode conventionnelle couplée aux chaînes évolutives des silicifications dans les déterminations de provenance des matériaux siliceux.
Vincent Delvigne, Doctorant, Université de Bordeaux I, UMR5199, PACEA.

9- Itinéraires et transformations du silex : vers une Pétroarchéologie refondée.
Paul Fernandes, Doctorant, Université de Bordeaux I, UMR 5199, PACEA.

18h00 – Hommage à l'œuvre scientifique de Micheline et Marie-Roger Séronie-Vivien.

21 octobre 2010

9h00 – Accueil des participants

Méthodologie de la Pétroarchéologie 2

10- Caractérisation des silex crétacés de Charente (France) : évaluation de l'approche macroscopique à l'œil nu et au microscope.
Mar Rey, Xavier Mangado et Christophe Delage.

11- *Méthode de prospection dirigée vers le recensement de gîtes à roches siliceuses en Catalogne (projet LitoCAT).*
David Ortega et Xavier Terradas, Consejo Superior de Investigation Cientìficas (CSIC-IMF), Barcelona.

12– *La lithobase Languedoc-Roussillon : Consultation des ressources en silex du Languedoc-Roussillon sur internet.*
Sophie Grégoire, Ingénieur UPDV-CERP, UMR 5198, MNHN.

13– Retour à la source des silex altérés, questions et réponses sur l'altération des silex.
Maria-Dolores Garcia-Anton Trassierra, Universitat Pùblica de Tarragona.

14- Hétérogénéité des données lithologiques et nécessité d'une méthodologie d'harmonisation : le cas du PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes.
Christophe Tuffery, Ingénieur de recherche INRAP, Paris. Chargé de mission acquisition de données archéologiques descriptives.

12h00 – Repas

14h00 – Reprise des communications

Applications à l'Archéologie

15- Du type de matière première lithique à l'estimation du nombre de blocs : premiers résultats et implications archéologiques.
Alain Turq, Conservateur du patrimoine, Ministère de la Culture, UMR 5199, PACEA.

16- L'état physique des cortex dans la reconnaissance gîtologique des silicifications : l'exemple périgourdin de l'assemblage paléolithique moyen de l'abri du Musée aux Eyzies, Dordogne (France).
André Morala, Ingénieur d'Etudes (chargé des collections du Paléolithique supérieur du MNP), Ministère de la Culture, UMR 5199, PACEA.

17- Matières et cultures au Paléolithique moyen : un retour sur expérience.
Marie-Hélène Moncel, Chargée de recherche au CNRS, UMR 5198, MNHN.
Jean-Paul Raynal, Directeur de recherche au CNRS, UMR 5199, PACEA.

15h30 - Débats

18h00 - Clôture de la Table ronde

Lieu de la Table ronde : Musée de la civilisation Gallo-Romaine, 17 rue Cléberg, 69005 Lyon.

Le Musée de la civilisation Gallo-Romaine est organisé autour de trois fonctions : exposition permanente, recherche, animation. La moitié de la surface du musée est réservée à la présentation des collections regroupées par thèmes, de la préhistoire régionale au VIIe siècle après J.-C. Des bureaux, une bibliothèque spécialisée à la disposition des chercheurs mais aussi du public, des réserves de collections lapidaires de petits objets, un service d'animation proposant des visites guidées et des ateliers constituent l'autre moitié du Musée.

L'inscription à la Table ronde est gratuite et ouverte à tous : amateurs, chercheurs et étudiants.

Contact :

Paul Fernandes
Université Bordeaux 1
Bâtiment B8
Avenue des Facultés
33405 Talence Cedex

Paul Fernandes
Laboratoire Paléotime
6169 rue Jean-Séraphin Achard Picard
38250 Villard-de-Lans

mail :
paul.fernandes@paleotime.fr
nuage75@club-internet.fr

Tél. fixe : 04 76 95 45 39
Tél. portable : 06 98 41 18 31

Liste des inscrits aux journées silex de Lyon les 20 et 21 octobre 2010

Liste des présents aux journées silex de Lyon les 20 et 21 octobre 2010

- **Jehanne Affolter, chercheur associé UMR 5594, AR-GEO-Lab Neuchâtel**
affolterjs@bluewin.ch

- **Marc Aulanier, 43000 Langeac**
marc.aulanier@orange.fr

- **Alain Beeching, Université Lyon II-CNRS, UMR 5138, CAPRA-Valence**
alain.beeching@univ-lyon2.fr

- **Sebastien Bernard Guelle, Paleotime**
sebastien.bernard-guelle@paleotime.fr

- **Thomas Briand, doctorant TRACES, UMR 5608, Université Toulouse II**
briandthomas2005@yahoo.fr

- **J.E Brochier, CAPRA-Valence**
jacques.brochier@univ-provence.fr

- **Solène Caux, étudiante master 2, Université Bordeaux 1, PACEA**
solene.caux@gmail.com

- **Priscille Chapuis, Drac Rhône-Alpes, SRA**
priscille.chapuis@culture.gouv.fr

- **Fiorella Cocco, Assistante ingénieur SRA Lyon**
fiorella.cocco@culture.gouv.fr

- **Emeric Cornet, assistant de conservation (PAIR), Pôle d'archéologie interdépartemental Rhénan**
emeric.cornet@pair-archéologie.fr

- **Marianne Deckers, Chargée d'étude à la direction de l'archéologie préventive de la communauté d'agglomération du Douaisis (DAPCAP) ; Douais (Nord)**
mdeckers@hotmail.com

- **Christophe Delage**
delage@cwnet.com

- **Vincent Delvigne, doctorant Université de Bordeaux 1, PACEA**
v.delvigne@pacea.u-bordeaux1.fr

- **Laure Devillard, Drac Rhônes-Alpes, SRA**
laure.devillard@culture.gouv.fr

- **Paul Fernandes, Paléotime, Bordeaux 1, PACEA**
nuage75@club-internet.fr
paul.fernandes@paleotime.fr

- **Pascal Foucher, SRA Midi-Pyrénées**
pascal.foucher@culture.gouv.fr

- **Myriam Fresne, SRA Rhône-Alpes**

myriam.fresne@culture.gouv.fr

- **François Fröhlich, professeur au Muséum national d'histoire naturelle**

frohlich@mnhn.fr

- **Maria Dolores Garcia-Anton, IPHES-URV Tarragona, (Espagne)**

madolores.garciaanton@urv.cat

- **Stéphane Gaillot, ville de Lyon**

stephane.gaillot@mairie-lyon.fr

- **Raphaële Guilbert Berger, INRAP**

bergerguilbert@neuf.fr

- **Anne Hauzeur, Paléotime**

ahauzeur@yahoo.fr

- **Fréderic Jallet, INRAP**

frederic.jallet@inrap.fr

- **Marc Jarry, INRAP**

marc.jarry@inrap.fr

- **Audrey Lafarge, doctorante Université Paul Valéry Montpellier**

audreylafarge@laposte.net

- **Anne Le Bot-Helly, Conservatrice Régionale de l'Archéologie, Rhône-Alpes**

anne.lebot-helly@culture.gouv.fr

- **Elodie Lecher, Assistante d'étude communauté d'agglomération du Douaisis(DAPCAP) ; Douais (Nord)**

elodielecher@yahoo.fr

- **René Liabeuf, Drac Auvergne SRA**

rene.liabeuf@culture.gouv.fr

- **Jérémie Liagre, service archéologique de la ville de Lyon**

jeremie.liagre@mairie-lyon.fr

- **Xavier Mangado, UB-SERP, Université de Barcelone (Espagne)**

mangado@ub.edu

- **Barbara Medina Boronat, UB-SERP, Université de Girona (Espagne)**

barbaramedina79@hotmail.com

- **Marie-Hélène Moncel, Directrice de recherche Département de Préhistoire, MNHN Paris**

moncel@mnhn.fr

- **André Morala, Musée National de Préhistoire des Eyzies, Université de Bordeaux 1, PACEA**

andre.morala@culture.gouv.fr

- **Alexandre Morin, Paléotime**

alexandre.morin@paleotime.fr

- **David Ortega Cobos, àrea de Prehistoria, universitat de Girona**

ortega@imf.csic.es

- **Anne Pariente, directrice service archéologique de la ville de Lyon**
anne.pariente@mairie-lyon.fr

- **Thomas Perrin, UMR 5608 TRACES («CRPPM»)**
tperrin@free.fr

- **Michel Piboule, UJF Grenoble, Institut Dolomieu**
smpiboule@yahoo.fr

- **Alain Queffelec, Assistant ingénieur, CNRS Bordeaux 1, PACEA**
a.queffelec@pacea.u-bordeaux1.fr

- **Jean-Paul Raynal, Directeur de recherche Bordeaux 1, UMR 5199 PACEA**
jp.raynal@pacea.u-bordeaux1.fr

- **Mar Rey Solé, UB-SERP, Université de Barcelone (Espagne)**
mar-rey-sole@hotmail.com

- **Javier Roda, doctorant préhistoire, CEPAD, UAB, Barcelone (Espagne)**
xaviroda@gmail.com

- **Nùria Rodriguez Baylach, UB-SERP, Université de Barcelone (Espagne)**
nuria.rb.arq@gmail.com

- **Miquel Roy, doctorant géologie, CEPAD, UAB, Barcelone (Espagne)**
miquele-86@hotmail.com

- **Sylvie Saintot, INRAP (Bron)**
sylvie-saintot@inrap.fr

- **Marta Sanchez, UB-SERP, Université de Barcelone (Espagne)**
martasanchez-205@hotmail.com

- **Patrick Schmidt, MNHN Paris**
mail.patrick.schmidt@gmail.com

- **M.R et M Seronie-Vivien, retraités**
rseronie@club-internet.fr

- **Maria Soto, IPHES-URV Tarragona, (Espagne)**
sotoquesadamaria@gmail.com

- **Nicolas Tardy, doctorant en archéologie, UMR 5133 Lyon 2**
nicolas-tardy@univ-lyon2.fr

- **Xavier Terradas, CSIC-IMF, Barcelona**
terradas@imf.csic.es

- **Zoé Thomas, MMSH-Université de Provence (LAMPEA)**
zoethomas@hotmail.fr

- **Médard Thiry, Mines-ParisTech, Fontainebleau**
medard.thiry@mines paris-tech.fr
medard.thiry@ensmp.fr

- **Christophe Tuffery, INRAP (DST)**
christophe.tuffery@inrap.fr

- **Alain Turq, Musée National de Préhistoire des Eyzies, Université de Bordeaux 1, PACEA**

alain.turq@culture.gouv.fr

- **Michel Vidal, ingénieur A.M, retraité**

m.vidal7@orange.fr

Liste des personnes excusées aux Journées Silex de Lyon les 20 et 21 octobre 2010

- **François Bon, TRACES, UMR 5608, Université Toulouse II**

francois.bon@univ-tlse2.fr

- **Pierre Bintz, institut Dolomieu, Grenoble**

pbintz@wanadoo.fr

- **Guillaume Boccaccio, Conseil Général 30**

BOCCACCIO_G@cg30.fr

- **Jean-guillaume Bordes, Maître de conférences, Bordeaux 1, UMR 5199 PACEA**

jg.bordes@ipgq.u-bordeaux1.fr

- **Jean-Pierre Bracco, Maître de Conférences, Université de Provence, Lampea, UMR 6636**

bracco@mmsh.univ-aix.fr

- **Céline Bressy, LAMPEA, UMR 6636, CNRS-université de Provence, Aix-en-Provence, France**

cbressy@mmsh.univ-aix.fr

- **Pierre Chalard, Service régional d'archéologie Drac Midi-Pyrénées**

pierre.chalard-biberson@culture.gouv.fr

- **Emilie Claud, INRAP**

emilie.claud@inrap.fr

- **Jean-Pierre Daugas, Conservateur général honoraire de l'archéologie**

jeanpierre.daugas@wanadoo.fr

- **Camille Daujeard, Bordeaux 1, UMR 5199 PACEA**

camilledaujeard@ ipgq.u-bordeaux1.fr

- **Anne Delagne,CR1, Bordeaux 1, Directrice-adjointe de l'UMR 5199 – PACEA Responsable de l'équipe de l'IPGQ**

a.delagnes@ipgq.u-bordeaux1.fr

- **Pierre-Yves Demars, Bordeaux 1, UMR 5199 PACEA**

py.demars@ipgq.u-bordeaux1.fr

- **Stéphan Dubernet, Bordeaux 3, CRP2A, UMR 5060, IRAMAT**

Stephan.Dubernet@u-bordeaux3.fr

- **Michel Errera, Ancien chargé de mission. Musée royal de l'Afrique centrale à Tervuren**

michel.errera@africamuseum.be

- **Sophie Grégoire, Ingénieur d'Etudes, Université de Perpignan**

gregoire@tautavel.univ-perp.fr

- **Pierre Guibert, Dr. Pierre Guibert, CRP2A-IRAMAT, UMR 5060 CNRS et Directeur-adjoint de l'IRAMAT.**

guibert@u-bordeaux3.fr

- **François-Xavier Le Bourdonnec, CRP2A-IRAMAT, UMR 5060 CNRS**

Francois-Xavier.Le-Bourdonnec@u-bordeaux3.fr

- **Barbara Melosu, Doctorante en préhistoire à l'Université de Provence.**

barmelosu@yahoo.it

- **Christian Normand, SRA Aquitaine, UMR 5608 Toulouse le Mirail**

cpjnormand@wanadoo.fr

- **Yves Pautrat, conservateur en chef, DRAC Bourguogne**

Yves.pautrat@culture.gouv.fr

- **Jérome Primault, DRAC Poitou-Charente**

jerome.primault@culture.gouv.fr

- **Laurent Servant, prospections Auvergne**

Laurent.SERVANT@chloridepower.com

- **Carlotta Tarvormina,**

ctavormina@hotmail.com

- **Eric Thirault, Paléotime**

eric.thirault@paleotime.fr

- **Christian Verjux, conservateur en chef DRAC région Centre, Orléans**

christian.verjux@culture.gouv.fr

Compte-rendu de la table ronde

COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE «LES JOURNÉES SILEX DE LYON. VERS UNE HARMONISATION METHODOLOGIQUE»

Paul Fernandes
Université Bordeaux 1, UMR 5199, PACEA, Talence
Paléotime, 38250 Villard-de-Lans

Cette année, pour la seconde fois, le PCR «Réseau de Lithothèque en Rhône-Alpes» a organisé une table ronde internationale sur le silex, intitulée : «Les Journées Silex de Lyon. Vers une harmonisation méthodologique». L'organisation a été assurée par P. Fernandes responsable du P.C.R.

Hormis la poursuite des objectifs qui incombent à notre programme collectif de recherche : créer des contacts entre chercheurs, diffuser l'information, poursuivre les prospections, inventorier et cartographier le résultat des recherches sur le terrain ; le fait marquant de l'année 2010 fut la qualité des communications et la satisfaction des participants au terme de ces «Journées Silex de Lyon». Cette table ronde organisée dans les locaux du Musée de la Civilisation Gallo-romaine de Lyon a permis de renforcer les liens entre plusieurs programmes en cours dans une large moitié du sud de la France et le nord de l'Espagne. C'était le grand projet de l'année passée et il a donné des résultats qui nous permettent d'espérer concrétiser, sur les trois ans à venir, un projet qui nous est cher : l'harmonisation méthodologique.

Les préhistoriens se sont toujours intéressés à l'origine des matières premières. Stimuler par cet élan, nous avons constitué un groupe de travail interdisciplinaire orienté vers l'étude du silex : de sa genèse jusqu'à sa découverte par l'archéologue. Ce «groupe silex» crée en 2006 est intégré au PCR «réseau de lithothèque en Rhône-Alpes». Il est composé de géologues, de minéralogistes et d'archéologues. C'est ce noyau qui eut la lourde la tâche d'organiser cette rencontre dont l'intérêt était double : resserrer les liens et accorder les méthodes. Il était question de présenter aux professionnels comme aux amateurs un bilan circonstancié des démarches scientifiques les plus novatrices. Il fut donc envoyé plus de 90 invitations en (France, Espagne, Italie, Belgique, Suisse, Allemagne) auxquelles 77 personnes ont répondu favorablement.

Dès le départ, les membres du PCR ont décidé de contribuer à l'unification des communautés impliquées dans la problématique relative aux matériaux lithiques préhistoriques (archéologues, géologues et archéomètres). L'idée d'une mise au point sur les différents protocoles pratiqués dans d'autres disciplines (chimie, sédimentologie, pétrographie, micropaléontologie, minéralogie, cristallographie, géochimie) au sujet des roches siliceuses est née des clivages apparus lors de la table ronde de Lattes (organisée en juin 2008). En outre, les dernières études multidisciplinaires sur le silex sont déjà anciennes : il s'agit du VIII Flint symposium organisé à Bochum du 13 au 17 septembre 1999 et la table ronde organisée par F. Surmely à Aurillac en 2003. Même si un grand nombre de travaux ont été consacrés aux notions de circulation et d'échanges, même si de nombreuses initiatives se structurent dans plusieurs régions, les problèmes de caractérisations des matériaux demeurent. Pour toutes ces raisons, il devenait nécessaire de faire une mise au point et de réactiver certaines connexions en organisant une nouvelle rencontre.

Cette table ronde devait permettre de réfléchir sur les moyens de parvenir à une harmonisation des méthodes de caractérisation des roches siliceuses. Elle se situait en amont du bilan sur la notion de Territoire proposé lors du congrès CTHS de Toulouse en 2001 sous la direction de J. Jaubert et M. Barbaza. Elle était nécessaire à la réflexion sur : le domaine minéral où sont puisées les ressources et le territoire culturel où évoluèrent des groupes partageants les mêmes modes de penser.

Au cours de ces rencontres, la qualité des échanges a permis de poser les bases qui serviront à matérialiser un mode de caractérisation commun, préalable à tous questionnements posés par la recherche de l'origine des silex. Il est temps de répondre aux vœux (partager par un grand nombre d'archéologues) d'harmonisation des raisonnements et d'homogénéisation du vocabulaire et des protocoles à la fois sur le terrain et en laboratoire.

La table ronde s'est déroulée du 20 au 21 octobre 2010. Elle a rassemblé cinquante trois participants parmi lesquels la quasi totalité des acteurs dans le domaine de la recherche sur les matières premières dans le sud de la France et le nord de l'Espagne. Les difficultés liées aux mouvements sociaux ont entrainées des désistements, vingt-quatre personnes se sont excusées. Plus de dix-sept chercheurs sont intervenus sur les deux journées. Sept communications ont été présentées par des membres du PCR.

Le choix d'un petit nombre d'orateurs a permis cette démarche, en proposant un temps suffisant pour chaque communication (certaines ont dépassé les 40 mn) et facilité les discussions entre ces dernières. Ces deux jours de présentations synthétiques et de débats ont été scindées en trois thèmes, qui constituent un itinéraire allant «du silicium à l'homme». La première matinée fut consacrée à quelques rappels sur la composition minéralogique et la genèse des silex, silcrètes et silices d'origine hydrothermale. Durant l'après midi du 21 et la matinée du 22 plusieurs orateurs ont présenté leur protocole de caractérisation. La dernière session fut consacrée aux applications archéologiques, donc aux rapports entre les groupes humains et le milieu minéral. Cette approche mêlant géologie et réflexions territoriales est sans nul doute encore à construire. Les bilans interdisciplinaires étant encore peu nombreux et le plus souvent non aboutis.

L'autre objectif de cette réunion était de rendre hommage à deux d'entre nous Micheline et Roger Séronie-Vivien qui ont formé, aidé, soutenu la plupart d'entre nous. Il fut donc décidé de nommer Mr Roger Séronie président d'honneur de ces journées silex de Lyon.

1. Etat des lieux

Pour la majorité des archéologues, il s'agit d'explorer des aspects économiques des sociétés anciennes ainsi que leurs déplacements. En préhistoire, l'acquisition et le transport des silex tracent, dans une certaine mesure, le rapport entre les groupes humains et leur territoire. La détermination des silex est donc considérée par les préhistoriens comme indispensable à la connaissance des comportements des sociétés préhistoriques. Parvenir à ce but c'est mettre en synergie l'ensemble des compétences et intensifier le travail interdisciplinaire.

Pourtant, les démarches de caractérisation et de réflexions archéologiques sont souvent menées par la même personne. Cette «appropriation» du matériau silex par l'archéologue a eu souvent pour conséquence de minimiser, sinon de supplanter, l'indispensable étape de caractérisation minéralogique et pétrographique par un recours fondé essentiellement sur la recherche de traceurs géochimiques. Cette quête de réponses rapides creuse encore le fossé entre pétrographe et archéologue et aboutit le plus souvent à des résultats où le rapprochement entre silex archéologiques et géologiques reste délicat à interpréter. Ce fossé avait pourtant été franchi très tôt à de nombreuses reprises (Deflandre, 1935, 1966 ; Valensi, 1953) et lors des différents *Flint Symposium* où les deux disciplines furent un instant réconciliées, témoin la réunion de Bordeaux en 1987 (Séronie-Lenoir, 1990). Malgré ces tentatives, le questionnement des géologues est en général resté assez éloigné de la problématique des préhistoriens qui sont avant tout demandeurs d'informations pratiques pour caractériser les silex.

L'ampleur de la tâche à accomplir a largement discrédité aux yeux des archéologues l'approche naturaliste : trop long apprentissage, besoin d'une formation multidisciplinaire, manque de référentiels, nécessité d'un examen des matériaux et de la totalité des objets archéologiques , difficulté de mener deux démarches (archéologie et géologie) en parallèle. Comme le rappellent Turc et *al* (1999), une évolution de la pétroarchéologie est nécessaire. Elle demande des

pétroarchéologues ayant acquis une longue expérience sur le terrain et en laboratoire.

Cette situation n'a guère évolué depuis trente ans et le constat est inquiétant. La majorité des archéologues reste isolée dans un carcan géographique. Les échanges interrégionaux sont restés le plus souvent des vœux pieux. La volonté de proposer la création d'un groupe de travail national, qui aurait pour fonction de mettre en place un protocole de caractérisation utilisant des bases communes n'a pas abouti. Il n'existe encore aucune formation intégrée délivrant l'enseignement indispensable à la détermination approfondie des silex. Les différentes tentatives pour essayer de rationaliser les démarches ont échoué. Mettre en commun les réflexions de chacun n'est pas un travail aisé, mais la situation a assez duré et il faut agir. Le PCR peut devenir le cadre approprié pour enregistrer, sélectionner, harmoniser et diffuser des orientations méthodologiques et sémantiques utiles à la détermination des silex.

Les besoins de l'archéologie moderne, nous oblige à dépasser l'échelle régionale. L'étude géologique préalable doit désormais se faire à une échelle suprarégionale. Elle nécessite à la fois une prise en compte des synthèses régionales et un travail sur le terrain et en laboratoire renouvelé. La combinaison de ces démarches autorise une analyse du potentiel lithologique, qui conduira à préciser la position des silex, aussi bien à l'affleurement en position primaire, qu'en position secondaire, au-delà des limites administratives.

Nous sommes conscients que l'écart se creuse entre la valeur de certains diagnostics et les conclusions archéologiques que l'on en tire. Que cette table ronde serve aussi d'alarme et rappelle la complexité du sujet.

2. Face à ce constat

Un renforcement des collaborations entre les différents acteurs est indispensable pour aboutir à la mise en service de véritables plateformes d'information dépassant les frontières de tous ordres. Elle doit servir de tremplin pour constituer une démarche commune. Il n'est plus question de prendre des initiatives isolées. Il faut se concentrer, avant tout, sur les modes de diagnoses pétrographiques et taphonomiques des diverses silicifications. C'est l'occasion de poser définitivement les options méthodologiques à mettre en débat. Il ne s'agit pas de présenter des résultats, ni de définir précisément la nature et la genèse des différents types de silex mais bien de construire un modèle de caractérisation à minima, une grille d'observation adaptée aux besoins des archéologues. La pertinence des caractérisations restera certes étroitement dépendante de la capacité des chercheurs à ajuster, à croiser les méthodes et à faire évoluer les référentiels. Cela devrait entraîner chacun des acteurs dans une démarche interdisciplinaire adaptée aux multiples aspects du silex.

Le programme de cette table ronde a été établi pour définir les attentes des archéologues et sélectionner les moyens méthodologiques pour y répondre : faire un bilan des besoins et des questionnements, harmoniser nos démarches, homogénéiser nos protocoles, employer des outils communs, mettre en place un mode d'observation et d'analyse utilisable par tous les acteurs, un lexique ouvert. Toute une série d'outils indispensables à une analyse raisonnée des silex.

3. Thèmes et réflexions abordés lors de la table ronde

Au fil des communications et des discussions qui ont animé la table ronde, un certain nombre de thèmes ont été abordés. Il nous a paru nécessaire de retranscrire et d'analyser les propositions les plus fortes, notamment celles qui ont abouti à des décisions susceptibles de répondre aux disfonctionnement récurrents.

Si l'on exclut quelques défections de manuscrit, c'est finalement 14 résumés d'inégale importance qui sont présentés dans ce rapport. Ces contributions serviront de bases aux articles qui seront

publiés en 2011 dans les actes de la table ronde «Les Journées silex de Lyon». Ce rapport ne constitue qu'une étape. Il apporte des avancées sur le plan méthodologique et concrétise les espoirs énoncés lors de la table ronde précédente organisée à Lattes en 2008.

Les résolutions suivantes ont reçu l'approbation de la majorité des participants :

3.1. Proposer un protocole commun minimal

La proposition qui suit est un développement formel, qui présente une méthode à minima apte à caractériser tous les types de roches siliceuses. Elle prend en compte les éléments essentiels des méthodes présentées et discutées lors de la table ronde (voir figure n°1, p77.). Le mode de caractérisation décrit ici ajoute au protocole classique la notion de Chaîne évolutive du silex (Fernandes, 2006). La lecture chronologique des effets liés à l'altération et l'usure représente un faisceau d'informations désormais codifiées, qui participe à la détermination des lieux de collecte.

3.1.1- Le terrain

Aborder le problème des silex implique que l'on opère à plusieurs échelles : kilométrique du bassin versant, métrique de la formation, macroscopique de l'échantillon, microscopique (fragments et lames minces), ultra-microscopique avec le MEB. L'étude préalable de tous les environnements propices aux silicifications, représente une étape importante de la recherche pétroarchéologique. Elle débute par un dépouillement détaillé des cartes géologiques. Néanmoins, le travail de prospection qui suit, cette première étape, ne doit pas dépendre uniquement de ce support ; seule une prospection détaillée, comprenant un levé séquentiel des formations à silex et des comptages tenant compte des différents faciès intra-gîte peut refléter le véritable potentiel des ressources minérales. La précision du mode de prélèvement, l'adéquation aux types de silex feront la valeur des déterminations de provenance. La discipline est construite, pour relier un objet archéologique à un échantillon géologique plus ou moins proche du modèle diagénétique. Cette démarche n'est possible que si l'échantillonnage tient compte des différents stades génétiques et post-génétiques. Pour cela, nous devons utiliser deux protocoles différents : un pour les gîtes primaires, l'autre adapté à tous les types de gîtes secondaires.

Dans une sphère régionale déterminée, chaque encaissant contenant des silex ainsi que chaque horizon à silex (gîte primaire au sens strict) est mesuré et prélevé en respectant son épaisseur et sa polarité. Ceci afin d'évaluer l'intensité de la fragmentation post-génétique et d'identifier les déformations synsédimentaires, de type figure de charge qui permettront de rattacher les objets archéologiques au toit ou au mur de la couche. Dans chaque horizon on prélève au front de carrière et le plus profondément possible dans la formation silicifiée, afin d'éviter au maximum que le matériel ait déjà subit des modifications lourdes liées à l'affleurement. L'échantillon prélevé à l'intérieur de la formation est utilisé comme faciès pétrographique génétique de référence ; celui prélevé à l'affleurement naturel sert de types gîtologique de proche surface, il correspond à la phase 1 de la chaîne évolutive (voir figure 2).

Dans un deuxième temps, des prospections méthodiques par unité géomorphologique permettent de caractériser et cataloguer les gîtes secondaires selon les caractères génétiques et les modifications subies encore visibles sur les silex. Ainsi les gîtes secondaires sont échantillonnés à des distances variables du gîte primaire, en fonction du contexte, selon un axe de dispersion établi d'après la répartition des formations superficielles observées. Le but est double, à la fois, délimiter l'aire de dispersion spécifique à chaque type génétique et disposé, à l'intérieur de ce périmètre, d'un référentiel suffisamment représentatif pour suivre les différentes étapes de la transformation. Cette démarche consiste à étudier une série d'échantillons d'un même type de silex jalonnant un parcours d'épandage.

Détail du protocole

- historique du bassin sédimentaire : il faut prendre en compte la dynamique sédimentaire générale à l'origine de sa mise en place.

• inventaire des différentes formations à silex, cette étape correspond : à l'établissement de la liste des types génétiques et gîtologiques ; la cartographie de ces derniers et donc la visualisation des zones de formation et de diffusion propres à chaque type génétique.
• description de l'affleurement, cette étape comprend : le prélèvement et la caractérisation de l'encaissant et de la silicification ; la description du rapport entre encaissant et la silicification (position, polarité, habitus, les modes de lithoclase, dimensions, la couleur et l'aspect) ; l'inventaire de chaque habitus en présence. On ne peut plus se contenter d'omettre ce type de renseignements au cours de l'enregistrement des échantillons. Pourtant, dans la plupart des lithothèques les informations relatives aux contextes géologique et stratigraphique sont insuffisante. Une fois que l'origine paléoenvironnementale et stratigraphique des silicifications est connue, nous évaluons les aires d'expansion propres à chaque type génétique. La lithothèque doit représenter fidèlement l'ensemble de ces chaînes évolutives. Dans un même casier, on range la totalité des filiations d'un même type génétique. L'inventaire des sources minérales d'une région, ne doit pas être seulement un pivot stratigraphique des matériaux siliceux. Par l'archivage des matériaux d'une même séquence évolutive, témoignée en particulier par les états de surface, la lithothèque devient un véritable référentiel géographique au service de l'archéologue. Il y trouve pour tous les faciès génétiques et gîtologiques enregistrés, un échantillon à chaque échelle (blocs, fragments métallisé ou non, lames minces, talon) témoignant de transformations successives.

Pour chaque gîte nous réalisons :
• un enregistrement photographique du rapport entre l'encaissant et la silicification
• un enregistrement photographique de l'habitus de chaque échantillon
• un enregistrement de la polarité de chaque échantillon, enregistrant l'aspect de la face supérieure et celui de la face inférieure.

Au terme de cette étape on doit avoir déterminé : le type de gîte ; l'âge de l'encaissant et celui de la silicification ; le rapport entre l'encaissant et la silicification et enfin l'habitus de ce dernier.

3.1.2- Deuxième étape, le laboratoire : les éléments essentiels de la grille descriptive

Il faut commencer par l'étude des échantillons géologiques et jamais l'inverse. Le protocole de caractérisation se doit de suivre, la logique imposée par la chaîne évolutive : étudier les silex en position primaire, puis suivre chacun d'eux le long de leur parcours pour enfin se permettre, une fois muni de ce référentiel dynamique, d'aborder l'étude des pièces archéologiques.

3.1.2.1- Les éléments essentiels de la grille descriptive

Le protocole d'observation sépare, dans un premier temps de façon théorique, les mécanismes physiques des processus chimiques et biochimiques (Fernandes et Raynal, 2006). Les silex subissent des transformations simultanées qui sont d'origine multiple, il est donc indispensable de distinguer les différents processus, pour mieux révéler, par la suite, la chronologie des faits. Les examens en laboratoire sont pratiqués aux trois échelles (macroscopique, microscopique et ultramicroscopique), en respectant le même protocole. Ces étapes sont reprises sur une seule et même fiche pour les échantillons géologiques comme pour les pièces archéologiques (les définitions des termes utilisés se trouvent en annexe 1 dans le lexique).

Le concept de zonalité

Il est admis depuis Millot (1964), que les différents modèles de silicification ont un développement principalement centrifuge et que les différents processus d'altération sont surtout centripètes. L'ensemble de ces processus induisent une variabilité intra-module plus ou moins nette. C'est pour ces raisons, que nous avons divisé les échantillons en 5 zones ; afin de prendre en compte ces facteurs d'hétérogénéité. Nous nous efforçons à toutes les échelles, de retrouver les indices de ces zonations, qu'elles soient d'origine sédimentaire, diagénétique ou post-diagénétique sur les échantillons géologiques et sur les objets archéologiques.

Dans le cas classique d'un volume silicifié, la zone la plus stable et témoignant le mieux de la diagenèse se trouve, le plus souvent, au centre (zone 1), deux zones endocorticales sont distinguées, supérieure (zone 2) et inférieure (zone 3), elles entourent la zone 1 et possèdent une texture le plus souvent différente de celle-ci. L'organisation cristalline y est beaucoup moins stable, les mécanismes de recristallisation et de remplacement y sont plus fréquents, l'état de conservation et la distribution des bioclastes diffèrent. Les parties néo-corticales : supérieure (zone 4) et inférieure (zone 5) limitent la cristallisation siliceuse. Elles contiennent surtout des impuretés ou leurs empreintes, mais également de nombreux éléments plus ou moins modifiés appartenant à la roche encaissante. L'aspect poreux et opaque de ces zones vient de la disparition des éléments métastables et instables refoulés par le front de cristallisation. Les zones 4 et 5 sont le plus souvent asymétriques et ce critère de polarité peut permettre, de distinguer la face supérieure de la face inférieure, sur les échantillons géologiques et les objets archéologiques. Cette approche résout une partie des problèmes liés à l'hétérogénéité de l'échantillon. Ce type de subdivision permet de replacer la majorité des pièces archéologiques dans le module initial et participe à l'assemblage de pièces non jointives appartenant à un même type de module.

La distinction entre surfaces naturelles et taillées

En plus du découpage en zones, essentiel pour la corrélation avec les objets archéologiques, nous distinguons (pour ces derniers) la surface supérieure ou naturelle souvent porteuse des stigmates pré-dépositionnels de la face inférieure ou taillée qui enregistre uniquement les traces des évolutions dans le gisement postérieures aux phases de production et/ou de consommation et/ou d'abandon. Ces états de surfaces post-dépositionnels se sont développés à l'intérieur du site, dans des conditions d'exploitation, d'exposition ou d'enfouissement variés. Il s'agit là, de faire un inventaire raisonné des processus environnementaux qui ont affecté le silex et surtout de séparer in fine les processus antérieurs au ramassage des processus postérieurs déterminés par l'histoire du remplissage. Car se sont bien les associations de stigmates du stade pré-dépositionnel, qu'il nous faut décrypter.

microtopographie et figures d'altération

Les résultats des processus mécaniques et chimiques varient selon la topographie des échantillons. Afin, de mieux définir les types de déformation et leur succession, nous avons distingué quatre microreliefs différents au sein des néo-cortex étudiés : sommet des irrégularités et arêtes principales, arêtes secondaires et irrégularités mineures, surfaces planes et enfin surfaces concaves. Pour chacune de ces zones, on a noté les associations de stigmates. On examine les stigmates et l'on détermine si possible l'agent causal : des types de chocs (leur distribution et leur état de conservation) ; des types de polis (leur intensité, leur répartition) ; de la texture cristalline et du réseau de dissolution ; des types de néo-genèses (minérales, dépôts ou encroûtements).

La polarité

Les figures sédimentaires des dépôts silicifiés sont parfois conservées sur la surface naturelle des objets archéologiques. Leur examen, permet de retrouver la polarité de la pièce lithique par rapport au module d'origine. Ces figures sédimentaires sont liées à la différence de plasticité, à l'érosion ou à l'activité des organismes. Les figures de charges (*load structures*) sont courantes, à la surface des silicifcations.

Si la polarité génétique est mentionnée en pétroarchéologie, la notion de polarité gîtologique (orientation associée aux stades post-génétique) est plus rarement évoquée. Pourtant, de nombreux processus d'usure et d'altération sont contrôlés par la disposition nouvelle de l'échantillon et produisent des surfaces, qui présentent des caractères distincts. Ces processus sont visibles sur les blocs ayant résidé en surface, transité dans les recouvrements colluvionnaires et sur les galets fluviatiles, mais toujours très difficile à décrypter sur les galets marins, beaucoup plus homogènes. Il faut donc distinguer, au niveau de la morphologie générale les zones exposées (à fort potentiel mécanique et/ou chimique), des zones protégées (à faible

potentiel mécanique et/ou chimique). La confrontation avec les surfaces naturelles des objets archéologiques est dès lors facilitée par cette approche fine des variantes taphonomiques.

Chronologie des fragmentations et gradients de polissage

L'évolution de l'encaissant et de l'habitus initial induisent les processus de transformations post-génétiques. Les phénomènes tectoniques et météoriques conditionnent la morphologie et l'évolution texturale des échantillons. Il est donc utile de disposer, d'informations concernant la lithoclase du silex dès la fin de la diagenèse. Cette évolution initiale contrôle sa fragmentation à l'érosion et son éventuel débit sous les chocs au cours du transport fluviatile. Il faut ensuite enregistrer les gradients de polissage, propres à chaque surface d'éclatement, afin de distinguer les fragmentations anciennes, aux bords polis, des fragmentations plus tardives, aux rebords plus vifs. L'association de stigmates présente sur les surfaces les plus récentes correspond, dans la majorité des cas, au milieu de dépôt final.

3.1.2.2. Détail du protocole (voir figures n°3 et 4)

- déterminer le type pétrographique : silex marin, silex lacustre, silcrète, silice hydrothermale…

- Le type de néo-cortex : il est épais ou fin, couvrant ou partiel et crayeux, grumeleux ou encore siliceux… Avant l'interprétation des processus à l'origine de cette association de stigmates il est souhaitable de donner une description précise et chronologique des effets inscrits à la surface des silex.

- La structure : elle est homogène, hétérogène, litée, zonée, *fenestrea* ou bioturbée…

- La texture : elle est *mudstone, wackestone, packstone, grainstone* ou *boundstone…* On aborde alors le paramètre le plus discriminant dans le cadre de nos recherches. L'expérience que nous avons acquise au cours des dernières années a confirmé l'importance de la description détaillée de chaque type de clastes. Leur taille, leur fréquence, leur classement, leur état de fragmentation (sphéricité, arrondi), leur distribution et leur évolution au sein de la matrice sont des éléments déterminants de la grille descriptive. Les clastes peuvent se subdiviser en différents groupes classés selon leur nature, leur taille et leur forme. On distingue les types suivants : clastes, bioclastes, pellets, péloïdes, débris, lumps, oncoïdes, mud coated grain, mud balls, oolithes, sphérulithes, bahamithes, pisolites, lithoclastes (exoclastes et endoclastes)…

Les notions de milieu de dépôt et de niveau d'énergie sont déduites de la description des critères pétrographiques, minéralogiques et géochimiques par trois valeurs relatives : faible, modéré et fort. Elles sont établies en fonction de la taille, du pourcentage et de la nature des éléments figurés conservés par la silicification.

- Si les paramètres utilisés précédemment participent à la reconstitution du milieu de formation la description de la couleur d'origine et de la couleur acquise - des patines pré et post-dépositionnelles - des lustré pré et post-dépositionnels et des associations de stigmates met en évidence les aspects taphonomiques post-génétiques et complètent en cela la fiche d'identité du silex (figure 5). Nous proposons dans le cadre de ce protocole, de suivre l'évolution du silex dans les différents contextes où il a résidé et transité jusque dans les milieux où il a été collecté puis abandonné. La connaissance des effets liés à l'altération et à l'usure permet aujourd'hui de déterminer la chronologie des agents supposés responsables des modifications observées.

Une lame mince est effectuée pour chacun des types de textures précédemment déterminées (types génétiques et types gîtologiques relais). L'observation au microscope polarisant permet de caractériser le microfaciès : la matrice, les éléments présents dans cet encaissant et le type de porosité. L'examen minéralogique (au microscope) respecte les règles habituelles de la pétrographie (en lumière polarisée non analysée, en lumière polarisée analysée et en

utilisant la lame quart d'onde ou la lame teinte sensible), selon la biréfringence. Les phases minéralogiques, les éléments figurés sont caractérisés et une attention toute particulière est portée aux rapports formes reliques et néogènes et au réseau de porosité. L'examen des lames minces développe l'analyse des microfaciès sédimentaires diagénisés et altérés. Cette étape, contribue elle aussi, à la reconstitution du contexte paléogéographique (Roubault, 1982).

Chaque type génétiques et gîtologiques feront l'objet d'une fiche comprenant une planche photographique aux trois échelles. Cette fiche permettra de visualiser la description pétrographique ; le milieu ; le niveau d'énergie ; la diagenèse et les stades post-dépositionnels. Une en-tête à droite présente les détails de la localisation, si elle est connue.

3.1.3- Troisième étape, le laboratoire : les analyses.

Les techniques d'observations pétrographiques et taphonomiques sont argumentées par une série de photos pertinentes, à toutes les échelles, qui servent à consolider les descriptions et donc confirmer le classement. Le recourt aux méthodes analytiques adaptées aux roches siliceuses est cependant nécessaire. Les techniques les plus éprouvées sont la diffractométrie X, la spectrométrie infrarouge, la microsonde associée au MEB. Sauf cas particulier la microstructure des silex nous conduit à émettre des doutes sur l'application de méthodes, comme la détermination des éléments traces par ICPMS ou du rapport isotopique du strontium initial $(87Sr/88Sr)_i$ par TIMS. L'utilisation de tels outils, nous semble, encore trop délicate à mettre en place.

3.2. Concrétiser et diffuser un lexique

Le résultat de cette démarche engagée depuis 2004 par certains membres du PCR (P. Fernandes, M. Piboule, J.P. Raynal), est présenté en annexe 1 de ce rapport. Il devra être soumis à tous les acteurs concernés par les problèmes de vocabulaire afin que chacun l'alimente de ces remarques.

L'objectif n'est pas d'imposer une révision sémantique des termes usités dans les différentes disciplines, mais de proposer un lexique de références indiquant les correspondances entre les définitions de chaque mot clé. La diversité des connaissances nécessaires a conforté l'idée d'établir un lexique pluridisciplinaire, comportant des termes utiles concernant le silex d'ordre : géographique, géologique, minéralogique, pétrographique, géomorphologique, pédologique, paléontologique, biologique, botanique (voir annexe 1). Il doit également intégrer quelques termes de la physique et de la chimie utiles pour préciser à différentes échelles certains mécanismes fondamentaux qui transforment les matériaux siliceux à différentes étapes de leur évolution. Cet essai lexical regroupe une sélection des principaux termes et expressions utilisées pour définir et décrire les silex. Il rappelle les significations usuelles ; celles-ci ont parfois été précisées, voire légèrement modifiées pour être adaptées dans leur emploi à la pétroarchéologie en raison d'un déficit de terme. Des indications étymologiques ont été données seulement lorsqu'elles peuvent faciliter la compréhension ou la mémorisation du mot. Quelques termes ou expressions en langue anglaise ont été inclus sans être traduits car d'usage assez fréquent en géologie sédimentaire. Enfin le genre de certains termes posant des problèmes a été introduit.

3.3. informer régulièrement sur les ouvrages ou articles traitant du silex

Une bibliographie synthétique est présentée dans l'annexe 2 de ce rapport. Elle rassemble une partie des ouvrages ou articles qui ont servi à élaborer les méthodologies utilisées et constituer le lexique consacré au silex.

3.4. Présenter un questionnaire sur la démarche collaborative à mettre en place

(voir annexe 4)
Les réponses à ce questionnaire devraient permettre d'adapter les objectifs des groupes de

travail aux demandes des acteurs de la discipline.

- Quel protocole de caractérisation utilisez-vous ?
- Rencontrez-vous des difficultés lorsque vous déterminer des silex et si oui lesquelles?
- Avez-vous besoin d'informations sur la nature des différentes silicifications, si oui lesquelles ?
- Avez-vous besoin d'informations sur l'évolution des surfaces et de la texture des silex ?
- Estimez-vous que la pétroarchéologie soit une discipline suffisamment structurée ?
- Pensez-vous que les données gîtologiques et les informations pétrographiques accumulées à ce jour sont suffisamment mises en valeur ?
- Qu'attendez-vous d'un programme collectif de recherche dont l'objectif principal est l'harmonisation des méthodes de caractérisation ?
- Seriez-vous prêt à participer à un groupe de travail, si oui lequel et dans quelle mesure ?
- Accepteriez-vous de partager des informations avec des chercheurs d'une autre région, si oui dans quelles conditions ?
- Voulez-vous harmoniser le mode de recensement des gîtes ?
- A quels objectifs doit répondre une base de données sur les matières premières ?
- Comment envisagez-vous la mise en ligne de données sur les gîtes à une échelle suprarégionale?
- Désirez-vous utiliser une seule ou plusieurs plate-forme(s) extranet, pour héberger ces données ? Sachant que ce ou ces plates-formes conçues comme des espaces collaboratifs permettront aux acteurs du projet d'alimenter et de partager des données textes et images.

3.5. Publication des actes de la table ronde

La décision de publier les actes de cette table ronde a été prise à l'unanimité par les participants. Les résumés intégrés à ce rapport représentent un aperçu de la publication à venir. Etant donné les délais donnés aux auteurs ajoutés à ceux de l'édition, la parution de l'ouvrage est prévue pour la fin de l'année 2011. Les contributions qui composeront ces actes sont pour le moment au nombre de 20. Elles balaieront l'ensemble des champs thématiques concernant la recherche sur les matières premières siliceuses.

3.6. Mise en place de groupes de travail

Le but des activités de ces groupes de travail est la mise en commun d'informations pratiques nécessaires à la mise au point d'une approche systématisée du matériel archéologique siliceux. Plusieurs personnes se sont portées volontaires pour répondre à un double objectif : la nécessité de définir à la fois un protocole commun, ainsi que l'enregistrement et la gestion des données harmonisées ainsi obtenues.

- Groupe de travail «minéralogie des silex»
  - M. Thiry
  - F. Fröhlich
  - P. Schmidt
  - M. Piboule

Son but en 2011 est de progresser dans la recherche des modes d'observations aptes à tracer la diagenèse et l'évolution post-génétique des silex. Il s'agit d'affiner le projet de mode opératoire constitué lors de la table ronde en octobre 2010. Le groupe s'attachera à développer vérifier et informé sur les méthodes employées ces dernières années.

- Groupe de travail «pétrographie des silex»
  - MR. Séronie
  - J. Affolter
  - A. Turq
  - X. Terradas
  - X. Mangado

Ce groupe travaillera en liaison étroite avec le groupe minéralogie. Il s'attachera à vérifier, harmoniser, développer et diffuser les méthodes employées ces dernières années.

- Groupe de travail «taphonomie naturelle des silex»
  P. Fernandes
  A. Turq
  A. Morala
  M. Garcia-Anton

Ce groupe travaillera en rapport avec les deux groupes précédent. Son objectif en 2011 est la poursuite de l'élaboration d'un modèle d'analyse applicable à la lecture chronologique des transformations subi par le silex de la phase terminale de sa formation à sa découverte dans le site archéologique. Les modes de caractérisation classiques sont complétés par la prise en compte, à chaque étape du protocole, des transformations postérieures à la diagenèse du silex : composition minérale, évolution texturale, du réseau poreux et des associations de marques d'altérations. Par la suite, l'ensemble des pièces archéologiques doit faire l'objet d'une étude taphonomique adaptée aux formes de transformations naturelles rencontrées sur les silex de la série. Les effets des processus d'altération pré et post-dépositionnels présents à la surface et à l'intérieur des silex doivent être décrits.

- Groupe de travail «enregistrement des données, lithothèque et cartographie»
  C. Tufféry
  J. Affolter
  C Bressy
  P Fernandes

Ce groupe de travail devra bénéficier des efforts d'harmonisation entrepris par les trois autres groupes. Une place importante a été accordée, lors de ces journées, aux difficultés que représente la réalisation de bases de données sur les gîtes. La question de la représentation cartographique de ces derniers reste une préoccupation primordiale. Les enjeux sont considérables, aux diverses échelles de recueil, d'analyse, de traitement, d'échange et de restitution de ces données. Mais ces enjeux imposent d'avoir conscience des conditions et des difficultés pour parvenir à une harmonisation. Les bases de données offrent des ponts entre les disciplines, il faut simplement en amont s'accorder sur les méthodes et les outils pour l'acquisition, la gestion et l'exploitation des données à intégrer dans des fichiers qui devront être croisés. Il convient de considérer la démarche entreprise comme une piste de travail qui devrait attirer l'attention des membres du PCR sur les exigences méthodologiques en matière d'interopérabilité des ressources documentaires et métadocumentaires mobilisées à ce jour ou dans le futur pour les données géologiques et pétroarchéologiques.

4. Les perspectives au-delà de la table ronde

Les communications et les débats ont montré une volonté unanime d'harmonisation des méthodes de caractérisation. La rencontre a permis de tirer les leçons de l'échec des tentatives précédentes :

- la volonté de créer une fiche d'identification unique est inutile. Ce n'est pas d'une fiche commune dont la discipline a besoin mais d'une *check-list* comprenant toutes les étapes nécessaire à la description des roches siliceuses.
- Le projet doit être coordonné par un programme collectif ayant acquis un réseau suffisant pour enrichir et diffuser les informations nécessaires.
- Il faut créer des groupes de travail restreints sur des thématiques essentielles, proposant dans un premier temps leurs réflexions à une assemblée contributive. Le résultat de ces échanges devra être réévalué pour être finalisé et traduit en plusieurs langues.

Selon l'avis de tous les participants : le PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes possède désormais les atouts pour jouer ce rôle de plate-forme fédérative. La nécessité de créer des groupes de travail évoquée, en 2008, lors de la table ronde organisée à Lattes est désormais

validée. Il faut pour 2011 prévoir des échanges et des rencontres par groupe de travail (minéralogie, pétrographie, taphonomie naturelle, lexique, enregistrement des données) durant lesquelles les volontaires pourraient traiter de leur champ méthodologique respectif. Il sera, d'abord, question de discuter le la valeur des protocoles proposés au cours de la table ronde. Les propositions intégrés à ce rapport et diffuser à tous les participants : d'un protocole, d'un lexique et d'une bibliographie serviront de bases aux premiers échanges. Ces trois documents préliminaires devront être revus, corrigés et enrichis au cours de l'année 2011. Le résultat de ces échanges sera publié dans les actes du colloque à la suite des articles. Ce travail collectif de méthodologie et d'information doit se faire sur internet, grâce à la liste des participants intégrée au rapport (page liste 19).

Un calendrier sera proposé aux différentes personnes qui se sont portées volontaire dès le mois de mars, la fréquence de ces sessions doit être d'ici là évaluée. En décembre 2011, à l'issu des ces ateliers, un cahier des charges pourrait être constitué, recensant les décisions prises lors de ces réunions. En fait le PCR doit présenter dans chacun de ces rapports le bilan de ces sessions de travail. Pour aboutir en 2012 à l'élaboration d'un protocole de caractérisation adopté par la majorité des acteurs concernés.

Rester en contact après cette réunion c'est l'un des rôles du P.C.R. pour les deux prochaines années et la meilleure manière de consolider les liens scientifiques et humains d'une communauté en pleine structuration. La liste des adresses mails des collaborateurs jointe à ce rapport doit permettre à tous de communiquer. Il faut réduire les décalages entre les disciplines et les cloisonnements entre les régions. La proposition faite par G. Porraz et D. Binder en 2008 de créer une charte pour assurer les liens entre archéologues et pétroarchéologues est toujours d'actualité. Elle engagera, nous le souhaitons, la majorité des acteurs à respecter un même mode de caractérisation.

Collectes préhistoriques	Histoire	Stades génétiques		Évolution	Mécanismes
	Dépôt archéologique	Post-genèse	Postdépositionnel	Centripète	Dépôt et remaniement anthropiques: désagrégation, abrasion, trace de chocs, altération, patine secondaire.
	Remaniement	Post-genèse	Prédépositionnel	Centripète	Remaniement et dépôt : désagrégation, abrasion, traces de chocs, altération, patine néocortex.
	Arrivée à l'affleurement	Post-genèse	Initial	Centripète	Dissolution, recristallisation
	Sédimentaire	Diagenèse	Lithification	Centrifuge	Cristallisation initiale, dont cortex
		Diagenèse	Sédimentation	Centrifuge	Diminution de la porosité, (compaction)

Figure 2 - Chaîne évolutive de la silice dans le cadre de la pétroarchéologie. Schéma conceptuel de l'enchaînement des transformations lithiques successives et des lieux de collecte potentiels.

caractéristiques	Fernandes	notice géologique	autre
gîte			
age			
habitus			
type pétro			
néo-cortex			
structure			
texture			
zone endocorticale			
zone interne			
matrice			
pellets			
intraclastes			
bioclastes			
débris végétaux			
macrofaunes			
spongiaires			
algues			
bryozoaire			
foraminifères			
couleur d'origine			
couleur acquise			
patine			

Figure 3 -Proposition de fiche descriptive

caractéristiques	taille	classement	fréquence %	sphéricité	arrondi	modalités de la fossilisation
clastes						
endoclastes						
exoclastes						
pellets						
peloïdes						
débris						
lumps						
oncoïdes						
mud coated grain						
oolithes alpha						
oolithes beta						
oolithes gamma						
sphérulithes						
bahamites						
pisolites						
bioclastes						
description						

Figure 4 - Proposition de fiche descriptive détaillée des éléments figurés

Fiche de caractérisation des échantillons géologiques et des objets archéologiques

Localisation

Lieu-dit :
Commune :
Département :
Pays :
Lambert III étendu : x : y :
Altitude :
Feuille IGN :
Feuille BRGM :

Auteur :
Date de création :
Lieu de dépôt :

N° pièce :
Type support :
Etat de conservation :
Typologie :

Gîtologie

Gisement :
Gîte :
N° du gîte :
Type de Gîte :
N° du type :
Type de silicification :
Type d'encaissant :
Position :
Polarité : Description face supérieure :
Description face inférieure :
Habitus :
Lithoclase :

Attribution stratigraphique :

Position secondaire :
Milieu :
Niveau d'énergie :

Pétrographie

Habitus :
Type pétro :
Cortex :
Néocortex :
Zonalité :
Structure :
Texture :
Zone endocorticale :
Zone interne :
Matrice :
Clastes :
Bioclastes majeurs :

Bioclastes mineurs :

Mesures

Longueur (mm) :
Largeur (mm) :
Epaisseur (mm) :
Poids (gr) :
Indice d'aplatissement :
Indice d'émoussé :
Indice de disymétrie :

Photo du gîte :

Minéralogie et Géochimie

Phases majeurs Authigènes :

Phases mineurs Authigènes :

Habitus des composants majeurs :
Habitus des composants mineurs :
Phases terrigènes :
Taille des phases terrigènes :
Taille des composants majeurs :
Taille des composants mineurs :

Photo macroscopique :

Photo binoculaire :

Taphonomie

Face naturelle processus mécanique :
Face naturelle processus chimique :
Face taillée processus mécanique :
Face taillée processus chimique :
Couleur d'origine :
Couleur acquise :
Patine pré-dépositionnelle :
Patine post-dépositionnelle :
Processus tectonique : absent
Trace de chauffe : absente
Lustré pré-dépositionnelle :
Lustré post-dépositionnelle :
Encroûtement :
Degré de porosité zone interne :
Degré de porosité zone cortical :

Photo microscopique :

Photo ultramicroscopique :

Bibliographie

Description

Figure 5 - Proposition d'une fiche de caractérisation des échantillons géologiques et des objets archéologiques

Minéralogie

Du quartz au silex, l'hydrothermalisme source de matériaux siliceux : exemple des jaspéroïdes de l'Hettangien du Berry.

PIBOULE Michel- Prof. UJF Grenoble
smpiboule@yahoo.fr

Introduction

Les bassins sédimentaires intracontinentaux, marins ou lacustres, subsidents ou non, sont souvent le siège d'un hydrothermalisme *(cf.* annexe 1). La présence d'un aquifère profond alimenté par les marges du bassin préside à son fonctionnement. L'eau d'origine lacustre ou marine circule dans les strates perméables du dépôt sédimentaire. Par le biais de son réchauffement en profondeur, l'eau participe à des convections au sein de la pile sédimentaire. Ces mouvements sont facilités par l'existence de structures faillées profondes affectant le substratum du bassin et les sédiments sus-jacents. A la faveur de ces convections, particulièrement dans les zones les plus chaudes, l'eau interagit avec les sédiments et participe à des échanges chimiques qui conduisent à d'importantes modifications chimiques de sa composition d'origine. Parmi ces échanges la mise en solution de SiO_2 (*cf.* annexe 2) à partir des sédiments détritiques terrigènes constitue la source principale future des minéraux du groupe de la silice des dépôts ultérieurs. Dans ce modèle, la restitution des eaux chaudes dans les aires de décharge se fait généralement le long d'accidents tectoniques, particulièrement sur les bordures du bassin. Ainsi l'implantation des dépôts hydrothermaux dépend le plus souvent de l'emplacement des failles majeures. Toutefois la structure stratifiée du bassin peut contrôler également le dépôt et lui imprimer un cachet stratoïde conforme à la structure locale des sédiments affectés. Dans ces deux situations l'hydrothermalisme implique une substitution des matériaux sédimentaires par des produits du dépôt. Ce remplacement siliceux passe par des processus de dissolution des carbonates au contact des eaux chaudes au front même du futur dépôt hydrothermal. Dans un cas extrême les fluides hydrothermaux arrivent à la surface et conduisent à une décharge de surface équivalente de celles des geysers actuels.

Parmi les produits siliceux (hydrothermalites siliceuses) qui se rapportent aux décharges hydrothermales implantées dans des bassins sédimentaires deux sont particulièrement importants en terme de matières premières exploitables par les hommes préhistoriques.

Les sinters (*cf.* Bates et Jackson, 1980) -rapportés aux geysers- sont souvent inféodés à des aires à forts gradients géothermiques, à des domaines volcaniques et des bassins tectoniques volcano-sédimentaires alimentés par un volcanisme actif (ex. Province de Taupo en Nouvelle-Zélande, Parc de Yellowstone aux E.U.,…). En France, le gisement de Meillers (03) délivre des sinters d'âge permien consécutif d'un hydrothermalisme inféodé à un bassin sédimentaire riche en sédiments détritiques à dépôts produits volcano-détritiques subordonnés.

Les jaspéroïdes sont des matériaux siliceux à aspect de jaspes issus du remplacement de roches sédimentaires carbonatées par des fluides hydrothermaux (*cf.* Bates et Jackson, 1980). Ces matériaux sont fréquents dans les gangues siliceuses des dépôts sulfurés des minéralisations sédimentaires à plomb-zinc. Par leurs caractères pétrographiques ces jaspéroïdes ont été longtemps assimilés aux silex ou aux cherts malgré des origines pétrogénétiques différentes. Ce résumé de communication traite de ce second type de silicifications hydrothermales.

Les formations sédimentaires de la base du Lias (Hettangien et Sinémurien) offrent aux limites du Massif Central, particulièrement sur ses bordures limousines, charentaises et berrichonnes de nombreux gîtes de «jaspes» (Mouterde, 1952 ; Courel, 1970, 1973). Ces matériaux sont assimilés depuis peu à des jaspéroïdes (Lougnon et *al*., 1973 ; Demars, 1982 ; Séronie-Vivien et *al*., 1987 ;…). Ce type de silicification correspond à des hydrothermalites issues du remplacement de calcaires ou de dolomies par du quartz cryptocristallin ou de la calcédonite. Ces matériaux sont génétiquement liés à des minéralisations hydrothermales de bordure de bassin sédimentaire.

Dans le Berry et la marge limousine les sédiments affectés par ces silicifications hydrothermales se rapportent à des faciès transgressifs de bord de plateforme. Ils comportent des argilites de milieux lagunaires, des dolomies et des calcaires de bordure interne de plateforme. A l'échelle régionale ces horizons silicifiés peuvent comporter latéralement dans les mêmes étages des minéralisations hydrothermales filoniennes et stratiformes. Pour le nord du Massif central, le gîte de fer, fluorine et barytine de Chaillac (36) est le plus important d'entres eux (Ziserman, 1980).

1. Jaspéroïdes de l'Hettangien de l'Indre et du Cher

Ces matériaux siliceux se rapportent à l'Hettangien (199,6 à 195,5 Ma) qui affleure en bordure méridionale du Bassin Parisien (Feuilles géologiques 1/50000ème : La Châtre (1987), Châteaumeillant (2009) et Saint-Amand-Montrond (1994)). Ils constituent cartographiquement une suite de dépôts siliceux portés par un même horizon, qui s'étend sur une vingtaine de kilomètres de Briantes (Indre) (Le Grand Chaumois) au Chatelet (Cher)(*cf.* carte). Cet horizon a été décrit par Mouterde (1952) et Courel (1970). Le premier auteur rapporte ces silicifications à des «jaspes». La synthèse géologique du Bassin Parisien (Mégnien, 1980) sur la base des travaux des deux auteurs, en donne une définition (*cf*. «jaspes du Chaumois»).

Les premiers descriptifs de jaspéroïdes en France ont été apportés par Séronie-Vivien et *al*. (1987) pour des silicifications de l'infralias aquitain et charentais. Sur cette base, l'identité macroscopique des matériaux a permis récemment de rapporter les «jaspes du Chaumois» à ce type de silicifications épigénétiques hydrothermales (Aubry, 1991 ; Primault, 2003).

Des données géologiques, particulièrement gîtologiques, tectoniques et pétrographiques permettent d'étayer ici cette identité génétique.

1.1. Données géologiques

Les jaspéroïdes sont rares à l'affleurement. Une coupe - visible dans les années 70 - peut être déduite des anciennes observations et de celles délivrées avec précision par Alcayé et *al*. (1976) *(*figure 1*)*. L'horizon siliceux du Chaumois s'intercale dans un niveau dolomitique peu épais.

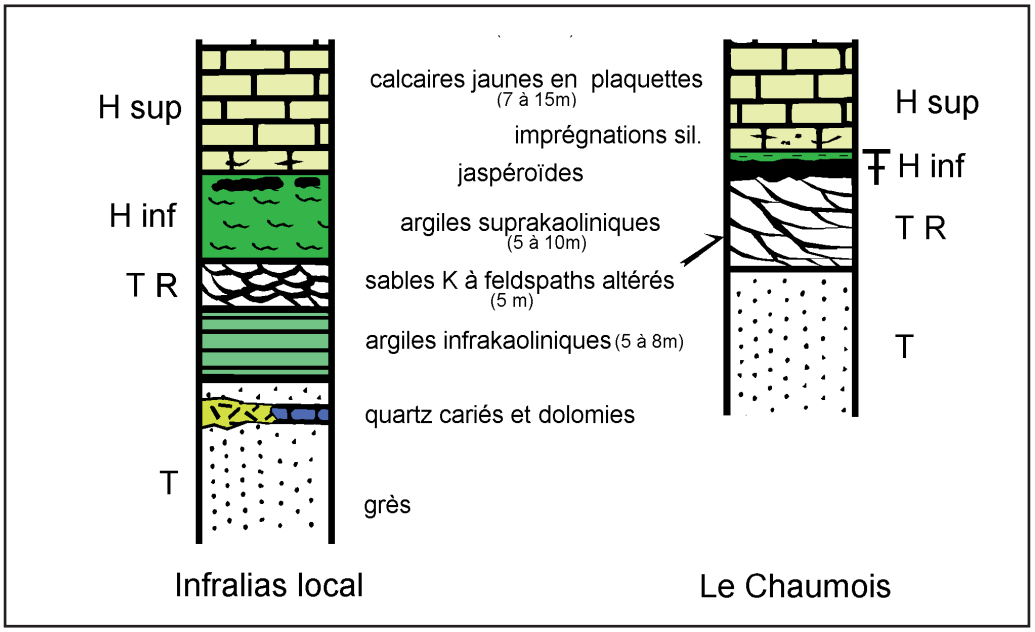


Figure 1- Logs stratigraphiques de l'infralias de la région de La Châtre et de l'Hettangien du Chaumois (d'après Fraisse et al., 1987 et Alcaydé et al., 1976). Abréviations : T : Trias, TR : Trias supérieur et Rhétien, H inf : Hettangien inférieur ; H sup : Hettangien supérieur. Les jaspéroïdes sont indiqués en noirs. au toit des argiles «suprakaoliniques» locales rapportées à l'Hettangien inférieur par leur faune à Gervilleia rhombica et Mytilus.

Cette formation argileuse est surmontée par des calcaires jaunes en plaquettes et à mouchetures de manganèse. L'âge de cet ensemble carbonaté est Hettangien supérieur. Sa base offre localement de rares imprégnations silico-carbonatées à bordures diffuses et à matrice riche en petites ponctuations de manganèse.

Dans la région de La Châtre et Briantes, la coupe précédente surmonte les grès triasiques par l'intermédiaire d'argiles à kaolinites (dites «infrakaoliniques») et des sables kaoliniques à feldspaths altérés *(*figure 1*)*. On peut noter ici que le gisement des «jaspes du Chaumois» correspond à un ancien niveau dolomitique intercalés initialement dans des argilites. Les fluides minéralisateurs à l'origine de la silicification des dolomies ont été guidés et contrôlés latéralement par les argiles imperméables. Ce contrôle lithologique et structural de la silicification par les argilites encaissantes s'avère constant tout au long de l'horizon à jaspéroïdes comme en attestent les nombreuses carrières anciennes d'argiles situées de part et d'autre. Ce contrôle rendu efficace par la perméabilité de l'encaissant du niveau silicifié est attesté par l'absence de silicifications dans l'Hettangien supérieur hormis les quelques imprégnations mineures localisées à sa base.

Un contrôle du même ordre peut être envisagé pour des dolomies intercalées dans les grès du trias au sud de La Châtre (région de Briantes). Les faciès carbonatés ont été partiellement ou totalement remplacés par un matériau caverneux à quartz («quartz cariés») (figures 1 & 2) ainsi que certaines roches détritiques encaissantes (Courel, 1970, 1973 ; Fraisse et *al.*, 1987). Ces roches de substitution sont localement minéralisées en barytine, fluorine, galène et systématiquement imprégnées de fer et de manganèse (De Launay et Michel-Lévy, 1892 ; Fraisse et *al.*, 1987). Notons qu'au plan de la cartographie les «quartz cariés» ont été localement confondus avec les «jaspes de l'Hettangien» par les anciens auteurs du XIXème siècle pour le 1/80000ème (Courel, 1973, p.72).

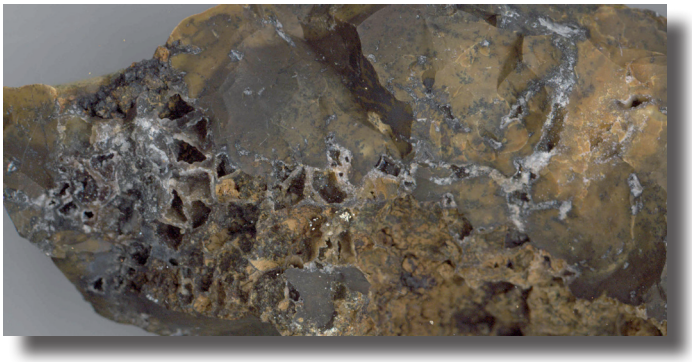
1.2. Données nouvelles sur le gisement

Au sud du Chatelet (18), ces matériaux offrent une «dalle» isolée de son encaissant, d'épaisseur métrique et à structure légèrement litée. A Saint-Jeanvrin (18), les jaspéroïdes

sont clairement interstratifiés en bancs décimétriques dans les dolomies hettangiennes. Ce gisement s'accorde avec les observations antérieures.

Dans les zones de labours les jaspéroïdes déchaussés de leurs matrices carbonatées sont fréquents sous la forme de rognons décimétriques, ellipsoïdaux et un peu «aplatis». Ces rognons sont fréquemment allongés et cylindriques. Notons ici que les termes nodulaires de taille infradécimétrique correspondent souvent à des jaspéroïdes de teintes claires (orange à jaune) ; les faciès sombres (marron à kaki) se présentant à l'affleurement sous la forme de blocs issus de la fragmentation de niveaux stratifiés siliceux d'épaisseur décimétriques.

A proximité du hameau des Archers (18) les jaspéroïdes noirs sont interstratifiés dans des dolomies hettangiennes. Ils offrent de nombreuses cavités et des filonnets quartzeux sécants. A Saint-Jeanvrin (18) les jaspéroïdes noirs, très localisés, offrent des faciès bréchiques, très caverneux et présentant des vides aux formes anguleuses. Ces cavités attestent de la dissolution totale d'éléments carbonatés (dolomie) *(*photo 1 & 2*)* préalablement broyés à la suite d'une cataclase. Le ciment de ces éléments disparus est constitué d'une silice cryptocristalline sombre traversée de fines veinules de quartz. Les parois des vides sont enduites d'un dépôt noir manganésifère et tapissées d'un macroquartz blanc largement cristallisé. Ce dépôt est connecté aux microveinules qui traversent le ciment. Certaines brèches noires associées offrent des surfaces à stries de glissement et des structures en marches d'escalier. Ces figures tectoniques sont consécutives d'un écrasement accompagné d'un glissement sur fracture.



Photos 1 et 2 - Cataclasite noire et bréche siliceuse (échelle : ½) (Saint-Jeanvrin).

Ces brèches siliceuses dérivent ainsi de roches carbonatées silicifiées et affectées par une cataclase de fracture après leur transformation. Ces roches siliceuses sombres ou noires peuvent être assimilés à des tectonites issues de la déformation cassante et de la friction du matériau siliceux (cataclasite). Elles sont liées au fonctionnement d'une faille dont l'activité est pénécontemporain de la silicification.

L'examen de détail des jaspéroïdes à proximité des brèches précédentes souligne l'existence de dépôts siliceux liés à une microfracturation tardive. Nous verrons que cette microfracturation enregistre les répliques des mouvements de la faille voisine (*cf. infra*).

Ces données permettent d'affirmer que les bréches associées aux jaspéroïdes correspondent à des cataclasites adossées à d'anciennes failles actives dont les fonctionnements ont été pénécontemporains de décharges siliceuses à fluides riches en manganèse.

1.3. Héritage du passé sédimentaire : données pétrographiques

Le fond matriciel des «jaspes du Chaumois» est cryptocristallin, totalement opaque et relativement homogène à l'exception des ponctuations noires présentes dans certains

faciès. L'examen à la loupe révèle plusieurs types de textures souvent riches en bioclastes (de type biomicrites), plus rarement oolithiques (oomicrite) ou mixtes (à oolites et bioclastes). Les textures microcristallines pouvant être rapportées à d'anciens sédiments initialement micritiques sont également fréquentes et parfois finement litées.

L'analyse micrographique révèle que les textures bioclastiques précédentes sont fortement oblitérées par le remplacement du quartz cryptocristallin. La matrice enveloppant les clastes est fortement pigmentée par une imprégnation ferrugineuse ocre sombre. Les bioclastes et les oolites (anciennement carbonatés) apparaissent plus clairs et échappent partiellement à cette pigmentation. Leur remplacement par la silice des fluides minéralisateurs parait faire l'objet d'un fractionnement des métaux (Fe, Mn,…). Ces éléments semblent enrichis dans la matrice où ils contribuent, au microscope, à la teinte ocre soutenue. La matrice offre localement aux bordures des clastes des liserés de cristaux de quartz incolore qui attestent l'existence d'un stade de remobilisation marqué par une dissolution du joint intergranulaire et par un colmatage des vides créés par un quartz tardif non pigmenté.

Ces jaspéroïdes héritent ainsi des textures des précurseurs carbonatés. Les solutions invasives vectrices de la silice n'ont pas totalement oblitéré les textures originelles de leurs protolites. Par l'absence de phase(s) carbonatée(s) cette épigénèse siliceuse est totalement accomplie.

L'analyse micrographique montre dans le détail qu'après le remplacement de la roche par le quartz le matériau silicifié a subi secondairement des transformations mineures guidées par les limites des clastes hérités. Ces anciens joints ont été le siège privilégié d'échanges avec l'eau entraînant une succession de mécanismes de dissolution et de cristallisation du quartz.

Dans les jaspéroïdes plusieurs types de quartz ont été observés. L'épigenèse principale est à l'origine du remplacement total du protolite carbonaté par ce minéral. Elle s'accomplit d'une façon inhomogène sans supprimer totalement les hétérogénéités des textures originelles. Lors de l'épigenèse siliceuse les métaux (Fe, Mn) en solution dans les fluides ont participé au remplacement des textures fines de la matrice. Ces métaux se localisent probablement dans des microphases aux limites des grains du quartz néoformé. Leur participation à la silicification des clastes paraît très limitée (absence d'une diffusion efficace spécifique dans le quartz, impossibilité d'une substitution dans son réseau cristallin,…). L'absence de particules pigmentées dans les clastes implique la coprécipitation précoce de ces métaux aux joints des grains de quartz de la matrice avant le remplacement final des clastes.

1.4. Couleurs variées des jaspéroïdes

Les «silex du Chaumois» présentent dans leur gîte primaire des couleurs variées. La palette des teintes s'échelonne du noir, au marron sombre à clair, au kaki foncé, à l'orangé et au jaune moutarde (photo 3). La teinte initiale des rognons est généralement homogène avec souvent un net assombrissement de la zone sous corticale. Sur le terrain les jaspéroïdes de teintes jaunes - correspondant à de petits rognons ou de fines plaquettes - paraissent dépendre de l'éloignement des termes bréchiques des zones de décharge à faciès noirs observés en place.

Photo 3 – Teintes primaires usuelles des jaspéroïdes de l'Hettangien du Berry. Les nucleii de gauche et du centre offre des veinules siliceuses. (Echelle : ~ 1) (Saint-Jeanvrin,18).

Les jaspéroïdes offrent sous leur forme primaire (non rubéfiée) de fréquentes inclusions et ponctuations noires. Ces ponctuations de la matrice sont soit dispersées en nuages, soit regroupées en grappes (dendrites)[1] ou même alignées selon des plans subparallèles. Ces alignements correspondent à des palimpsestes de diaclases plus ou moins totalement oblitérées et ayant facilité l'infiltration de solutions minéralisantes dans le matériau *(*Photo 4*)*. Les cortex anciens (1/2 cm) à la bordure des rognons offrent les mêmes ponctuations ainsi que les calcaires à plaquettes sus jacents. La présence d'un halo de diffusion discret brun sombre autour des ponctuations corticales implique leur nature manganésifère exempte de fer.

Ces inclusions sont inégalement réparties dans les différents faciès colorés. Elles sont absentes dans les termes noirs bréchiques et caverneux et dans les termes proximaux associés. Par contre elles deviennent fréquentes dans le faciès kaki. Elles sont plus rares dans les matrices jaune vif et sont généralement absentes dans les petits rognons de cette couleur. Ces variations de la fréquence des ponctuations manganésifères paraissent liées à celles de la couleur primaire. Une distribution spatiale de la couleur et de la charge en Mn des jaspéroïdes parait conditionnée par la proximité de la zone de décharge.

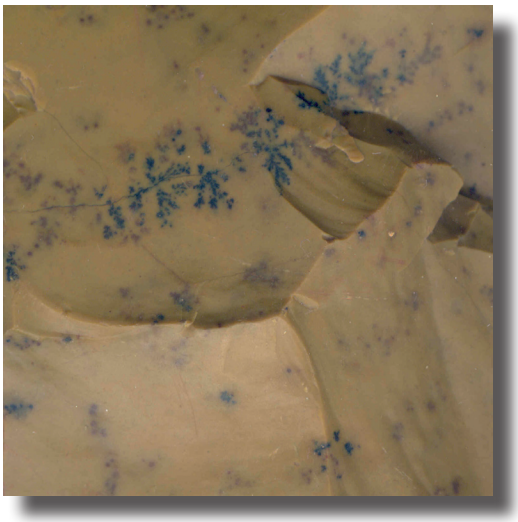


Photo 4 – Dendrites et ponctuations manganésifères (x2) : (Néret, 36).

Dans leur gîte secondaire ancien les teintes d'origine sont affectées par une puissante rubéfaction très pénétrative qui leur confère une couleur rouge plus ou moins carminée sombre, parfois presque noire. Cette rubéfaction peut être rapportée au crétacé inférieur et/ou à l'éocène (Sidérolithique s.l.). Elle est liée à leur insertion dans des altérites argileuses riches en Fe et Mn developpées aux dépens de la formation silicifiée hettangienne (Quesnel et al., 2009). Notons ici la présence, accessoire, de patines récentes sur certains artéfacts. Cette patine invasive de teinte rouge affecte très inégalement ces objets taillés particulièrement lorsqu'ils ont stagné dans des sols argileux et mal drainés (photo 5).

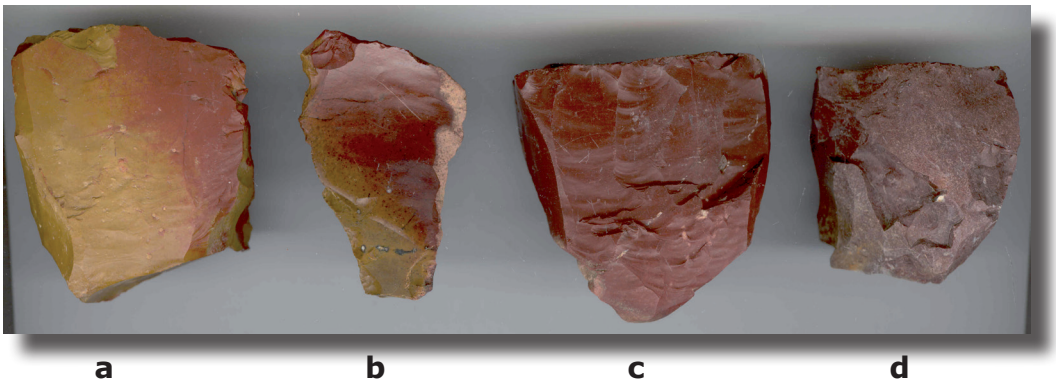


Photo 5 - Patine rouge invasive récente des jaspéroïdes (a à c). (a & c : nucleii ; b : éclat avec cortex ; d : silex chauffé et cupulé)(Echelle :~1). (Saint-Jeanvrin).

1.5. Microfracturation des jaspéroïdes

L'examen des fonds matriciels permet de relever la présence de nombreuses veinules souvent anastomosées. Elles recoupent les ponctuations noires et les dendrites de la matrice et paraissent de ce fait postérieures. Plusieurs générations de veinules peuvent être relevées sur les échantillons. Certaines sont liées à des mécanismes d'extension (fractures ouvertes) et/ou de cisaillements (microfractures en baïonnettes) (Photos 6 & 7)[2]. Ces réseaux de microfractures planaires sont organisés avec des fentes offrant de fréquents microdécrochements à angles constants, des relais et des échelons. Elles appartiennent probablement à des réseaux de fissuration anciens établis lors du fonctionnement des failles majeures qui ont affecté la couverture sédimentaire et le socle sous-jacent[2].

Les veinules qui colmatent les microfractures sont siliceuses. Cette silice est parfois fibreuse avec des cristaux allongés perpendiculaires aux lèvres de l'ancienne fracture. Pour une grande majorité d'entres elles, ces veinules n'offrent pas de figures nettes d'interaction avec la matrice bordière. Toutefois la présence très exceptionnelle aux épontes d'une veinule à silice noire, d'une imprégnation siliceuse de la même couleur localisée dans les joints des bioclastes voisins a été notée. Ce point plaide en faveur d'une mise en porosité localisée de la matrice bordière à la suite de sa fracturation et de la circulation de l'eau chaude. Cette porosité temporaire a ensuite été colmatée au même titre que la veinule associée.

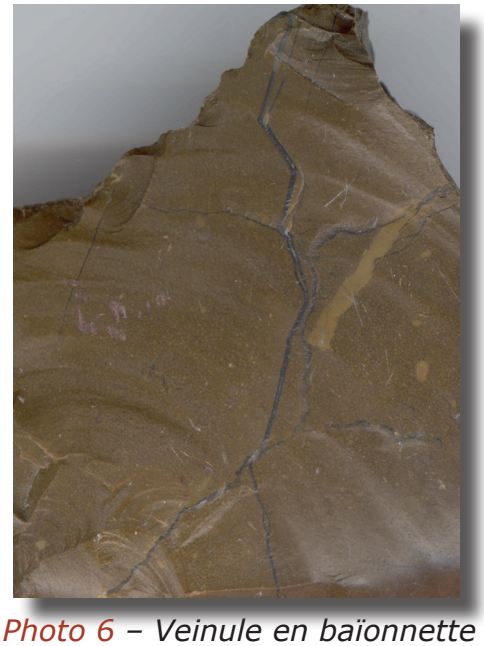


Photo 6 – Veinule en baïonnette dans un jaspéroïde à matrice à intraclastes (x1,5). (Néret, 36).

Photo 7 – Veinules organisés planaires, à relais, en baïonnettes et veinules sécants (x1,5). (Saint-Jeanvrin).

La présence des veinules siliceuses témoigne de processus tardifs de silicification. L'examen des textures des matrices au contact des veinules ainsi que la nature de la silice de précipitation devrait permettre de classer les fractures ouvertes en fonction de l'écart de température régnant entre la matrice silicifiée et celle des fluides tardifs percolant les microfractures. Ce point devrait permettre d'expliquer la grande fréquence des veinules totalement dépourvues à leur contact d'une modification texturale liée à une action dissolvante. Cette absence tient au fait que les fluides percolant les microfractures traversent un milieu froid, déjà refroidi et subissent une trempe ; leur très faible capacité calorique est insuffisante pour induire une mise en solution des parois siliceuses.

1.6. La barytine

La présence de barytine dans les jaspéroïdes du Berry n'est pas encore parfaitement assurée. Toutefois, au-delà de quelques jaspéroïdes à forte densité, ce minéral est suspecté à Saint-Jeanvrin par la présence de *boxworks* de cristaux formant un petit agrégat en châtaigne (1 cm) moulé par la silice mais centré sur une diaclase. Cet agrégat est localisé et inclus en bordure d'un petit rognon. La morphologie des contre-empreintes plaide en faveur d'une forme aciculaire orthorhombique offrant un très fort développement selon l'axe [001] selon une forme primitive à faces (210) et ($^{-}$210) *(*Photo 8).

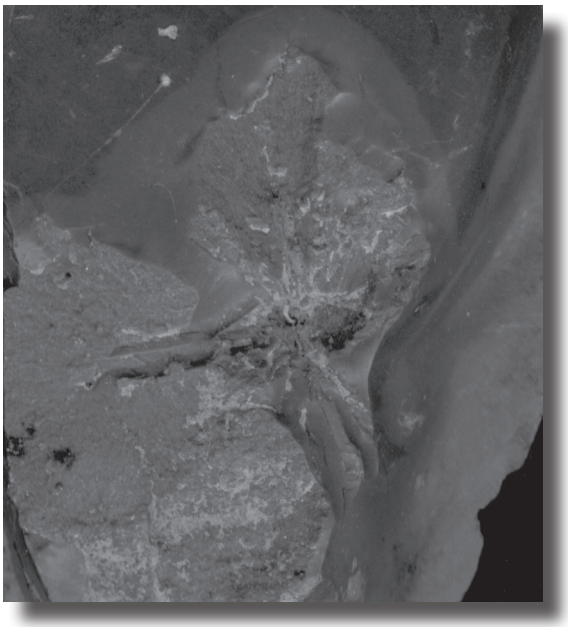


Photo 8 – Boxworks de cristaux aciculaires en châtaigne dans une diaclase corticale planaire d'un nodule de jaspéroïde (Saint-Jeanvrin).

Dans des jaspéroïdes équivalents de la marge aquitaine ce minéral a été retrouvé et identifié en particulier à Saint-Martin de Fressengeas (24). Il se présente en agrégats centimétriques de cristaux, en minces filets connectant de petits amas ou de façon dispersée en nuage de cristaux dans une matrice localement caverneuse *(*Photos 9 et 10*)*.

Cette relation entre les jaspéroïdes et les minéralisations hydrothermales a été notée plusieurs fois pour l'infralias et le lias cernant le Massif Central (Lougnon, Duthou & Lasserre, 1974; Séronie-Vivien, 1983; …). La présence de phases minérales d'origine hydrothermale autres que le quartz dans les jaspéroïdes conforte leur relation génétique avec des solutions minéralisatrices riches en silice, Mn, Fe, Ba, SO_4^{2-},… . La présence de la barytine en est ici un témoin discret mais significatif.

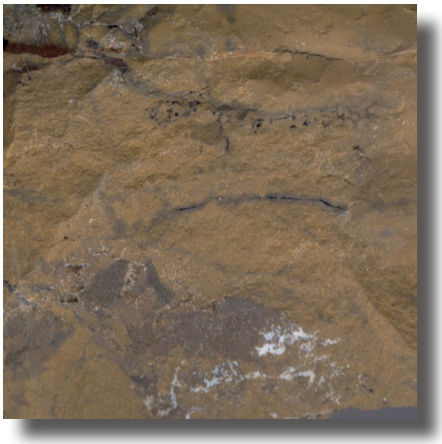


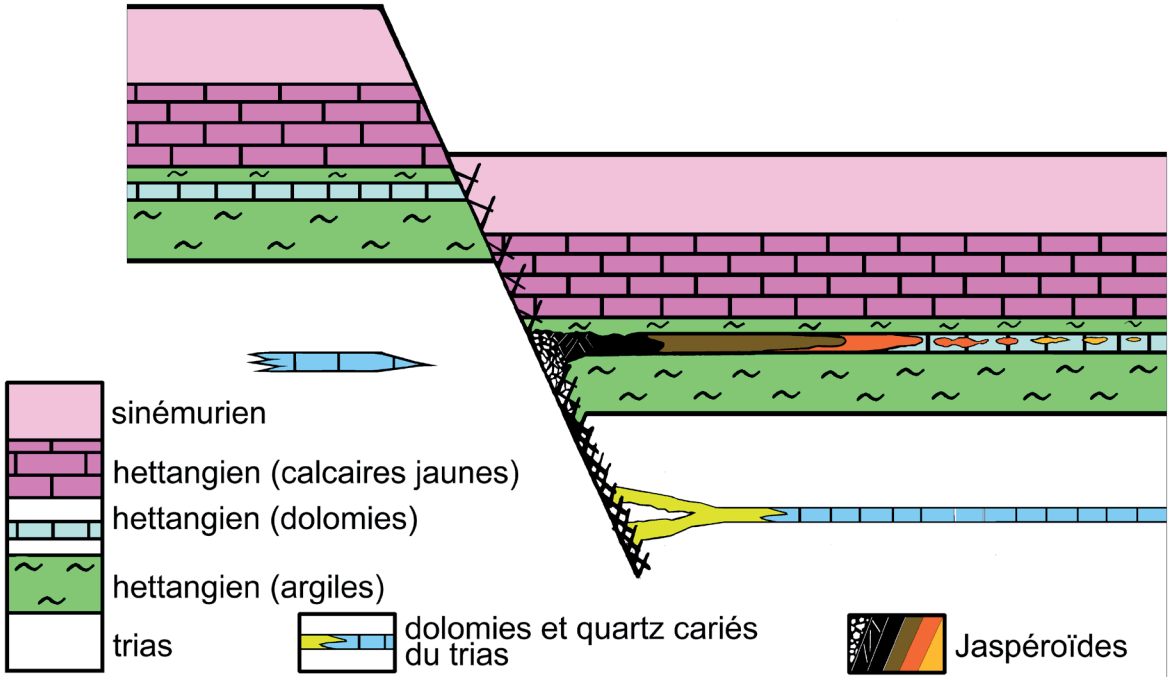
Photo 9 - Barytine dispersée dans un jaspéroïde riche en cavités (x2). (Saint-Martin de Fressengeas - 24).

Photo 10 – Barytine en amas dans un jaspéroïde (x2). (Saint-Martin de Fressengeas - 24).

2. Modèle génétique concernant les jaspéroïdes du Berry

Les données acquises à différentes échelles d'observations permettent de relier des faits relatifs au cadre structural de mise en place des silicifications (figure 2). Les matériaux à l'échelle microscopique accusent un remplacement d'anciens carbonates variés. L'épigénie totale par la silice s'accomplit sous des conditions physico-chimiques variables au front d'avancement de la dissolution hydrothermale et du remplacement du carbonate (dolomite) par le quartz. Les zones de décharges siliceuses noires - attestées par des brèches en plusieurs points focalisés, témoignent d'une fracturation intense. Les formes des jaspéroïdes (bancs stratifiés épais, rognons, petits nodules,…) et leurs couleurs offrent une distribution corrélée à la proximité plus ou moins grande des zones d'alimentation en fluides hydrothermaux. L'établissement d'une zonation chimique à l'origine de la pigmentation peut être suspectée et corrélée à une baisse importante de la température et à une évolution chimique de la composition des fluides au front de développement du dépôt siliceux. La précipitation du manganèse des fluides sous la forme d'enduits, de dendrites primaires et de ponctuations noires conduit à leur appauvrissement dans les produits de remplacement siliceux les plus froids et les plus éloignés des zones d'alimentation.

L'apport massif de silice par les fluides hydrothermaux pose le problème de la composition des fluides en silice et de son origine. Le quartz constitue la seule phase siliceuse primaire de la roche. De ce fait, selon les travaux de Rimstidt et Barnes (1980, 1994) les teneurs en silice dans les fluides devaient être relativement faibles (inférieures à une dizaine de grammes/tonne d'eau) pour conduire à la précipitation du quartz à des températures modérées, probablement inférieures à 100°c (annexe II). L'absence de formation détritique quartzeuse dans l'Hettangien local conduit à rechercher l'origine de la silice dans les formations du substratum du lias principalement dans le socle cristallin régional[3] et, peut être très accessoirement dans le trias local représenté par des formations à dominante gréseuse peu épaisses de sa couverture (~ 60mètres ; Courel, 1973, figure 18, p.68).



Les jaspéroïdes bréchiques noirs s'adossent à la faille et aux cataclasites associées (croisillons noirs). La faille est liée à la tectonique d'extension liasique qui réactive d'anciennes fractures du socle sous jacent (situé sous le tias à 60m). Le canevas des failles d'alimentation s'accorde avec les directions varisques locales (N50 & N160). La décharge des fluides s'accomplit au voisinage du fond marin principalement dans les dolomies. La zonation des teintes des jaspéroïdes s'étend latéralement sur plus de 200mètres. Cette zonation s'accompagne d'une diminution de l'importance de la silicification.

Un mécanisme comparable (diachrone ou non?) peut être envisagé pour la substitution siliceuse à l'origine des "quartz cariés" (*cf.* texte) et qui affecte les dolomies du trias.

Figure 2 – Modèle concernant le gisement des jaspéroïdes du Berry.

Ce modèle génétique implique un hydrothermalisme liasique postérieur à l'Hettangien. Il implique une réactivation tectonique des fractures régionales. Celles-ci sont héritées de l'histoire tectonique du bâti cristallin du nord du Massif Central. Son canevas de fractures faillées est principalement lié à l'épisode post-collisionnel d'effondrement qui affecte la croûte varisque de l'Europe moyenne et qui contribue à son amincissement au carbonifère supérieur et au permien. La réactivation au Lias de ce canevas de paléofailles est liée à l'initiation des ouvertures téthysienne et de l'Atlantique nord. La dislocation des zones bordières des deux futurs grands bassins (Bassin Parisien et Bassin d'Aquitaine) et cette nouvelle tectonique distensive président à l'installation d'un hydrothermalisme. Son fonctionnement est synchrone des étapes successives d'ouverture des deux océans. A l'échelle régionale cette phase hydrothermale majeure s'échelonne de 190 à 170 Ma d'après les datations K-Ar (Bonhomme et *al.*, 1983 ; 1987). Elle est dominée pendant 20 millions d'années par la mise en place de minéralisations variées de basses températures à U, Ba, F, et métaux de base. Ces dépôts métalliques sont pour la plupart étroitement associés à des filons de quartz. La formation à partir de tels fluides des jaspéroïdes du Berry - mis en place dans des domaines structuralement et lithologiquement privilégiés, s'intègre ainsi dans un cadre géodynamique beaucoup plus vaste. Ce modèle peut être étendu à toute la bordure limousine du Massif central.

(1) - Dans les jaspéroïdes plusieurs générations de dendrites peuvent être notées. Les plus anciennes, primaires, sont précoces et pénécontemporaines de la silicification *s.l.*. D'autres plus récentes sont liées à des mécanismes de désilicification dans les zones d'altération et de rubéfaction rapportées au sidérolithique (altérites à silex). La troisième génération – subactuelle - planaire occupe les fractures tardives périphériques des blocs et des rognons. Elles sont particulièrement fréquentes dans les silex des sols argileux mal drainés.

(2) - Des veinules siliceuses irrégulières en *reticulum* peuvent être également présentes dans certains échantillons ; elles paraissent indépendantes des tensions d'origine tectonique qui régulent les veines régulières.

(3) - Une analyse faite à l'IPG de Clermont-Ferrand d'un jaspéroide de l'Hettangien (Bois du Pérou) donne un rapport 87Sr/86Sr de 0,73306 (*Cf*. Surmely et *al.*, 2008). Ce rapport élevé ne s'accorde pas avec une origine marine du fluide hydrothermal (la composition isotopique de l'eau de mer liasique étant de l'ordre de 0,707). Ce rapport impliquerait plutôt un enrichissement en 87Sr radiogénique du fluide hydrothermal lors de son transit dans socle cristallin et dans la série infraliasique. Ce substratum constitue un «réservoir» riche en 87Sr tout à fait compatible avec le modèle proposé ici.

BIBLIOGRAPHIE

ALCAYDE G., GIGOUT M. 1976 – Val de Loire, Anjou, Touraine, Orléanais, Berry. Coll. Guides Géologiques Régionaux, 190 p., Ed. Masson.

APPLIN K. R. 1987 – The diffusion of dissolved silica in dilute aqueous solutions. Geochim. Cosmoch. Acta, vol. 51, p.2147 -2151.

AUBRY T. 1991 - L'exploitation des ressources en matières premières lithiques dans les gisements solutréens et badegouliens du versant de la Creuse (France). Thèse Univ. Bordeaux I, 326 p.

BATES R. L., JACKSON A. J. 1980 – Glossary of geology (Second edition). Amer. Geol. Inst., Falls Church, Virginia, 749 p.

BONHOMME M. G., BUHMANN D., BESNUS Y. 1983 - Reliatibility of K-Ar dating of clays and silicifications of western Europe. Gel. Rundschau, V. 72, n°1, p.105-117.

BONHOMME M. G., BEAUBRON J-C., JEBRAK M. 1987 – Minéralogie, géochimie des terres rares et âges K-Ar des argiles associées aux minéralisations filoniennes. Chem. Geol., v. 65, n°3-4, p. 321-339.

CHENEVOY M., PIBOULE M. 2007 – Hydrothermalisme : spéciation métallique hydrique et système hydrothermaux. Grenoble Sciences, EDP Sciences, 619 p.

COUREL L. 1970, 1973 - Modalités de la transgression mésozoïque : Trias et rhétien de la bordure nord et est du Massif Central Français. Thèse d'Etat Univ. Dijon, 1970 ; Mémoire Sété Géologique de France, n°118, 152 pages.

de LAUNAY L. 1939 – Notice de la carte géologique de la France 1/80000 éme, n°145 - Montluçon, 2éme édition.

DEMARS P. Y. 1982 – Les matières premières siliceuses utilisées au Paléolithique supérieur dans le Bassin de Brive. Thèse 3éme cycle, Bordeaux, 173 p.

DESCHAMP M. 1967 - Etude géologique du petit bassin de Domérat (Allier) et des calcaires de la rive gauche du Cher, coiffant le sidérolithique entre Montluçon et Saulzais le Potier, Revue Scient. Bourbonnais, p.54-83.

FRAISSE C., LORENZ C., LORENZ J., PROST A. 1987 - Notice explicative de la feuille La Châtre (n° 594) à 1/50000ème. Ed. BRGM. 56 p.

MEGNIEN C. (édit.) 1980 - Synthèse géologique du bassin de Paris. Mémoire BRGM, n° 103, 104, 105.

MOUTERDE R. 1952 - Etudes sur le lias et le bajocien des bordures nord et nord-est du Massif Central français, Bull. Serv. Carte géol. France, t. L, n° 236, p.63-521.

PIBOULE M. 2010 - Du quartz au silex, l'hydrothermalisme source de matériaux siliceux : exemple des jaspéroïdes de l'Hettangien du Berry. Communication à la table ronde : Les journées Silex de Lyon : vers une harmonisation méthodologique, 20 et 21 Octobre 2010.

PRIMAULT J. 2003 - Exploitation et diffusion des silex de la région du Grand-Pressigny au Paléolithique. Thèse Univ. Paris X, 358p.

QUESNEL F., PROST A.E., LABRANCHE G., THIRY M., SIMON-COINÇON R., THEVENIAUT H., MAGET P., BARBARAND J., CRIBELLIER C. 2009 - Notice explicative de la feuille Châteaumeillant (n°595) à 1/50000ème. Ed. BRGM., 139 p.

SERONIE-VIVIEN M., SERONIE-VIVIEN M. R. 1987 - Les silex du Mésozoïque nord-aquitain. Approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique, Bull. Soc. Linnéenne de Bordeaux, Suppl. t XV, 132p.

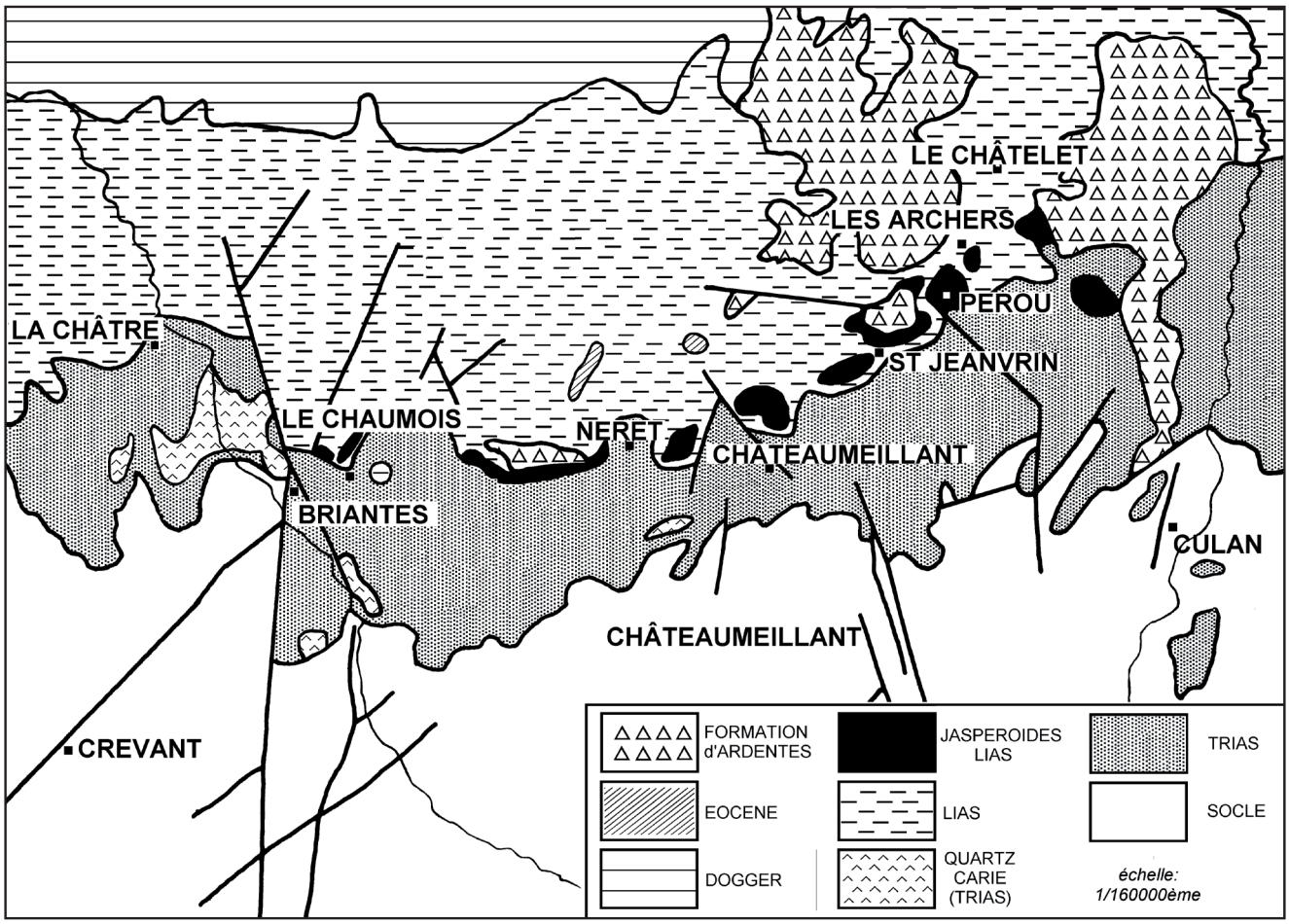
SURMELY F., BOUDON P., BRIOT D., PIN C. 2008 – La diffusion des silex crétacés dans le centre du Massif Central durant la préhistoire (Paléolithique, Mésolithique, Néolithique). Contribution à l'étude de la circulation des matières premières lithiques sur de longues distances. PALEO, n° 20, p. 115-144.

RIMSTIDT P.M., BARNES J.D. 1980 – The kinetics of silica-water interactions. Geochim. Cosmoch. Acta, vol. 44, p.1683 -1699.

RIMSTIDT P.M., BARNES J.D. 1994 – Silica-water interactions, p. 259-309 *in* Silica : Physical behavior, Geochemistry and Materials Applications, Heaneys P. J., Prewitt C. T., Gibbs G. V. Editors, Rewiews in Mineralogy, vol. 29, Miner. Soc. America, 606p.

TURLAND M., HOTTIN A.-M., FEYS R. 1989 - Carte géologique de la France 1/50000éme, n°619-Montluçon.

ZISERMAN A. 1980 - Le gisement de Chaillac (Indre) : la barytine des Redoutières, la fluorine du Rossignol. Association d'un gîte stratiforme de couverture et d'un gîte filonien de socle. Mém. BRGM, n° MD0903, 36 p.



Carte 1 - carte simplifiée des silicifications et des formations à silex du sud du Berry. Les jaspéroïdes hettangiens.

Annexe I : L'hydrothermalisme : définition.

L'hydrothermalisme est l'un des grands mécanismes de transferts géochimiques des éléments chimiques dans la croûte terrestre. L'eau constitue son principal vecteur (Chenevoy et Piboule, 2007). En milieu continental ou océanique, l'eau s'infiltre de façon gravitaire par les fractures de la croûte. Cette incursion s'accompagne d'une évolution de ses propriétés physiques avec, en particulier, une augmentation de sa température, une diminution de sa densité, des changements d'état liés à la profondeur et à la pression.

Son pouvoir solvant et ses interactions chimiques avec les roches percolées aux interfaces minéraux-solutions contribuent à des modifications importantes de ses compositions. Lors de cette incursion profonde la présence initiale ou l'acquisition de certains anions complexes conforte le pouvoir complexant de l'eau et contribuent à la mise en solution de nombreux métaux extraits des matériaux percolés. Cette extraction s'accompagne d'une altération des roches traversées. La remontée vers la surface est facilitée par la faible densité à haute température des fluides hydrothermaux. Leur ascension s'effectue rapidement et de façon adiabatique par les fractures de la croûte. L'arrivée des fluides chauds dans des domaines crustaux superficiels froids conduit à leurs trempes et à la précipitation de nombreux minéraux (zone de décharge). La composition des fluides hydrothermaux est très variable : elle dépend à la fois de la qualité des eaux d'origines, des compositions des matériaux percolés, des conditions physicochimiques dans la zone de réaction, de la durée du processus et du rapport des volumes eau/roche percolée.

Parmi les minéraux de la silice, le quartz sous ses habitus et ses variétés les plus fréquentes (calcédone, quartzine, …) est le plus fréquent. Ses autres polymorphes sont parfois présents ainsi que des formes siliceuses amorphes (opales).

Annexe II : Dissolution de la silice dans l'eau. Equilibre avec le quartz.

La dissolution de la silice dans l'eau pure est résumée par les deux réactions d'hydrolyse :

$$SiO_2 + 2\ H_2O \rightarrow Si(OH)_4{}^{\circ}$$

ou

$$\underset{\text{solide}}{SiO_2} + 4\ H_2O \rightarrow \underset{\text{en solution}}{Si(OH)_4.(H_2O)_2{}^{\circ}}$$

La molécule $Si(OH)_4$ correspond à une silice hydratée <u>monomère</u>. Cette silice est peu soluble.

Une seconde molécule peut être également présente dans l'eau : $H_6Si_2O_7$ qui est issue de la réaction de polymérisation suivante :

$$\underset{\text{en solution}}{2\ Si(OH)_4{}^{\circ}} \rightarrow \underset{\text{en solution}}{H_6Si_2O_7 + H_2O}$$

Cette molécule polynucléaire est une silice hydratée dimère (ici à 2 atomes de silicium). Sa formation conduit à libérer une molécule d'eau. Cette molécule se forme dans l'eau au dessus de 140 ppm à 25°c et au dessus de pH 9. Elle précipite sous la forme d'un gel (opale).

La fréquence des deux variétés de silice monomère et dimère dans l'eau gère sa concentration (Applin, 1987). A basse température pour une concentration faible (ex. 10 ppm) la solution hydrique présente plus de 90% de molécules monomères. Cette concentration est à l'équilibre avec le quartz. Pour une concentration de 115 ppm, à l'équilibre avec une silice amorphe (opale) une solution hydrique comporte 58% de molécules monomères et 42% de molécules polymérisées dimères. A 150-160 ppm cette molécule $H_6Si_2O_7$ devient prépondérante dans les eaux très siliceuses.

La solubilité de la silice varie selon la nature de ses polymorphes et augmente avec la température (Rimstidt et Barnes, 1980,1994). Ainsi à toutes températures entre 0 et 350° le quartz présente une plus mauvaise solubilité que la cristoballite ou que l'opale. A 100° la cristobalite sous sa forme β offre une solubilité 4 fois plus forte que le quartz et l'opale 7 fois plus.

L'élévation de pression augmente également la solubilité du quartz. Cette augmentation de la solubilité est favorisée au niveau moléculaire par la plus grande fréquence des molécules d'eau autour des molécules de $Si(OH)_4$ et par leur arrangement vis-à-vis des radicaux OH de $Si(OH)_4$.

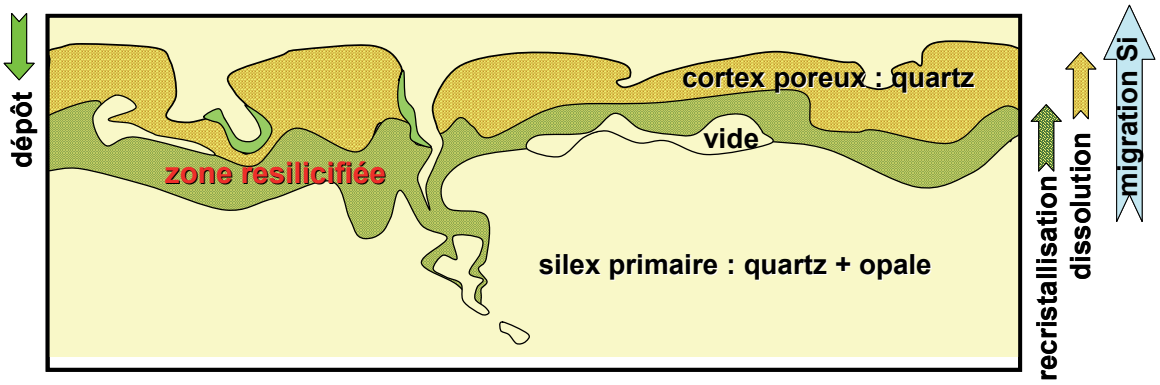
Opale ou opale et quartz ou quartz : là sont toutes les différences et les moteurs des évolutions pétrographiques

Médard Thiry
Mines ParisTech, Centre des Géosciences, 35 rue St Honoré, 77305 Fontainebleau
medard.thiry@mines-paristech.fr

La filiation entre les outils préhistoriques et les gisements de matière première est un problème récurent en préhistoire. C'est un problème difficile car : (1) la matière première est très monotone, presque exclusivement formée de silice, finement cristallisée, avec très peu de variabilités, etc. : (2) peu d'outils existent pour étudier ces questions.

Par ailleurs, relativement peu de choses sont connues sur la géochimie et la cristallogenèse des variétés de silice, comparativement à d'autres minéraux communs comme la calcite, le gypse, les oxydes de fer, … De plus, les vitesses de dissolution et de précipitation des différentes variétés de silice sont très lentes, ce qui complique l'expérimentation.

L'étude de la formation, l'altération et/ou l'évolution de formations géologiques diverses permet de comprendre les évolutions que sont susceptibles de subir les matériaux préhistoriques siliceux avant, pendant et après leur mise en œuvre. Ainsi, l'étude de formations aussi diverses que les argiles à silex, les Grès de Fontainebleau et les cuirasses siliceuses pédologiques permet de mettre en exergue les mécanismes d'évolution de la silice en milieu superficiel à des échelles spatiales, allant du profil métrique à la pellicule millimétrique, et des échelles de temps d'évolution s'étalant de l'échelle géologique de quelques millions d'années à l'échelle humaine en prenant en considération les matériaux de construction.



Il ressort de ces études que les évolutions pétrographiques sont d'abord commandées par la solubilité des différentes variétés de silice, mais que celle-ci est aussi éminemment variable au sein d'une variété minéralogique en fonction de sa cristallinité. Toutes les évolutions observées allant toujours vers un état thermodynamique plus stable. Elles se font toujours au profit d'une variété mieux cristallisée et de ce fait moins soluble. C'est à l'interface entre le matériau siliceux et son encaissant (environnement) que les évolutions/rééquilibrages se font. L'importance de ces évolutions dépend de l'agressivité du milieu, mais aussi et surtout de la porosité du matériau. Des dissolutions vraies, avec perte de silice, se font en surface, mais, des dissolutions/recristallisations avec fixation d'une partie de la silice libérée se font plus en profondeur.

C'est dans le décryptage de ces évolutions que l'on peut espérer retrouver l'histoire d'un matériau, depuis son milieu de prélèvement, sa mise en œuvre… et son ultime évolution lors de sa «fossilisation».

Méthodologie de la Pétroarchéologie 1

Une approche vers la détermination des silex : la Pétrographie sédimentaire

Marie-Roger Séronie-Vivien
Ingénieur-Géologue ENSPM, retraité,
ancien Directeur de l'Exploration de la Société ESSO-REP France.

Introduction

En 1986 nous avons publié «Les silex du Mésozoïque nord-aquitain» avec comme sous-titre : *Approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique.* Ce travail était le résumé d'un peu plus de 20 années d'étude sur le terrain et en laboratoire. Aujourd'hui lorsque je me retourne vers mon passé je réalise qu'il y a plus de 50 ans que ce sujet nous passionne.

A ce jour de nombreuses questions demeurent sans réponse et les problèmes deviennent plus ardus à résoudre compte tenu de l'accumulation des résultats, souvent de qualité inégale. Cette extension des recherches entraîne une dispersion des données et rend évident le besoin d'une homogénéisation dans la méthodologie afin d'éviter la multiplication des dérives pouvant conduire à des interprétations globales peu fondées.

Le propos de ma présentation se limitera à un rappel de la méthode que nous avons toujours adoptée et la présentation de deux exemples destinés à faire ressortir la contribution que chaque discipline peut apporter à la résolution du problème de l'origine des matières première lithiques.

Le principe essentiel sur lequel repose toute notre méthodologie est celui, bien connu, qui est appliqué dans toutes les branches des Sciences Naturelles. Il est exprimé dans la règle : «décrire et comparer».

1. Première étape : Décrire

La première étape est celle qui consiste à réaliser une collection de référence des échantillons judicieusement choisis dans une vaste zone autour du gisement préhistorique à étudier.

1.1. Les gisements géologiques

En général on retiendra l'échelle du bassin sédimentaire qui correspond à une unité géologique. A l'intérieur de ce bassin sédimentaire (Bassins de Paris, d'Aquitaine, Vallées du Rhône, du Rhin) il sera judicieux de collecter les échantillons de référence provenant de trois sources différentes :

- Les affleurements, naturels (falaises, surplombs,etc.) ou artificiels (tranchées de route ou de voie ferrée, carrières, etc.),
- Les éboulements et glissements de terrain proches d'un affleurement dans lesquels les silex ont déjà subi une altération,
- Les cours d'eau et terrasses fluviales,anciennes ou récentes, qui ont collectés des silex pouvant provenir de plusieurs endroits.

1.2. Première démarche : réaliser l'inventaire géologique

Lorsque l'on entreprend le travail de prélèvement d'échantillons de silex il est nécessaire de

se livrer à une recherche sur place des conditions de gisement et, en particulier, de noter les relations qui existent entre le silex et l'encaissant, généralement un calcaire. C'est en réalisant ces observations que l'on mettra en évidence des indices sur les conditions de sédimentation qui régnaient au moment de la formation du silex.

Un autre paramètre que l'on aura immédiatement à considérer est celui de l'espacement des prélèvements. Si verticalement il est en général très utile d'échantillonner banc par banc, sur le plan horizontal il n'est pas nécessaire de collecter des silex de façon trop rapprochée ; il suffit de recueillir le maximum d'observations sur le mode de sédimentation et sur la présence, ou l'absence, de fossiles visibles dans l'environnement de la roche que l'on prélève. De la qualité des commentaires que l'on aura pu faire sur le terrain dépendra une grande partie de la validité des interprétations proposées sur les artefacts.

1.3. L'étude lithologique du silex (pétrographique et sédimentologique)

Avant de commencer ce travail, il faut d'abord choisir, ou élaborer, une «grille d'analyse» pour laquelle il est important de mettre en relief les «critères déterminants». Deux sortes de critères sont à décrire : ceux dépendant de l'aspect extérieur de la roche, et ceux qui dépendent de son organisation interne.

1.3.1. L'aspect extérieur

• Forme : rognons, dalles, lentilles, filons, etc. Ce qui importe le plus ce sont d'abord les dimensions et ensuite la disposition des silex (continuité d'un banc ou présence isolée par exemple). Le contact silex/encaissant est aussi à décrire il est bon à connaître dans le cas d'une étude des cortex.
• Couleur : il est utile de décrire la couleur initiale de la roche et sa variabilité pour pouvoir ensuite distinguer les couleurs acquises (patines). Il est bon de noter si, dans un banc de nodules siliceux, tous les rognons ont la même coloration ou si ils présentent des changements notables de teintes .
• Apparence : il ne faut pas négliger l'aspect extérieur de la roche : est-elle mate ou brillante ? L'aspect est-il brillant, mat ou translucide ? Ce sont des éléments qui donnent des indications sur la composition minéralogique de la roche et sur sa structure cristalline

Toutes ces données ne sont pas déterminantes dans la caractérisation d'un silex mais elles peuvent devenir précieuses lorsqu'il s'agira de retrouver les conditions initiales de formation et les transformations post-génétiques que la roche a pu subir.

1.3.2. L'organisation interne

• Structure : l'observation sur le terrain des structures sédimentaires associées à la stratigraphie est très intéressante pour définir ensuite le milieu de dépôt dans le quel la roche s'est formée ; par la suite sur le seul échantillon prélevé il serait beaucoup plus difficile d'arriver à autant de précision.
• Texture : avant de commencer l'étude il est nécessaire de choisir une méthode d'analyse. Elle sera l'une de celles employées pour l'analyse des calcaires car il ne faut pas oublier que, sauf des cas particuliers, le silex n'est que le produit d'une transformation de roches carbonatées, calcaires ou dolomies essentiellement.

La méthode la plus généralement usitée est celle dite de Dunham qui a l'avantage, outre sa simplicité d'emploi, de conduire directement à une interprétation sédimentologique (mode de dépôt et niveau d'énergie de la mer).

• Organismes fossiles : en général on se limitera aux organismes observables au moyen d'une loupe binoculaire. Toutefois il ne faut point négliger le potentiel que représentent les dinoflagellés et les autres micro-organismes planctoniques. *(*Planche 1 et 2*)*

Débris organiques (animaux)

Classification

Embranchements :

1. Protozoaires
Foraminifères
Radiolaires

2. Spongiaires

3. Coelentérés
Coralliaires

4. Echinodermes
Crinoïdes
Echinides

5. Arthropodes
Crustacés (Ostracodes)

6. Némathelminthes

7. Vers ciliés
Bryozoaires
Brachiopodes
Annélides

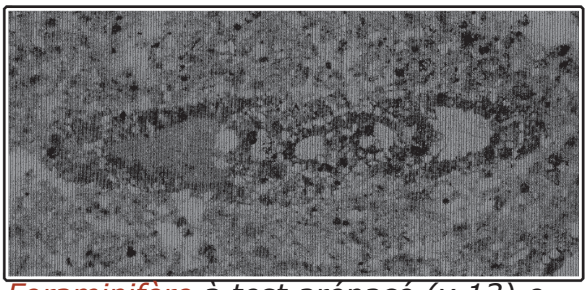
8. Mollusques
Gastéropodes
Lamellibranches (Pélécypodes)
--> Chamacées (Rudistes)
Céphalopodes

9. Vers ciliés

Incertae sedis
Microfilaments
Favreina (coprolites de crustacés)
Organismes tubulaires

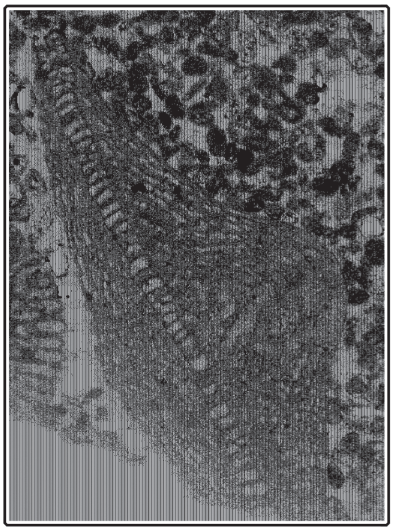
Planche 1 - Exemple de classification des organismes et leurs débrits observables dans les silex

Débris organiques (animaux)
Exemples



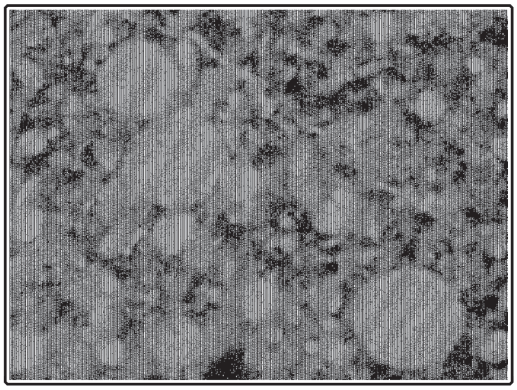
Foraminifère à test arénacé (x 13) p

Nummofallotia cretacea (x 10) p



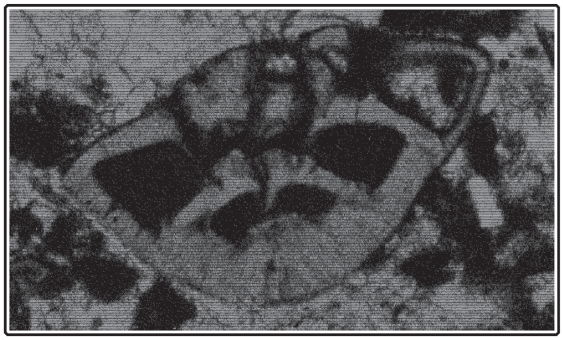
Orbitoïdidé (x 15) p

Miliole (x 22) p



Radiolaires (x 40) o

Alveolina sp. (x 14) o



Rotalia Trochidiformis (x 40) o

Planche 2 - Exemples d'organismes observables dans les silex

- Minéralogie : il est indispensable de discerner les différents types de minéraux siliceux constituant la roche , et de suivre leur évolution. Ces données conduisent à l'obtention d'une appréciation des transformations internes de la roche.

Finalement on sera en mesure d'établir, à partir de toutes les données recueillies, une «diagnose» qui, d'abord, reprendra de façon synthétique les critères les plus déterminants, et qui, ensuite, proposera une interprétation générale de la position stratigraphique du silex étudié, et de l'évolution paléogéographique de l'environnement dans lequel cette roche s'était formée.

1.4. Les gisements secondaires

Une procédure analogue sera suivie pour les silex trouvés dans des gisements secondaires. Ces lieux de collecte peuvent être situés à proximité des affleurements (talus de pente, éboulis, glissements de terrain, etc.), ou bien avoir subi un transport beaucoup plus important (galets marins ou de rivière).

Si l'analyse de l'organisation interne de la roche suivra le même protocole, en ce qui concerne l'aspect extérieur et celui proche de la surface du silex, une description particulière sera adoptée. Elle prendra en compte les aléas que ces cailloux ont subis :
- Altérations physiques (percussions, etc.)
- Altérations ou modifications chimiques (modification du cortex et du néocortex par exemple).

Toutes les données ainsi recueillies seront annexées à la diagnose générale et pourront conduire à une estimation des transformations que l'objet étudié a subi.

1.5. Les silex préhistoriques

Après avoir étudié, analysé et décrit les silex des affleurements naturels et ceux contenus dans des gisements secondaires, il conviendra de se livrer au même type d'examen sur les artefacts préhistoriques.

Une règle absolue sera celle de suivre dans ce travail les mêmes règles que celles suivies dans les études précédentes. En effet il ne faut pas perdre de vue que le but final n 'est pas celui de donner uniquement une description mais de comparer deux séries de données descriptives et de parvenir à l'estimation d'une similitude, ou du moins d'une forte ressemblance, entre l'artefact et un type de silex géologique dont on aura établi la diagnose.

Lorsque l'on aura étudié tous les silex d'un gisement préhistorique, il sera nécessaire de regrouper tous les silex ayant les mêmes caractères. Ces groupements lithologiques seront dénommés «types». Chacun de ces types fournira une diagnose globale qui servira à la comparaison avec un «type» géologique dont on connaît la position stratigraphique et la définition du milieu de dépôt.

2. Deuxième étape : comparer

Lorsque l'on sera arrivé au dernier stade de l'analyse pétrographique de l'ensemble des échantillons, il sera nécessaire d'aborder la phase interprétative.

2.1. Relation échantillons géologiques/artefacts

Pour que l'on puisse assimiler un «type» d'artefact à un type géologique on comparera les deux diagnoses en prenant en compte d'abord les critères les plus déterminants.

Parmi les critères descriptifs retenus dans l'aspect extérieur de la roche, on apportera un intérêt particulier sur l'apparence proprement dite (brillance, matité) qui peut être intéressante à comparer.

En ce qui concerne l'organisation interne l'attention se portera d'abord sur la pétrographie. La texture est certainement un des critères les plus importants ; éventuellement des aspects de certaines micro-structures seront à retenir. Des éléments texturaux particuliers peuvent être discriminants, tel la taille et la forme des intraclastes, la présence ou l'absence d'éléments secondaires (quartz, débris ligneux, éléments ferrugineux si ils ne sont pas d'origine secondaire, etc.). Enfin une attention particulière sera portée sur la comparaison des faunes observées.

Dès l'abord on distinguera les fragments de fossiles d'assez grande taille (lamellibranches, gastropodes, brachiopodes, échinodermes, madréporaires, etc.) des microfossiles proprement dits généralement conservés entiers et, lorsqu'il y en a les algues. Une attention particulière sera portée sur les espèces qui caractérisent un étage géologique et la détermination paléontologique précise est capitale (microfilaments du Dogger, trocholines du Bajocien à l'Oxfordien, alvéolines et orbitoïdés du Crétacé supérieur, etc.)

Ce n'est qu'après avoir confronté toutes ces données que l'on arrivera à une conclusion : ou bien il y a une grande analogie entre les deux diagnoses et on peut assimiler à un type géologique une diagnose préhistorique, ou bien le «type» préhistorique n'est pas assez ressemblant pour être assimilé à un type géologique et il faudra alors conduire de nouvelles recherches au-delà des échantillons de terrain dont on a disposé.

La qualité du travail entrepris dépendra de la rigueur de cette comparaison dont les résultats peuvent être modulés par une appréciation qualitative (sûre, probable, possible, incertaine, etc.)

Lorsque l'on sera arrivé à ce terme, il sera possible d'affirmer qu'un échantillon préhistorique a un certain âge géologique. C'est déjà un résultat, mais malheureusement certains niveaux géologiques affleurent sur des centaines de kilomètres et ont alimenté des dizaines de cours d'eau. Il faudra rechercher si on ne peut pas restreindre l'aire potentielle de provenance.

L'examen des données pétrographiques va permettre de classer les échantillons étudiés selon une hiérarchie du dynamisme des eaux océaniques. C'est tout l'intérêt de la méthode Dunham, la détermination de la texture donnera une appréciation du niveau d'énergie du milieu marin :

- ***Mudstone :*** Milieu calme, surtout s' il y a des indices de microlitage.
- ***Wackestone :*** Mouvement notable des eaux (vagues ?), mais sans indice de transport.
- ***Packstone :*** Agitation des eaux suffisante pour entraîner un tri des particules constituantes.
- ***Grainstone :*** Courant marin suffisant pour provoquer le vannage de l'ensemble du sédiment.

Si cette classification n'est qu'un schéma général, l'étude détaillée de la texture (granulométrie, orientation des clastes, nature des intraclastes, etc.) peut apporter des compléments d'information sur la dynamique des sédiments. Il en est de même de l'examen des éléments constitutifs de la roche :

- **Intraclastes :** Selon leurs dimensions (granoclassement), leurs formes (arrondies, anguleuses), leur nature (reprise d'éléments allochtones, etc.).
- **Bioclastes :** Entiers ou fragmentés, fragments érodés et transportés et tout autre critère pouvant aider la la compréhension de la thanatocenose.
- **Pellets :** Taille et homogénéité, etc.

Enfin l'inventaire de la faune et de la flore apportera davantage que la seule détermination chronologique. Les biofaciès établis à partir des milieux marins actuels se retrouvent, avec plus ou moins de précision, dans les milieux géologiques, du Mésozoïque en particulier.

Dans les zones proches du littoral où s'est formé l'essentiel des silex que nous avons à étudier, on reconnaît :

• **La zone supralittorale :** peu profonde à partiellement exondée dans laquelle on trouvera des charophytes, éventuellement d'autres plantes, et des ostracodes. La texture sera généralement mudstone, rarement *wackestone*, avec parfois des pseudomorphoses de minéraux évaporitiques.

• **La zone infralittorale interne :** correspond au lagon ou à des baies protégées. Elle se reconnaît à la présence de sédiments *wackestone*, parfois mudstone, avec une macrofaune et une microflore abondantes parmi lesquelles on notera des algues (Cayeuxia, Thaumatoporella (planche 2)), quelques foraminifères commensaux de ces algues (Arénacés) et quelques grands foraminifères (Cunéolines, Alvéolines). Dans cette zone il est possible de trouver occasionnellement des éléments plus grossiers provenant de la barrière et transportés par les tempêtes ; c'est un facteur à ne pas oublier.

• **La zone infralittorale médiane, ou barrière :** elle est plus ou moins marquée mais cette zone se traduit toujours par un niveau de haute énergie ayant entrainé la formation de sédiments clastiques (barrière récifale, dunes oolithiques). Ce milieu de dépôt se reconnait facilement par sa texture *packstone*, ou même *grainstone* et *oostone*. La microfaune se caractérise par des débris coralliens, des algues, des grands foraminifères (alvéolines, cunéolines, orbitoïdés, trocholines, sidérolites, etc.) Ces types de cortèges ne sont pas exclusifs de la zone barrière, mais se retrouve aussi dans la zone littorale interne et, plus rarement, dans la zone externe.

• **La zone infralittorale externe, ou talus :** où l'on trouve des roches (calcaires et silex) à textures *wackestone/packstone* modelées par la force des courants marins et la houle. Outre les éléments fauniques propres à cet environnement (bryozoaires, oursins, spongiaires, miliolidés, etc.) on y reconnaitra des indices du démantèlement de la barrière sous forme d'intraclastes à éléments allogènes, par exemple débris oolithiques ou fragments bioconstruits. Il est à rappeler que c'est dans cette zone que nombre de silex se sont formés et que, par ailleurs, on s'approche de la limite de la zone photique au delà de laquelle il n'y a plus de développement de végétaux (algues).

• **La zone circalittorale :** se situe à la base du talus continental. Le niveau d'énergie de l'eau diminue et n'est plus tellement efficient; c'est pourquoi on retrouvera une dominante de texture *mudstone* avec comme traces organiques surtout des restes d'organismes pélagiques (microfilaments, radiolaires, calpionelles, pithonelles, foraminifères pélagiques, etc.).

Lorsque l'on sera arrivé ainsi à rattacher un artefact, ou une série de pièces, à un âge géologique et à un milieu de dépôt bien défini, il sera possible de comparer ces résultats avec des cartes paléogéographiques. A partir de ces dernières données il sera possible de positionner sur carte l'aire d'origine potentielle de la roche. On définira d'abord l'origine primaire de la matière première lithique, puis on jalonnera le tracé possible des gisements secondaires (épandages clastiques, alluvions des cours d'eau) qu'il faudra prendre en considération, ce qui conduira à soumettre les échantillons à des études spécifiques portant sur le cortex des silex et sur l'évolution minéralogique de la roche.

Ce n'est, nous semble-t-il, qu'après avoir parcouru ce long cheminement qui fait appel à plusieurs disciplines des Sciences de la Terre, que l'on pourra proposer, avec une certaine probabilité de succès, l'origine géographique d'un type de silex.

3. Exemples

Pour illustrer cette méthode et le processus intellectuel que nous avons suivi nous proposons deux exemples d'attribution géographique de matières premières ayant été exploitées en Aquitaine.

3.1. Le Dogger aquitain

Le Dogger affleure en Aquitaine selon une auréole qui s'étend des Sables d'Olonne (Vendée) au nord, à la vallée de l'Aveyron au sud, ainsi que, de façon discontinue, le long du front nord pyrénéen. (cf. carte 1) Une formation particulière, les «calcaires à filaments», contient de nombreux silex. Dans le nord de l'Aquitaine elle se développe des Sables d'Olonne à la région de La Rochefoucault (Charente) et au sud, à l'extrémité occidentale de la Chaine pyrénéenne, dans la région de Saint-Jean-Pied-de-Port. Ces niveaux passent latéralement, vers l'Est, à des dépôts de type barrière (récifale ou barres oolithiques). Ils sont relayés par des calcaires témoignant d'un milieu protégé avec des tendances à l'émersion et ne contiennent que de rares silex très différents des «silex à filaments».

En fonction de ces données, les cartes paléogéographiques établies montraient une zone occidentale océanique limitée vers l'Est par la barrière récifale orientée NNE-SSW et une zone orientale confinée.

La découverte de silex ayant le faciès des «calcaires à filaments» dans une partie du Quercy (vallée de la Dordogne) a conduit à une nouvelle interprétation paléogéographique (Séronie-Vivien 2003) qui met en évidence un couloir océanique à ce niveau, cette interprétation étant validée par son prolongement possible dans les niveaux jurassiques du Causse de Rodez.
Les silex à filaments de cette région caussenarde ont un contenu faunistique légèrement différent de ceux de Vendée et de Charente. Il a été ainsi possible de déterminer qu'un artefact découvert dans la région de Bergerac avait des affinités avec cette région ce qui suppose un déplacement réduit à 80 km dans le cas d'une provenance d'un affleurement, de beaucoup moins loin si l'artefact a été réalisé à partir d'un galet des alluvions de la Dordogne qui traverse cette région.

Cet exemple montre comment l'étude des silex conduit, d'une part, à une meilleure interprétation paléogéographique d'un bassin sédimentaire et, d'autre part, comment la diagnose d'un artefact réduit considérablement l'aire potentielle de provenance de matières premières exploitées par l'homme préhistorique et démontre comment ce genre de recherche est dépendant d'une approche géologique.

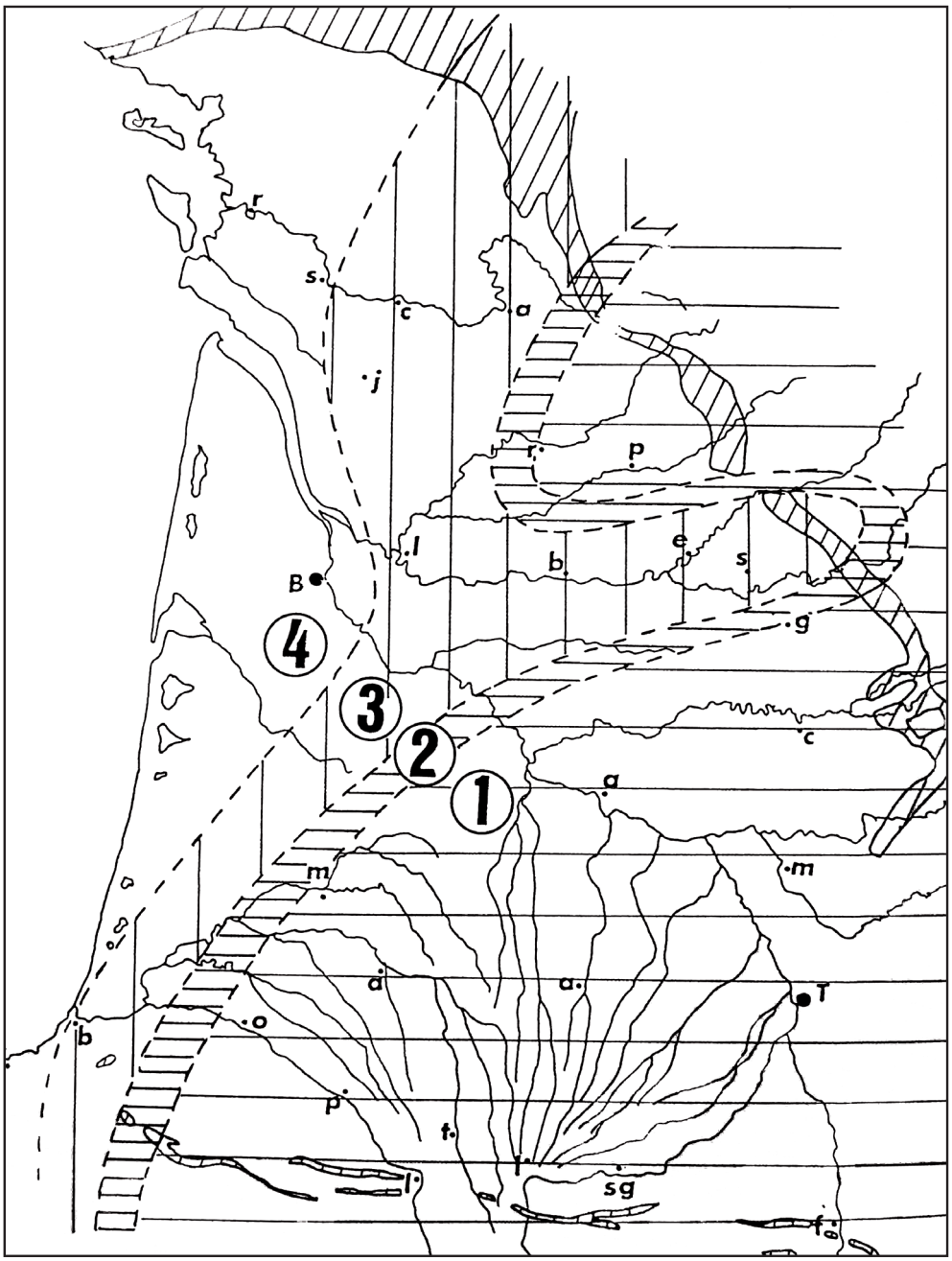
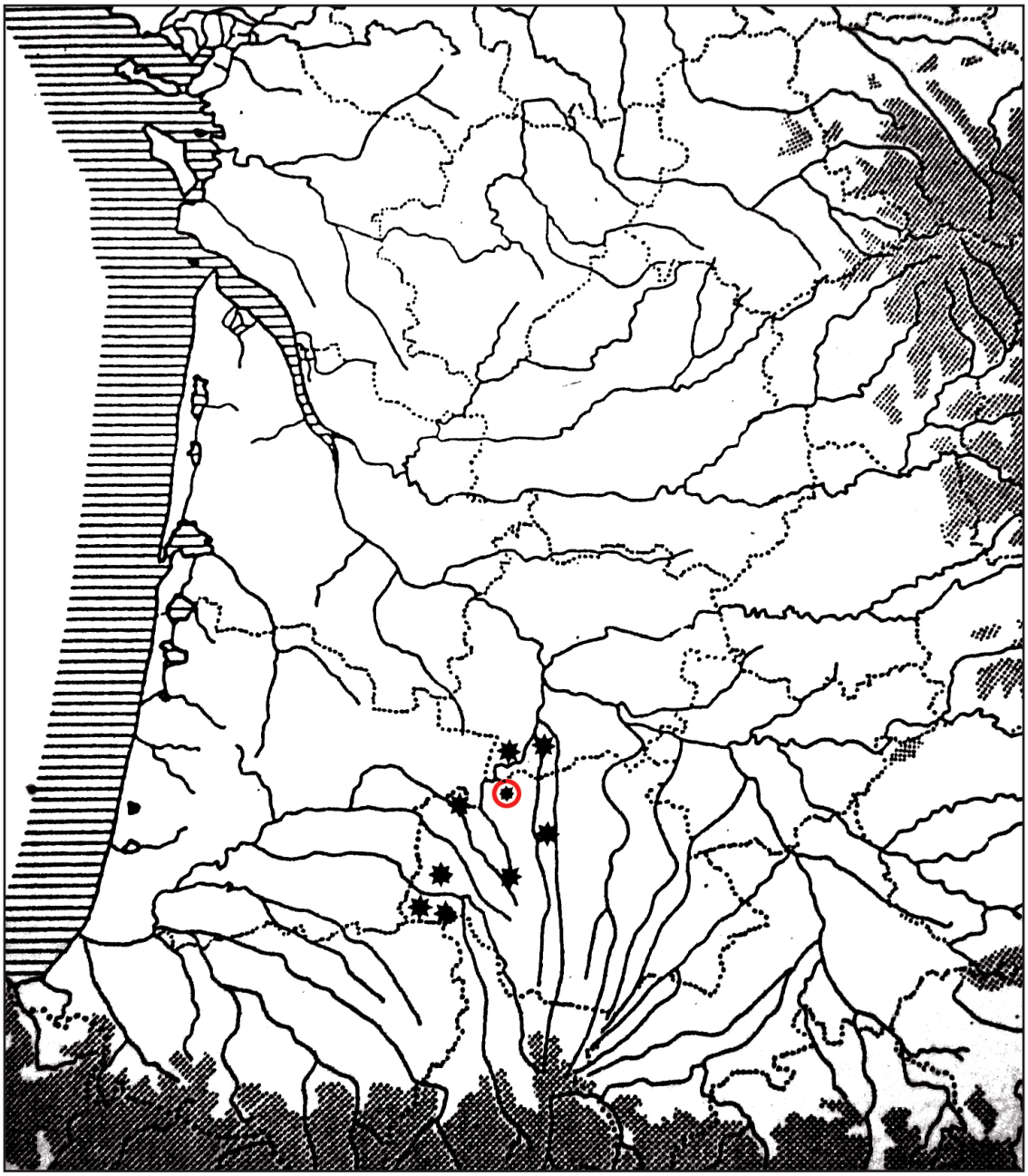


Figure 1 - Paléogéographie du Dogger d'Aquitaine
1 : Domaine confiné – plateforme interne
2 : Barrière : barre oolithique ou récifale
3 : Talus : calcaires et silex à microfilaments
4 : Domaine océanique : marnes et calcaires

3.2. Le Maastrichtien de l'Aquitaine méridionale :

La découverte d'un type de silex spécifique au domaine pyrénéen, le silex du Maastrichtien supérieur à Lepidorbitoides remonte à l'anné 1991 (Séronie-Vivien 1997). Les premières découvertes permirent de localiser d'abord l'origine de ces silex dans la région d'Audignon (Normand 1986, Bon et al. 1996). Par la suite il devint assuré que ce type de roches pouvait aussi provenir d'autres sites du versant nord-pyrénéen, de l'Adour aux Petites Pyrénees (Séronie-Vivien M. et M.R, Foucher P. 2006). Toutefois de nouvelles recherches et des informations récentes nous ont conduit à reconsidérer le problème. Ce sont , en effet, les travaux de D. et F. Millet qui ont mis en évidence, d'une part de nombreux affleurement de dépôts fluviatiles riches en galets de silex à à lépidorbitoÏdes, et d'autre part de plusieurs gisements préhistoriques du

Paléolithique inférieur et supérieur qui se sont avérés contenir un fort pourcentage de ce type de silex. Ces sites se trouvent dans les département du Gers et dans la partie méridionale de celui des Landes. Il s'agit , chaque fois, d'industries débitées à partir de galets de rivière, que ce soit dans la vallée de l'Adour, du Midou, de la Gélise ou de la Baïse, seules vallées actuellement prospectées (figure 2). Les alluvions anciennes qui contiennent ces silex se trouvent dans des formations datées du Plio-Pleistocène qui forment le cône du Lannemezan. Rappelons que le système détritique provenant du démantèlement de la Chaine pyrénéenne constitue un imposant glacis culminant à plus de 600m. d'altitude. Cet épandage très puissant a pu recouvrir des structures mésozoïques, généralement orientées E-W, qui jalonnent le Piedmont pyrénéen et qui s'étendent même au-delà vers le Nord et qui sont connues en surface (Audignon, Roquefort, Créon, Cézans) et en subsurface (Lacq, Morlaas, Thèze par exemple).



= 60 km

Figure 2 - Gisement paléolithiques avec silex du Crétacé supérieur.
Astérisque : silex à Lepidorbitoides
Cercle rouge : silex du Sénonien

On peut alors supposer que certaines de ces structures, maintenant enfouies sous le Lannemezan, ont été érodées par les puissants cours d d'eau descendant des Pyrénées, ce qui expliquerait la présence de nombreux silex à lépidorbitoïdes dans leurs alluvions.
Cette approche faisant appel à la paléo-topographie pour expliquer la distribution de certains

types de silex nous est relativement familière car plus au Nord de l'Aquitaine il nous a été nécessaire de faire appel à ce type de raisonnement. En effet si les revêtements alluvionnaires sont importants dans la partie septentrionale de la Gironde (une partie du Blayais, le Médoc, la Lande girondine) et des Landes (la grande Lande). Il est intéressant de voir que les épandages ont des composition lithologiques qui varient selon le tracé des anciens cours d'eau. Par exemple les «graves» du Médoc contiennent de nombreux silex sénoniens dont la lointaine provenance ne peut être que charentaise ou périgourdine. Leur provenance plus précise ne peut être connue que par des études de paléo-hydrographie (figure 3).

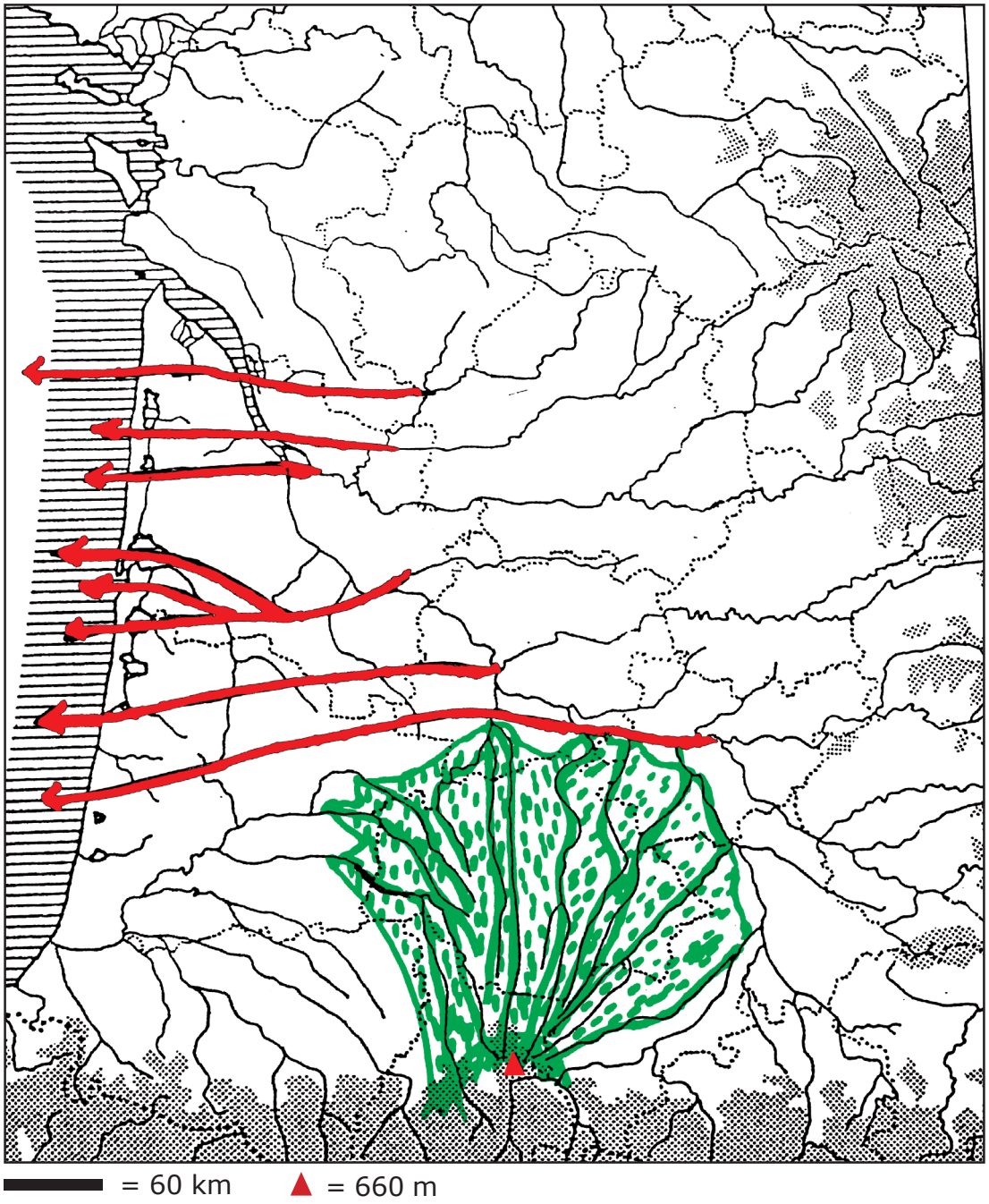


Figure 3 - Paléohydrographie aquitaine
: Anciens cours des fleuves (Pliocène)
: Le cône du Lannemezan

Les recherches réalisées pour cerner les sources potentielles des silex à *Lepidorbitoides* ont montré combien la prudence est nécessaire, combien les études sur le terrain doivent être poursuivies et, comme corollaire, combien il faut demeurer prudent lorsque l'on propose une unique origine géographique à des matières premières lithiques et que l'on en tire des conclusions sur les comportements humains.

photo 1 - Gers : galets de silex en surface.
(Photos D. et F. Millet)

photo 2 - Gers : carrière avec nombreux galets de silex.

BIBLIOGRAPHIE

BON F., CHAUVAUD D., DARTIGUEPEYROU S., GARDÈRE P. 2002– La caractérisation des silex de Chalosse. *Antiquités nationales*, 28, p 33-38.

LENOIR M., OBRY J., SERONIE-VIVIEN M.R. 1997 – Occurrence of allochtonous flint in an Upper Palaeolithic site near Bordeaux. In : Siliceous rocks and Culture, A. Ramos Millan and M.A. Bustillo edit. Univ. Granada, p 385-390.

NORMAND C. 1986 – Inventaires des gîtes à silex de la Chalosse (1984/85). *Bul . soc. De Borda*, 402, p 133-140.

SÉRONIE-VIVIEN M., M.R 1987 – Les silex du Mésozoïque nord-aquitain – Approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique. Supplément tome XV 1987, Bul. Soc. Linnéenne de Bordeaux, 132p.

SÉRONIE-VIVIEN M.R. 2003 – Attribution stratigraphique d'un silex et microfaciès; In : Les matières premières lithiques en préhistoire. Table ronde internationale, Aurillac (Cantal), 20/22 juin 2002. Préhistoire du Sud-Ouest, Supplément n°5, 297/303.

SÉRONIE-VIVIEN M ET M.R. ET FOUCHER P. 2008 – L'économie du silex à lépidorbitoïdes dans les Pyrénées centrales – Caractérisation et implications méthodologiques, *Paléo*, 18, 193/215.

Microfaciès sédimentaires dans les silex : pour une meilleure identification des silex

Jehanne Affolter
Membre associée UMR 5594 Dijon, Dîme 86, Neuchâtel, Suisse.

Remarque préliminaire

Nous employons ici le terme de «silex» dans son acception la plus large, comme synonyme de «roches siliceuses sédimentaires non détritiques», ce qui correspond à l'usage archéologique pragmatique, et non sensu stricto, comme synonyme de «accident siliceux dans la craie du bassin de Paris», qui correspond à l'usage géologique puriste.

Cet article se veut complémentaire de celui de M. R. Séronie, car nous travaillons à peu près avec la même méthode. Les deux principales différences entre nos démarches sont d'une part le fait que je ne fais pas de lames minces, d'autre part le fait que je pars des pièces archéologiques.

Tout d'abord, une question qui peut paraître une tautologie : pourquoi déterminer les silex de façon précise? Nous ne pensons pas ici en termes d'archéologues, mais de géologues : les silex sont en général des résidus de la diagenèse, ce sont en quelque sorte des épiphénomènes qui n'intéressent que peu la géologie. Et pour beaucoup, les silex présentent trop de recristallisations pour que l'on puisse encore y reconnaître quoi que ce soit. Pourtant, l'examen d'une série archéologique révèle très vite plusieurs variétés de silex, dont on peut supposer qu'elles ne proviennent pas toutes du même endroit (l'Abbé Breuil, entre autres, faisait déjà ce genre de réflexions). Cependant, l'aspect macroscopique n'est de loin pas suffisant, il faut donc chercher des moyens de caractérisation adéquats. Mais qu'entend-on par «moyens de caractérisation adéquats»?

Tout le problème de la détermination des silex réside dans le fait que l'on se trouve là à l'interface entre deux modes de raisonnements en partie antagonistes :
D'un côté, la géologie cherche à caractériser les roches, et pour cela tous les moyens sont bons. On se trouve dans une logique théorique, c'est à dire dans le domaine de la recherche fondamentale. On peut définir librement la zone que l'on souhaite étudier, le temps que l'on va y passer, les méthodes de déterminations que l'on va employer, qu'elles soient destructives ou non. En général, on aura recours à plusieurs méthodes dont on croisera les résultats.

De l'autre côté, l'archéologie veut connaître le plus vite possible l'origine géographique des objets, en évitant au maximum les destructions. On se trouve dans une logique pratique, c'est à dire dans le domaine de la recherche appliquée. On dispose d'un temps d'étude restreint, on se trouve souvent dans une région à cheval sur plusieurs bassins sédimentaires, on ne peut pas se permettre de commencer par une prospection exhaustive de la région, d'ailleurs, où s'arrête-t-elle? Donc on part, par la force des choses, d'objets géologiques sortis de leur contexte, et on doit tenter de retrouver leur origine. Le mot d'ordre pour choisir une méthode de détermination est bien sûr : ne pas détruire !

Pour déterminer les silex d'une série archéologique, et donc leur provenance géologique, il faut subséquemment faire le grand écart entre deux mondes.

En géologie, comme du reste en archéologie par le biais de l'ethnologie, le raisonnement de base s'appuie sur le principe des causes actuelles : «Les mêmes causes produisent les mêmes effets». En conséquence, il est possible et légitime de comparer les résultats des phénomènes

actuels avec les résultats des phénomènes passés et de leur attribuer les mêmes causes. C'est ce sous-entendu qui nous permet de transposer dans le passé ce que l'on peut observer dans le présent, en particulier en ce qui concerne les milieux de sédimentation. En effet, la silicification se fait en général à partir de sédiments calcaires préexistants, par un remplacement molécule à molécule du calcium par de la silice. Elle conserve ainsi la majorité des structures de sa roche-mère. C'est ce qui nous permet d'interpréter les milieux de sédimentation des silex de la même manière que dans les calcaires. Cependant, elle ne peut se faire que dans des zones où l'eau de mer est assez riche en silice. Ce phénomène explique pourquoi la plupart des silicifications ont une extension limitée dans le temps et dans l'espace.

Pour en revenir à l'archéologie, la méthode des microfaciès est pertinente dans bien des cas, mais elle a aussi ses limites. Cependant, elle a le grand avantage d'être prospective, puisqu'elle permet de remonter de l'objet à son gîte, et n'implique pas de disposer d'une grande lithothèque au début d'une étude, ni de connaître à priori les gîtes possibles. Les autres méthodes devraient être appelées à la rescousse de façon ciblée, uniquement lorsque l'analyse des microfaciès sédimentaires n'apporte pas assez de précision. Sinon, c'est comme prendre des gants de boxe pour attraper une mouche! Par exemple, il pourra être utile de faire des analyses plus poussées à l'intérieur de la région du Grand-Pressigny, afin de relier les divers ateliers aux gîtes qu'ils ont exploités. Mais vu depuis la Suisse, cette précision n'est pas absolument pertinente, du moins en l'état actuel de la recherche !

Du gîte au site : itinéraires et transformations naturelles du silex. Intérêt pétroarchéologique

Paul Fernandes[1,2]
(1) - Université Bordeaux 1, Sciences et Technologies, UMR 5199 PACEA, IPGQ, bâtiment de Géologie B18, avenue des Facultés, 33405 Talence. (2)- Paléotime 272 rue du Lycée Polonais, 38250 Villard-de-Lans.

Introduction

Un des objectifs de l'archéologie préhistorique est de mieux comprendre les relations des populations humaines avec leur environnement. Les hommes préhistoriques ont utilisé une grande variété de matériaux pour confectionner leur outillage, mais très souvent seules les roches parviennent jusqu'à nous. Il est donc utile de développer des approches permettant de mieux appréhender les rapports que les sociétés anciennes ont entretenu avec les domaines minéraux alentours et plus lointains. Depuis plusieurs années, nous menons un travail méthodologique minutieux pour aboutir à la mise en place de protocoles adaptés à une meilleure reconnaissance des milieux de collectes des matières premières lithiques. L'application de cette démarche en Auvergne, en Aquitaine et en Rhône-Alpes nous a permis d'élaborer un protocole fondé sur l'analyse comparative des indices minéralogiques, pétrographiques et taphonomiques rencontrés dans les matériaux bruts (échantillons géologiques) et dans les objets archéologiques.

1. Un pas méthodologique à franchir

L'étude géologique est un préalable à conduire désormais à une échelle supra-régionale. Elle nécessite la prise en compte d'un acquis important sur le terrain et en laboratoire. L'analyse du potentiel lithologique conduit à préciser la position des silex, aussi bien à l'affleurement en position primaire, qu'en position secondaire. Il est tout aussi utile de caractériser les types que de suivre ces mêmes types le long de leurs déplacements. Ce constat nous oblige à dépasser l'échelle régionale et les limites administratives.

L'observation des échantillons géologiques débute par la description du rapport entre le corps siliceux et la roche encaissante (prise en compte de la polarité et du positionnement). Il est utile de prélever un échantillon de la roche encaissante ; la diagnose (par microscopie ou acétolyse) livre une image précise de la biophase présente dans le niveau à silex. Ensuite, on peut entreprendre la caractérisation des échantillons géologiques de silex et enfin celle des objets archéologiques fabriqués dans cette matière. Mais cette démarche, tout à fait classique, nécessitait encore un ajustement méthodologique et lexicologique.

Dans la littérature, la palette d'observation généralement utilisée semble parfois inadaptée notamment pour les silex qui ont subi une longue évolution. La discrimination à l'échelle macroscopique comporte trop d'approximations. L'apparence extérieure, toujours liée à l'altération, est le plus souvent réduite à la description de l'évolution de la couleur. Les diagnoses ne définissent pas précisément les formes pétrographiques et encore moins minéralogiques. L'utilisation de méthodes quantitatives comme la diffraction des rayons X, la spectrométrie infrarouge ou la cathodoluminescence reste exceptionnelle. Les analyses sont donc incomplètes et montrent leurs limites dans de nombreux cas.

Au-delà de ce constat, l'application de méthodes, comme la détermination des éléments traces par ICPMS ou du rapport isotopique du strontium initial $(87Sr/88Sr)_i$ par TIMS, ne peut se justifier que si l'on admet une totale fermeture du système géochimique depuis la formation du silex.

Pour la compréhension des comportements des éléments traces, il est utile avant toute étude géochimique de définir et de quantifier la composition minéralogique de l'échantillon en prenant particulièrement en compte l'ensemble des phases détritiques héritées et intégrées lors de la silicification. En effet, certaines de ces phases, malgré leurs faibles proportions modales dans les silex supportent l'essentiel des teneurs observées en terres rares, éléments HFS…. En raison de la très faible incorporation de ces éléments dans les réseaux cristallins des minéraux de la silice. Lors de l'évolution post-génétique, leurs comportements au cours des transformations minéralogiques conditionnées par l'eau ne sont pas clairement établis. Les considérer comme invariants en raison de leur réputation d'inertie dans de tels systèmes ouverts, particulièrement soumis aux circulations de l'eau, mérite d'être sérieusement réexaminé. Il est par conséquent délicat d'adopter les palettes analytiques proposées pour l'étude de roches éruptives ou carbonatées et l'élaboration d'un protocole spécifique aux matériaux siliceux et hypersiliceux de type silex s'impose.

La diagenèse siliceuse à l'origine des silex prend le plus souvent un caractère ponctuel, parfois à l'échelle du micron, conditionné par l'hétérogénéité initiale des constituants et par l'efficacité du réseau capillaire (porosité). Les travaux géochimiques ont montré l'importance des déplacements de fluides à l'intérieur des silex tout au long de leur évolution. Nos observations montrent que la composition d'un tel matériau ayant subi des altérations et des modifications liées à un transport ne peut être identique à celle d'un silex équivalent resté dans son gîte d'origine. Les silex des formations résiduelles (argiles à silex) ou remaniées d'âge paléogène ont des teneurs plus élevées en éléments traces que celles de leurs homologues des niveaux d'origine jurassiques ou crétacés (Vilas-Boas, 1975).

La composition minéralogique du silex évolue et ce vieillissement conduit à la prédominance finale du quartz (Tarr, 1917 ; Hsü et Jenkyns, 1974 ; Riech et Von Rad, 1979) ; *"Archean sediments are silicified with microquartz to a degree unknown in younger rocks, suggesting warmer climatic temperatures or pervasive later alteration"(*Knauth, 1994). Le temps n'est pourtant qu'un des nombreux paramètres régissant la transformation des silex. Température, pression à différentes profondeurs d'enfouissement ou encore environnements chimiques contrastés successifs jouent également un rôle important. De nombreux auteurs (Aubry et *al* ,1975 ; Villas-Boas, 1975 ; Raj, 1982 ; Stumm, 1992) ont démontré l'existence de transformations tardives et post-génétiques, variables selon les environnements géochimiques, en particulier au cours du Cénozoïque et du Quaternaire et le rapport quartz/calcédoine augmente durant les stades post-génétiques, notamment au cours des transports subis par les silex (Fernandes et *al.*, 2007).

Nous n'utilisons donc pas comme d'autres (Surmely et *al*, 2008) ce type de méthode, encore trop délicate à mettre en place (Murray, 1994 ; Dufresne, 1999 ; Bressy, 2002). Néanmoins, la caractérisation des états géochimiques successifs relatifs à l'évolution d'un même matériau selon un itinéraire paléogéographique reconnu, pourrait dans un avenir proche être riche d'enseignements. Les études pétrographiques et géochimiques, menées conjointement, doivent permettre de préciser les types de formations superficielles par lesquelles les silex ont transité. Pour retrouver la source d'un matériau siliceux en utilisant une méthode géochimique, il faut donc impérativement déterminer d'abord l'ensemble des phases minérales présentes. Le dosage de certains éléments traces préalablement sélectionnés (en fonction de leurs comportements) peut ensuite intervenir, sachant que leurs teneurs peuvent avoir évolué depuis l'origine.

Face à ces doutes, nous employons tout simplement le microscope polarisant pour caractériser les phases en présence. Différentes méthodes quantitatives peuvent venir en appoint selon les problèmes posés : diffractométrie X, spectrométrie infrarouge ou encore cathodoluminescence. Dans le cas de l'IR, les échantillons doivent être analysés en utilisant la méthode du pastillage dans le KBr (voir Fröhlich & Servant-Vildary, 1989 pour les détails de la méthode). La standardisation du protocole permet en effet une quantification des différentes phases minérales de l'échantillon (Fröhlich & Gendron-Badou, 2002). Les spectres IR sont obtenus en transmission avec un spectromètre à transformées de Fourrier (IRTF) de modèle Bruker Vector 22. Les cartographies

sont directement réalisées sur les lames minces avec le microscope IRTF de type Hypérion (Bruker Optics) couplé au Vector 22. Elles permettent d'obtenir une interprétation spatiale de l'évolution des différentes phases.

La démarche qui fournit aujourd'hui les résultats les plus prometteurs, prend en compte la maturation de la calcédoine (la phase dominante dans le cœur du silex). La taille des cristallites, les désordres structuraux, la variation de la teneur en moganite (présente dans la fibre de calcédoine) semblent varier selon l'origine du silex (Jensen et *al*, 1957 ; Knauth, 1994 ; Götze et *al*, 1998 ; Graetsch et *al*, 2009).

2. La méthode

Nous avons donc introduit le concept de *chaîne évolutive* du silex (Fernandes, 2006 ; Fernandes et Raynal, 2006a, 2006b, Fernandes et *al*, 2007, Fernandes et *al* , 2010). En résumé, les processus liés à la genèse déterminent les types (type génétique) dont les transformations déterminent les sous-types (**types gîtologiques)**. Pour toutes les raisons évoquées supra, la seule recherche du **gîte primaire** - le **type génétique** (type initial) - n'est qu'incomplètement pertinente dans le cadre d'une problématique archéologique. Une vision globale de la chaîne évolutive permet en revanche la définition des **types gîtologiques,** caractéristiques des **gîtes secondaires.** Il existe plusieurs types gîtologiques par type génétique, donc autant de lieux de collectes potentiels et leur caractérisation autorise par conséquent une meilleure appréciation des approvisionnements par les hommes.

2.1. Étude pétrographique

Lorsque cela est possible, l'observation du silex, doit être pratiquée aux trois échelles (macroscopique, microscopique et ultramicroscopique), avec une même démarche, pour les échantillons géologiques (roche encaissante et silex en gîte primaire) et les pièces archéologiques (figure 1). Un même protocole doit être respecté pour la roche encaissante, le silex géologique et la pièce archéologique. Le choix des éléments discriminants doit s'adapter à l'échantillon mais la démarche repose sur un examen complet des structures, des textures et de la morphologie des surfaces des silex. La description pétrographique utilise une terminologie inspirée à la fois de Folk (1959), Duhnam (1962) et Embry et Kolvan (1971), avec cependant quelques aménagements. Purement descriptive, elle distingue les principaux constituants : terrigènes, orthochimiques et allochimiques. Par définition, les roches silicifiées contiennent moins de 50% de constituants terrigènes. Elle rend compte de la nature et de la cristallinité des constituants orthochimiques (la matrice) et de la nature et la fréquence des ***allochems*** (éléments figurés). L'étude pétrographique et sédimentologique du silex nécessite d'élaborer une grille d'analyse basée sur les indices les plus discriminants. Une fois leur aspect extérieur caractérisé (milieu de dépôt, habitus, type pétrographique, néo-cortex) il faut en décrire précisément l'organisation interne. Par expérience, nous avons sélectionné six paramètres (la nature, la taille, le classement, la fréquence, la sphéricité et l'arrondi des clastes) qui facilitent l'interprétation du mode de dépôt à l'origine de la formation encaissante du silex et l'évolution de ce dernier. (voir figures 3 et 4 p. 36)

Une lame mince doit être fabriquée pour chaque matière dans chaque gîte. Les caractères pétrographiques et paléontologiques doivent être regroupés dans un tableau qui fait ressortir les spécificités de chaque groupe. Ce tableau synthétique distingue à la fois des types : objet qui fait autorité comme modèle géologique, construit sur un ensemble de caractères lithologiques identiques mais aussi des faciès, apparences qui peuvent renseigner sur l'histoire de l'échantillon.

2.2. Étude minéralogique

Nos descriptions minéralogiques utilisent une terminologie inspirée des travaux de la commission des nouveaux minéraux de l'Association Minéralogique Internationale (2009) et de sommes antérieures (Cornelius, Hurlbut, 1959 ; Deer, Howie, Zussman, 1966 ; Arbey 1980). Le type d'assemblage minéral de chaque silex est caractérisé par les phases minérale de la matrice, les phases minérales présentes dans les remplissages des fissures ou des pores, et les phases minérales de recristallisation qui modifient la taille, la forme et l'orientation des phases minérales initiales. Au fil des observations, nous nous sommes aperçus que certain types de texture prédéterminent des faciès particuliers d'altération. Il est donc possible, en retour, de déterminer la texture grâce au type d'altération reconnu.

L'étude minéralogique aboutit donc à un catalogue simplifié de la nature et de l'habitus des différentes phases présentes dans l'échantillon. Cette classification précise le catalogue établi lors de l'observation macroscopique et on distingue :

- le faciès à quartz : assemblage majoritairement constitué de grains de grande taille ;
- le faciès à microquartz : assemblage majoritairement constitué de grains de petite taille, formant une matrice cryptocristalline, à petits quartz isodiamétriques de1µm.
- le faciès à calcédoine : assemblage majoritairement fibreux ;
- le faciès à opale : assemblage majoritairement constitué d'opae ;
- le faciès à carbonates : assemblage comprenant au moins 40% de carbonates.

2.3. Étude «taphonomique»

Le mode de caractérisation classique (Séronie-Vivien 1987) des échantillons géologiques (qui servent de références) est complété par la prise en compte des transformations postérieures à la formation du silex : composition minérale, évolution texturale, réseau poreux et associations de marques d'altérations.

L'ensemble d'un corpus lithique archéologique doit être soumis à une observation «taphonomique» et les effets des processus d'altération pré et post-dépositionnels présents à la surface et à l'intérieur des silex sont décrits.

Dans un premier temps, on rassemble tous les indices visibles sur les pièces archéologiques permettant de cibler le type de dépôt superficiel dans lequel l'objet a été collecté par les hommes préhistoriques. Le décryptage précis des stades de transformations affectant les silex soumis aux variations pédologiques et météoriques permet de rassembler des objets qui partagent des caractères « taphonomiques » à valeur gitologique : **état d'altération des néo-cortex, intensité des modifications texturo-pigmentaires, rapport entre éléments figurés et matrice par exemple.** La taille réduite de certains objets et leur nombre restreint dans certaines collections reste un obstacle à cette étude et à l'évaluation du nombre minimum de blocs introduit dans le site.

Les silicifications présentent à leur surface des associations et des successions logiques de stigmates et de traces d'altération. Chaque bloc enregistre sa propre histoire, mais chaque type d'environnement impose une série de traits communs. Le plus souvent, les cortex d'origine sont en carbonates ou en calcédoine/opale alors que les néo-cortex des silex en position secondaire sont formés de calcédoine et/ou de quartz microcristallins associés à du matériel néogène amorphe conditionnant des impuretés. Par ailleurs, quand de nouvelles surfaces se forment (lithoclase au cours du transport ou lors de la taille), la texture siliceuse évolue d'abord par déshydratation ce qui conditionne l'apparition rapide d'un voile blanchâtre à la surface des silex. Par la suite, une exposition prolongée en milieu agressif entraîne la disparition des minéraux les plus solubles (carbonates, opale, calcédoine), alors que les phases minérales les moins solubles

(les grands quartz) se trouvent de plus en plus isolées. Le lessivage des silex par une eau pure ou alcaline provoque l'altération de leur surface non corticale, des parois des fissures et des chocs existants. Dès lors, soit les solutions évacuent certains éléments chimiques solubles et engendrent la patine blanche, soit elles déposent une nouvelle phase minérale (opale, calcédoine, quartzine) et divers pigments sur les parois des vides et à la surface des grains récemment dégagés et transforment la couleur du silex. Dans de nombreux cas, la dissolution s'accompagne donc d'une amorphisation et de la formation de pellicules qui s'écoulent à la surface des silex. Une circulation de solutions acides à travers la surface du silex entraîne le départ d'une grande partie du fer (hérité ou acquis) ; ce dernier est dissout et exsudé hors du silex (patine blanche). Dans le cas opposé de solution stagnantes, le fer n'est plus expulsé et se dépose le long des espaces intergranulaires (patines colorées, Hurst *et al*, 1961). Les patines sont des modifications colorées de surface, d'origine chimique et biochimique, acquises dès la mise à l'affleurement et parfois encore lisibles sur les objets archéologiques si les processus tardifs de dissolution ne les ont pas oblitérées. Le cas du blanchiment de la matrice, nous venons de le voir, est complètement différent. Il s'agit d'une perte progressive de matière qui conduit à une modification de l'indice de réfraction (à l'origine de l'opacification).

L'étude pétrographique du silex est souvent rendue difficile par les recristallisations successives qui ont modifié ou transformé la texture siliceuse initiale (Murray, 1994). Le rapport quartz microcristallin/calcédoine est toujours plus élevé dans les formations remaniées que dans les silex collectés en position primaire. L'évolution texturo-pigmentaire, peut être parfois considérée comme le témoin macroscopique de cette évolution.

La patine, nous venons de le voir, est circonscrite à la porosité sous-corticale, alors que l'imprégnation est un processus beaucoup plus lent, induit par la progression du réseau de porosité interne, des chocs violents et l'intensité des processus pédologiques et météoriques. L'imprégnation n'est pas seulement le fruit de la progression du front pigmentaire sous cortical, elle progresse aussi le long des fissures, des traces de chocs et des joints de la matrice. Elle se développe également suivant les différentes textures granulaires à l'intérieur d'un même bloc ou galet de silex. L'imprégnation se forme rarement, et jamais de façon intense, dans les zones à forte porosité corticale ou déjà occupée par la patine blanche. Les zones à forte capacité de drainage ne piègent pas suffisamment les dépôts colorants. L'imprégnation est occultante et/ou révélatrice. Elle entraîne au final une homogénéisation et se caractérise par une modification apparente à l'échelle macroscopique de l'habitus des minéraux (Valensi, 1953). Cette évolution des matrices est induite par le transit et le dépôt dans les réseaux de porosité de solutions polluées par des éléments colorants. La prise en compte des différents gradients entre couleur d'origine et couleur acquise est un indice supplémentaire qui permet de regrouper des objets qui partagent des caractères colorimétriques. On distingue alors trois grandes familles : les silex qui ont conservé leur couleur d'origine, les silex sur lesquels il est encore possible de discerner la couleur d'origine et enfin les silex ayant acquis une ou plusieurs couleur(s) différente(s) de la couleur d'origine.

On doit aussi comparer tous les indices de transformations des éléments figurés à la loupe binoculaire et au microscope des échantillons géologiques avec ceux des pièces archéologiques. C'est un paramètre complémentaire qui témoigne lui aussi, du type de dépôt superficiel dans lequel les objets ont été collectés par les hommes préhistoriques. Dans le cadre de nos missions, nous avons travaillé sur l'évolution de la matrice des silex présents dans les séries étudiées. Le rapport éléments figurés/matrice change au cours de l'évolution des silex. Les textures *packstones* à *wackestones* les plus évoluées sont moins riches en éléments figurés que les textures des silex prélevées en position primaire.

On observe donc des associations de transformations différentes pour chaque type de dépôt superficiel et des gradients de transformation entre les blocs issus d'une même formation superficielle. Ce sont ces différences, plus ou moins importantes, que l'on décrypte sur les surfaces naturelles des objets archéologiques, afin de regrouper des pièces portant des associations de stigmates similaires.

L'approche taphonomique discriminante des pièces archéologiques doit d'abord séparer les effets des processus pré-dépositionnels (témoins des lieux de résidences antérieurs à la collecte) de ceux associés aux processus post-dépositionnels (marques des phénomènes liés au remplissage du site). Par la suite, elle doit proposer la caractérisation des formes lithologiques majeures, combinée à la liste détaillée de la biophase (microfaune) et au rapport de celle-ci avec la matrice. Il faut à la fois reconnaître l'environnement sédimentaire, le type de diagenèse et les étapes de la phase post-génétique. C'est à ce niveau d'analyse qu'il faut parvenir pour obtenir des déterminations de provenances précises. L'examen des processus les plus tardifs enregistrés sur les parties naturelles préservées des objets archéologiques procure une vision précise et synthétique du milieu de collecte par l'Homme. La reconstruction volumétrique des formes du matériau lors de sa collecte éclaire sur les procédures techniques mises en œuvre pour leur exploitation.

La caractérisation des faciès permet le regroupement de pièces archéologiques qui partagent des caractères génétiques et surtout «taphonomiques» communs. Ces groupes, une fois rassemblés, servent utilement de base aux remontages et appariements lors de l'étude technologique. Une observation croisée de l'évolution des cortex et des matrices sous-jacentes sert à l'estimation des blocs introduits (Turq, 2006, Turq et *al*, 1999). Le travail du pétroarchéologue, reste centré sur la détermination de la provenance des silex et fondamental pour une meilleure compréhension des chaînes opératoires.

En résumé, la structure, la texture et la morphologie du silex traduisent les conditions de formation originelles et l'état actuel de la roche. L'ensemble des facteurs mécaniques, chimiques et biochimiques, leurs interactions et la prédominance éventuelle d'un des processus, confèrent au silex une texture et une morphologie typique de son passage dans un/plusieurs milieu(x) particulier(s) qui permet de reconstituer l'évolution et les itinéraires des silex en gîtes secondaires.

Les effets induits par les processus mécaniques et physico-chimiques ne sont plus des obstacles à la détermination. L'exploitation des données mémorisées par silex, déjà exploitée par de nombreux chercheurs (Curwen, 1940 ; Aubry, 1975 ; Vilas Boas, 1975 ; Stapert, 1976 ; Masson, 1981) nécessite désormais des recherches plus systématiques attachées aux aspects morphologiques, texturaux et minéralogiques.

Conclusion

Cette refondation offre donc de nouvelles possibilités pour la reconnaissance des environnements par lesquels le silex a transité et autorise en cela une meilleure définition des rapports de l'Homme avec le milieu minéral. La prise en compte et le croisement d'informations sur les transformations des silex revêt un intérêt archéologique certain. On peut désormais retrouver, grâce au faciès acquis par l'objet lithique en silex, son type génétique et surtout son type gîtologique. En reconstituant, à rebours le parcours suivi par la matière. On peut désormais atteindre une dimension paléogéographique affinée des collectes en cartographiant les zones d'épandages propres à chacun des types génétiques, sachant qu'à chaque étape de son parcours, il peut acquérir un nouveau faciès. Il s'agit d'un complément d'information fondamental à la seule méthode classique de caractérisation des textures.

L'analyse pétroarchéologique, si elle s'intéresse par essence à la provenance des silex importés sur un site archéologique, accompagne l'étude technologique en orientant utilement les assemblages et les remontages. Pétrographes, archéologues et tracéologues doivent donc travailler de concert.

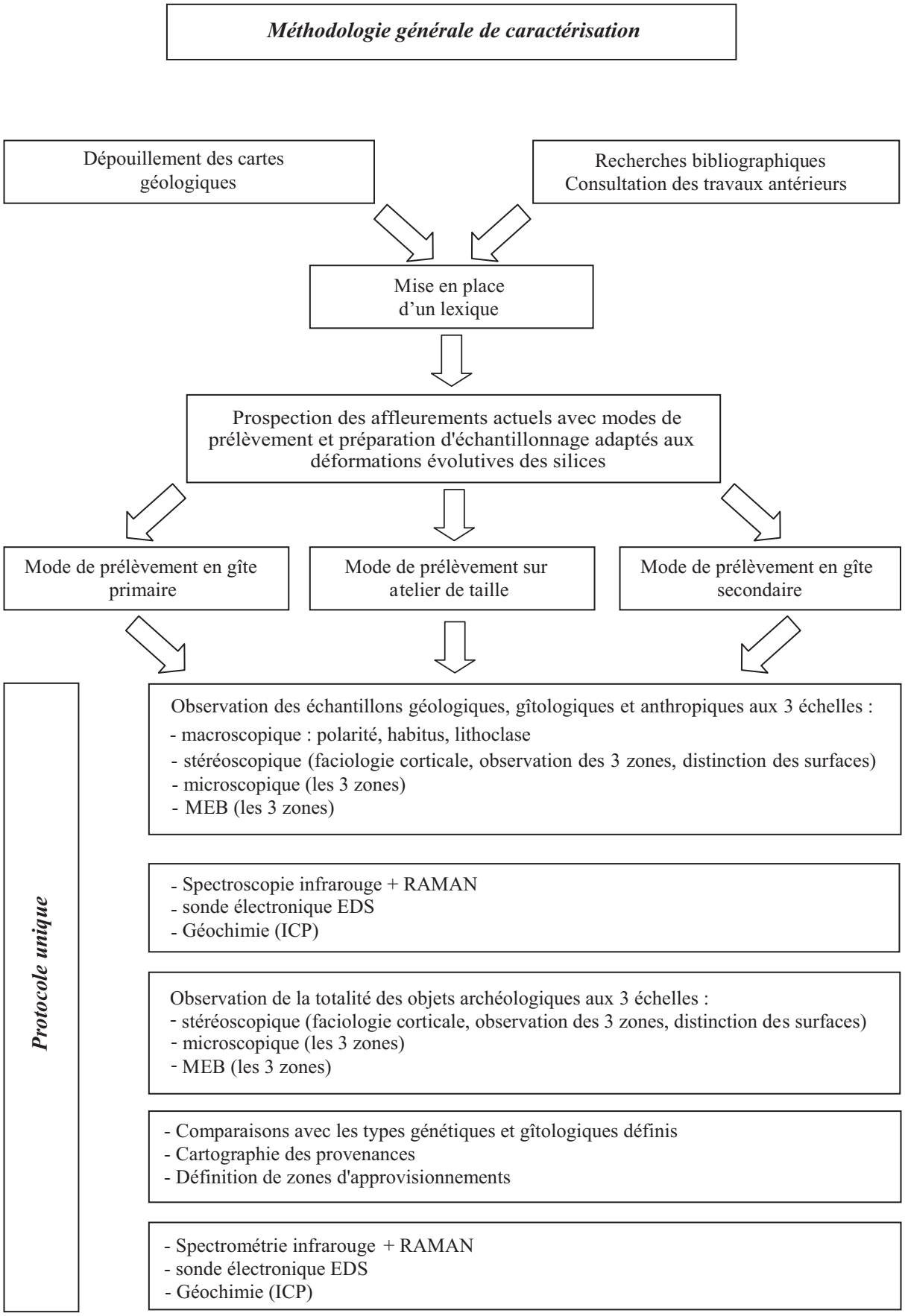


Figure 1 - Méthodologie générale de caractérisation

BIBLIOGRAPHIE

AUBRY M.P., DEWOLF Y., MUXART T. 1975 - Altération des silex de la craie, étude expérimentale, première observation, *Compte rendu de l'Académie des Sciences* 280 D. p 1509-1512.

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

BRESSY C. 2002 - *Caractérisation et gestion du silex des sites mésolithiques et néolithiques du Nord-Ouest de l'arc alpin. Une approche pétrographique et géochimique*, Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille I. 677 p.

CORNELIUS C., HURLBUT J.R. 1959 - *Dana's Manual of Mineralogy*. 18 th Edition, by John Wiley & Sons, Inc., New York and London. 579 p.

CURWEN E.C. 1940 - The white patination of black flint, *American Antiquity* 14. p 435-437.

DEER W.A., HOWIE R.A., ZUSSMAN J. 1966 - *An Introduction to the Rock Forming Minerals.* First Edition, Longman Group Limited, London. 528 p.

DUFRESNE N. 1999 - *La discrimination des silex tertiaires auvergnats : étude géologique et application archéologique (Magdalénien)*, Memoire de DESS, Université de Bourgogne. 87 p.

DUHNAM R.J. 1962 - Classification of carbonate rocks according to the depositional texture, *In* : *Memoire of the American Association of petroleum geologists*, *Classification of carbonate rocks*, Tulsa : Ham W. (Ed.). p 108-121.

EMBRY A.F., KOLVAN J.E. 1971 - A late Devonian reef tract on north eastern Bank Island, *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 19. p 730-781.

FERNANDES P. 2006 - *Pétroarchéologie des matériaux siliceux utilisés au paléolithique moyen dans le sud du Massif central : méthodologie et résultats préliminaires*, Mémoire de diplome de l'Ecoles des hautes etudes en sciences sociales, Ecoles des hautes etudes en sciences sociales, Toulouse. p. 183.

FERNANDES P., RAYNAL J.P. 2006 - Petroarchéologie du silex : un retour aux sources, *Compte rendu Palevol* 5. p 829-837.

FERNANDES P., RAYNAL J.P., MONCEL M.H. 2006 - L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : premiers résultats pétroarchéologiques, *Compte rendu Palevol* 5. p 981-993.

FERNANDES P., RAYNAL J.P. 2010 - Silex : une Pétroarchéologie refondée. *In* Silex et territoires préhistoriques. Avancées des recherches dans la Midi de la France. Les c@hiers de Géopré® n°1, Publication électronique. p 68-79.

FOLK R.L. 1959 - Practical classification of limestone, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 43. p 1-38.

FRÖHLICH F., SERVANT-VILDARY S. 1989 - Evaluation of diatom content by counting and infrared analysis in Quaternary fluvio-lacustrine deposits from Bolivia. Diatom Research 4. p 241-248.

GENDRON-BADOU A., FROHLICH F. 2000 - Analyse minéralogique des forages Craie 700 par spectrométrie infrarouge (IR). Vol. 37, n° 2. p101-106.

GÖTZE J., NASDALA L., KLEEBERG R., WENZEL M. 1998 - Occurrence and distribution of "moganite" in agate/chalcedony: a combined micro-Raman, Rietveld, and cathodoluminescence study. *Contribution to Mineralogy and Petrology,* Volume133, Numbers 1-2. p 96-105.

GRAETSCH H.A., et GRÜNBERG J. 2009 - Defect Microstructure of Chalcedony in Flint and Chert. Poster session W5 *Mineral microstructures: their implications and applications*. Micro-Analysis, Processes, Time (MAPT).The Mineralogical Society of United Kingdom, Presentations at Annual Meeting, Edinburgh. 2009.

HSÜ K.J., JENKYNS H.C. 1974 - *Pelagic sediments : on land and under the sea , proceedings of a symposium held at the Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 25-6 September, 1973*, Oxford : Blackwell Scientific (Ed.). 447 p.

HURST V.J., KELLY A.R. 1961 - Patination of cultural flints, *Science* 134. p 251-256.

JENSEN A., TOVBORG J., WOHLK A., DRENK K., KROGH ANDERSEN K. 1957 - A classification of Danish Flints, based on X-Ray Diffractometry. The Danish national Institute of Building Research and Academy of Technical Sciences, committee on Alkali Reactions in Concrete, Progress Report D1, Copenhagen.

KNAUTH L.P. 1994 - Petrogenesis of chert. *In* P.J. Heany, C.T. Prewitt and G.V. Gibbs, ed. : Silica. Physical behavior, geochelistry and materials applications. Rewiews in Mineralogy, vol 29, Miner. So. Amer. p 233-258.

MASSON A. 1981 - *Pétroarchéologie des roches siliceuses, intérêt en Préhistoire*, Thèse de doctorat, Université de Lyon, 101 p.

MURRAY R.W. 1994 - Chemical criteria to identify depositional environnement of chert : general principes and applications, *Geology* 20 (3). p 271-274.

RAJ R. 1982 - Creep in polycrystalline aggregate by matter transport through a liquide phase. J. Geophys. Res. 87. p 4731-4739.

RIECH V., VON RAD U. VON. 1979 - Eocene porcellanites and early Cretaceous cherts from the western North Atlantic basin. *In* Tucholke B.E., Vogt P.R. et *al. Init. Repts. DSDP, 43 :* Washington (U.S. Govt. Printing Office). p 437-448.

SERONIE-VIVIEN M., SERONIE-VIVIEN M.R. 1987 - *Les silex du Mesozoïque nord-aquitain. Approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique*, Bordeaux : Supplement au Tome 15, Bulletin de la Société Linéenne de Bordeaux (Ed.). 136 p.

STAPERT D. 1976 - Some natural surface modifications on flint in the Nethe, Netherlands, *Palaeohistoria* 18. p 7-42.

STUMM W. 1992 - *Chemistry of the solid-water interface : processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems*, New York : John Wiley & Sons (Ed.). 428 p.

SURMELY F., BOUDON P., BRIOT D., PIN C. 2008 - La diffusion des silex crétacés dans le centre du Massif central durant la préhistoire (Paléolithique, Mésolithique, Néolithique). PALEO, Volume 20. p 115-144.

TARR W. 1917 - Origin of the chert in the Burlington Limestone. AM. J. Sci, 44. p 409-452.

TURQ A. 2005 - Réflexions méthodologiques sur les études de matières premières lithiques . 1 Des lithothèques au matériel archéologique, *Paléo* 17. p 11-132.

TURQ A., ANTIGNAC G., ROUSSEL P. 1999 - Les silicifications coniaciennes du Sarladais et du Gourdonnais : inventaire et implications archéologiques, *Paléo* 11. p 145-160.

VALENSI L. 1953 - *Microfossiles des silex du Jurassique moyen, remarques pétrographiques*. In Mémoires de la Soc. Géol. de France. Tome XXII. N°68. 100 p. 68 planches.

VILAS-BOAS DA SILVA G. 1975 - *L'altération des accidents siliceux, silex et chailles dans les formations paléogènes. Bassin de Paris*, Thèse de 3ème Cycle, Université de Strasbourg, p. 110.

Détermination de provenance de matériaux siliceux intégrant la notion de chaîne évolutive des silicifications : application au Magdalénien de la couche F2 du Rond du Barry (Polignac, Haute-Loire).

Vincent Delvigne
1 Doctorant allocataire, UMR 5199 PACEA, Université Bordeaux 1, avenue des facultés, F-33405 Talence CEDEX, v.delvigne@pacea.u-bordeaux1.fr

Introduction

La méthode de détermination (Fernandes 2006, Fernandes et Raynal, 2006, Fernandes et *al* 2007) des roches dures siliceuses présentée a pour objectif final de reconstituer les approvisionnements en matières premières des hommes préhistoriques, en remontant de l'échantillon archéologique à l'échantillon géologique, donc au gîte où le silex a été collecté. La somme cumulée des observations effectuées lors de l'analyse en laboratoire permet d'établir une carte d'approvisionnement en silex de la population étudiée. Une telle carte ne fait que mettre en avant les déplacements des objets ou des matières retrouvées sur le site étudié, il incombe ensuite à l'interprétation archéologique de définir ce qui provient d'acquisitions directes ou indirectes afin d'établir des modèles de déplacements humains.

Pour ce faire, il est nécessaire de distinguer phénomènes pré et post-dépositionnels. En effet, les stigmates portés par les silex ne traduisent pas les mêmes milieux fonction qu'ils se sont créés avant ou après leur dépôt dans le site préhistorique. Ainsi des phénomènes portant sur l'intégrité du silex (chauffe, gel, patine et lustré post dépositionnelle, coloration acquise …) ne sont pas des indices pouvant être pris en compte dans l'établissement d'une carte de récolte des silex par les hommes préhistoriques, car trop variables à l'intérieur même d'un site. Il est donc essentiel d'éliminer de tels stigmates lors de la lecture des surfaces du silex et s'en affranchir lors des interprétations ultérieures. Le principe de «chaîne évolutive du silex» qui met en avant les transformations acquises par le silex de son gîte primaire jusqu'à sa découverte par les archéologues permet d'éviter de tomber dans de tels pièges et de préciser l'origine gîtologique des pièces étudiées.

La méthode utilisée qui repose sur une étude exhaustive du matériel et qui avait été testée jusqu'à présent sur des séries du Paléolithique moyen (Fernandes et Raynal 2007, Fernandes et *al* 2006, 2008, 2010, Moncel et Fernandes 2008) a été appliquée à la couche F2, attribuée au magdalénien «ancien», du site du Rond du Barry, situé sur la commune de Polignac en Haute-Loire (de Bayle des Hermens, 1974).

1. Principes

Le premier principe de la «pétroarchéologie refondée» est directement issu de la méthode classique employée par les pétroliers pour l'analyse des roches sédimentaires (Séronie-Vivien M. et M.-R., 1987). Ainsi, l'observation à la loupe binoculaire permet de recenser l'ensemble des éléments figurés, leurs organisations et les microstructures permettant la caractérisation du microfaciès. Une telle échelle d'observation permet d'identifier en grande partie l'origine stratigraphique donc le gîte primaire des silex. Il est indispensable que chaque artefact soient examinés à cette échelle. En effet, les tris à l'échelle macroscopique avec vérification à la loupe binoculaire d'un échantillon de ce tri peuvent introduire de nombreuses erreurs.

Le second principe de la «pétroarchéologie refondée» se base sur les «chaînes évolutives du silex» (Fernandes et Raynal, 2006). En effet, le travail du pétroarchéologue n'est pas seulement

de retrouver l'origine stratigraphique d'un silex mais bel et bien son dernier lieu de dépôt, c'est à dire là où il a été collecté par l'homme. La «taphonomie» du silex, ou plutôt son évolution au contact des milieux qu'il rencontre permet de distinguer des sous types gîtologiques (subprimaire, colluvion, alluvion, terrasses fluviatiles) d'un même type génétique (roche en place dans son encaissant).

Les principales transformations sont une disparition de la structure, une homogénéisation de la texture, un brunissement, une opacification et une disparition progressive des éléments figurés. Plus le silex aura traversé d'environnements différents lors de son parcours, plus ces transformations seront marquées. En plus de la matrice et des éléments figurés qui subissent des modifications, le cortex porte des stigmates caractéristiques provenant aussi bien d'actions mécaniques (érosion) que de phénomènes chimiques (altération). Il est généralement possible de constater une diminution progressive de l'épaisseur de la zone corticale, une dissolution des éléments carbonatés puis une recristallisation siliceuse ou néocortex. Ces phénomènes s'accompagnent de traces de chocs caractéristiques d'un transport, «traces en coup d'ongle» et cônes de percussion. Soulignons ici que les transformations les plus importantes semblent s'effectuer lors du passage du silex d'un milieu aérien au milieu aquatique, donc lors de son entrée, ou son retour, dans le réseau fluviatile (Fernandes, *com*. pers.).

Toute étude sur du matériel archéologique nécessite un réel travail de prospections géologiques afin de caractériser les différentes «chaînes évolutives» et d'établir les systèmes de distribution de ressources siliceuses type par type dans un environnement donné. Pour ce faire, il est nécessaire de suivre le parcours du silex en partant du gîte primaire et en échantillonnant chacun des gîtes secondaires : colluvions, alluvions récents, terrasses fluviales. Une fois le référentiel établi pour une région donnée, les observations s'effectuent à différentes échelles. Macroscopique afin de renseigner l'habitus, la couleur, la présence ou l'absence de cortex, de patine, de lustré et la typologie de la pièce. Puis à la loupe binoculaire pour mettre en évidence la texture, la structure, la transparence, les différents éléments figurés et les stigmates corticaux. Dans la plupart des cas, l'analyse s'arrête ici mais pour ceux plus problématiques il est nécessaire d'effectuer des observations au microscope, au MEB et de réaliser des analyses physico-chimiques afin de caractériser les phases minérales en présence et observer des éléments alors invisibles aux échelles décrites précédemment.

2. Méthodologie

Nous proposons, dans le cadre de cette table ronde d'harmonisation de la méthodologie en pétroarchéologie, que les observations effectuées à la loupe binoculaire soient entrées dans une base de données dont une version minimale pourrait être :

- **Identification de la pièce** : site , année , n° d'inventaire.
- **Description macroscopique** : habitus, patine et lustré pré- et post- dépositionnelle, couleur initiale, couleur acquise, encroûtement, typologie, dimension
- **Cortex** : présence/absence, épaisseur, dissolution, traces mécaniques, recristallisation
- **Description mésoscopique** : zones, état d'évolution des zones, texture (Dunham, 1962), structure, état de la matrice, transparence, recensement des éléments figurés, état de préservation des éléments figurés, feu, gel.

Concernant les éléments figurés, il semble nécessaire de créer un champ par type d'éléments qu'ils soient issus du monde minéral (intraclastes) ou du monde du vivant (bioclastes) en décrivant leur abondance relative. En effet, recenser une liste non exhaustive d'éléments figurés ne permet souvent de renseigner que le ou les éléments les plus abondants qui ne sont pas toujours les plus significatifs. De même, l'abondance relative, si elle est franchement distincte, permet de caractériser une différence entre deux silex, soit au niveau génétique (issus de faciès différents), soit au niveau gîtologique (état d'altération différentielle) qui n'appartiennent donc pas au même bloc.

Ces données étant acquises, il est possible de reconnaître l'environnement d'origine du silex, de caractériser son origine stratigraphique primaire, son origine stratigraphique secondaire puis d'attribuer un type génétique et un type gîtologique aux pièces selon une nomenclature adaptée : une lettre en majuscule (la première lettre du nom de l'analyste), suivie d'un numéro d'inventaire et une lettre en minuscule pour le type de gîte secondaire (Fernandes et Raynal, 2006).

Une fois le croisement des données effectué, il est possible de remonter aux différentes sources de collecte, qu'elles soient gîte primaire, gîte secondaire et gîte secondaire multiple. Deux artefacts portant les mêmes stigmates et présentant un état d'évolution semblable proviennent certainement de la même zone de collecte. Cette description fine des sources d'approvisionnement et des types a également pour but de faciliter le travail du technologue en réduisant le champs des possibles lors des opérations de remontage.

3. Résultats

La méthodologie décrite ci-dessus a été appliquée à la série de Magdalénien de la couche F2 du Rond du Barry dans le cadre d'un mémoire de Master 2. Les résultats présentés ne sont encore que préliminaires et reposent sur l'étude de 25 % de la série lithique globale. Par rapport aux approches antérieures sur le site du Rond du Barry (Torti, 1980 ; Masson, 1981), cet échantillon est le plus important à avoir été analysé dans le cadre d'une étude pétroarchéologique.

Cette étude a permis de réévaluer la diversité et la fréquence des matières premières présentes sur ce site, avec la mise en évidence de 42 types de silicifications différentes contre 14 identifiés par les études antérieures. Ceci est dû, en partie, à une confusion des types lors des tris macroscopiques anciens, basés sur des critères colorimétriques et n'ayant pu être précisés que lors de l'observation exhaustive des artefacts à la loupe binoculaire (figure 1). Ainsi, dans l'ensemble dit «des silex issus du domaine lointain (Cher)», nous remarquons la présence de silex qui, après réévaluation, s'avèrent être des silex marins jurassiques en position secondaire dans les alluvions récentes et anciennes de l'Allier et de la Loire (F140, F034, F021, F018) et des silcrêtes d'origine locale (F004). Il en va de même pour certaines silicifications d'origine locale : lors des études précédentes, des silcrêtes de couleur sombre et originaire du domaine semi-local (F044 / F005) ont été confondus avec les silex strictement locaux du bassin du Puy (F003).

Ces déterminations fines des types ont permis de diminuer la part des silex issus du domaine lointain, qui passe de 70 % du corpus analysé à 22 %, et de mettre en évidence la prédominance de matériaux semi-locaux non mentionnés lors des études précédentes. Ces chiffres remettent donc en question les modèles socio-économiques proposés par le passé pour le Magdalénien du Massif central et permettent de proposer de nouvelles cartes de déplacement des hommes dans les hautes terres du Velay (figure 2).

Conclusion

Cette méthode montre son adéquation pour différentes périodes de la Préhistoire et est validée par des conclusions similaires effectuées par différents observateurs. Elle emploie un vocabulaire harmonisé et peut donc constituer un outil de travail commun et un moyen de partage d'informations avec les archéologues pour aller plus loin dans la compréhension des économies du silex.

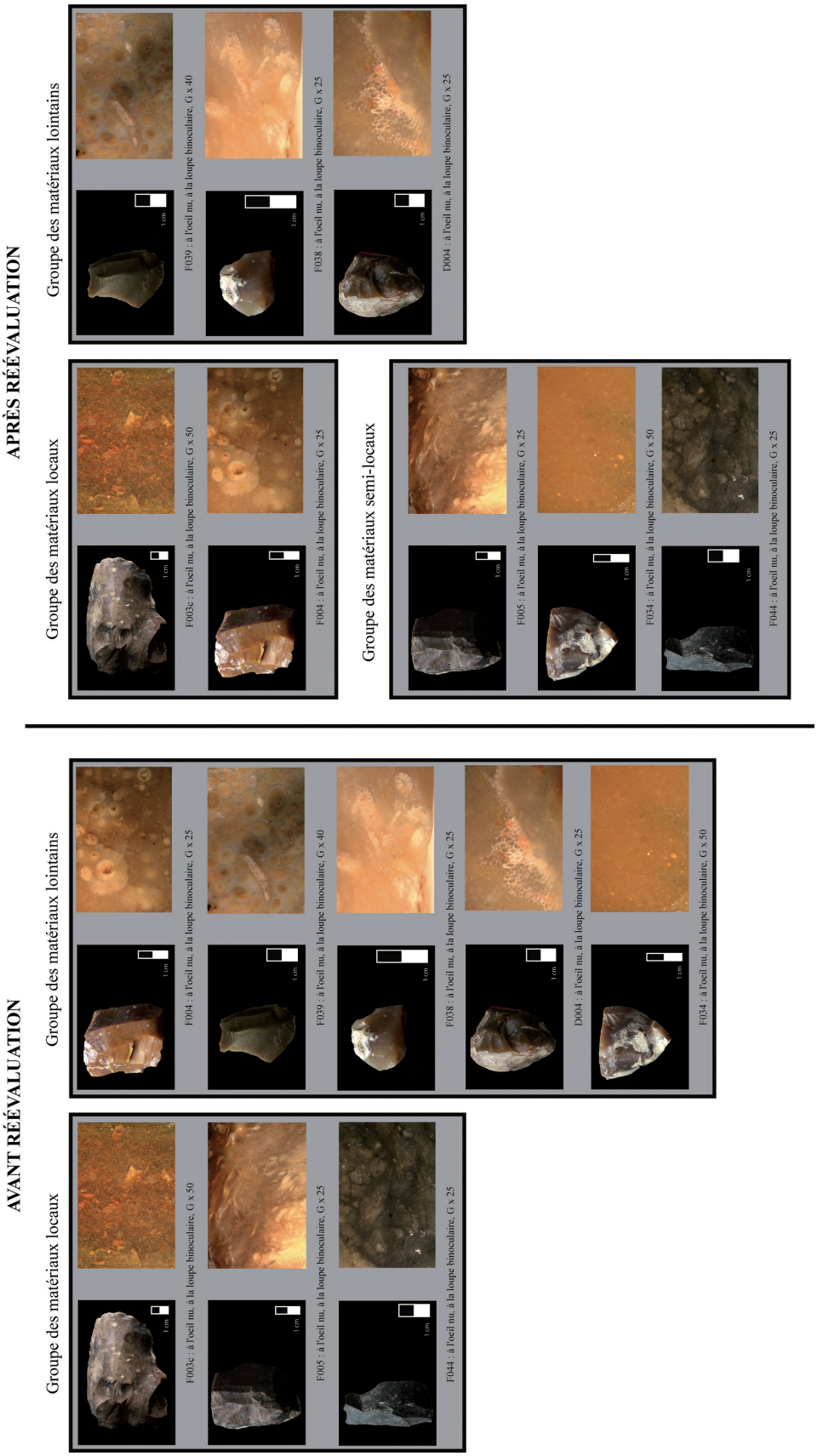


Figure 1 -
à droite : tri de matière réalisé à l'oeil nu avec vérification d'un échantillon de ce tri à la loupe binoculaire
à gauche : tri de matière selon les principes de la pétroarchéologie renouvelée avec observation mésoscopique de chacune des pièces étudiées. Photo : V. Delvigne

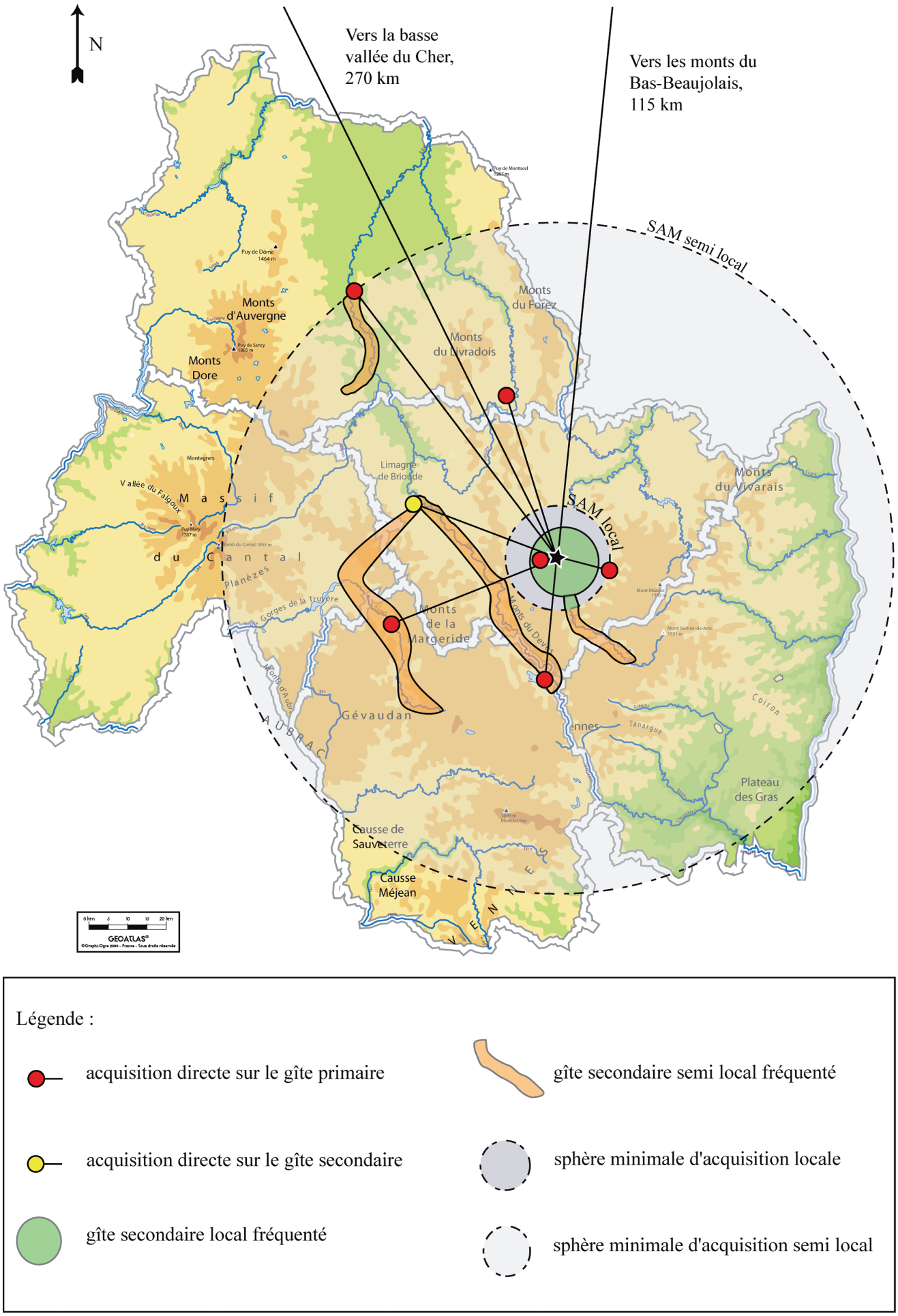


Figure 2 - Synthèse des flux siliceux, l'étoile noire représente le Rond du Barry, SAM = Sphère d'acquisition minimale.

BIBLIOGRAPHIE

BAYLE DES HERMENS (DE) R. 1974 - Note préliminaire sur le Magdalénien ancien de la couche F2 du Rond du Barry (Haute-Loire). L'Anthropologie 78 (1), pp. 17-36.

DUNHAM R-.J. 1962 - Classification of carbonate rocks according to the depositional texture, In : Memoire of the American Association of petroleum geologists. Classification of carbonate rocks, Tulsa : Ham W. (Ed.), pp. 108-121.

FERNANDES P. 2006 - Pétroarchéologie des matériaux siliceux utilisés au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : méthodologie et résultats préliminaires. Mémoire de Diplôme de l'EHESS, Toulouse, 198 p.

FERNANDES P., RAYNAL J.-P. 2006 - Pétroarchéologie du silex : un retour aux sources. Compte rendus Palevol (5) , pp. 829-837.

FERNANDES P., RAYNAL J.-P. 2007 - Les matières premières siliceuse (hors roches tenaces) du niveau J1 de la grotte de Sainte-Anne 1 (Polignac, Haute-Loire). In : La grotte de Sainte-Anne 1. Le Paléolithique moyen de l'unité J1, Les Dossiers de l'Archéo-Logis, n°4. 59-98

FERNANDES P., RAYNAL J.-P., MONCEL M.-H. 2006 - L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : premiers résultats pétroarchéologiques. Comptes rendus Palevol, Volume 5, Numéro 8 (décembre 2006), Elsevier, Paris, 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, Volume 6, n°,8 (décembre 2007) Elsevier, Masson SAS, Paris, 557-568.

FERNANDES P., RAYNAL J.-P., MONCEL M.H. 2008 - Middle Palaeolithic raw material gathering territories and human mobility in the southern Massif Central, France: first results from a petro-archaeological study on flint, Journal of Archaeological Science 35, 2357-2370.

FERNANDES P., MONCEL M.-H., LHOMME G. 2010 - Ressources minérales et comportements au Paléolithique moyen: Payre et l'Abri des Pêcheurs (Ardèche, France), Rivista di Scienze Preistoriche LVII, 31-42

MASSON A. 1981 - Pétroarchéologie des roches siliceuses, intérêt en Préhistoire. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 101 p.

MONCEL M.-H, FERNANDES P. 2008 - Matières premières, type d'approvisionnement et traitement des roches. In : Le site de Payre – Occupations humaines dans la vallée du Rhône à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur, sous la dir. de M.H. Moncel, Mémoire de la Société Préhistorique Française XLVI, 155-170.

SÉRONIE-VIVIEN M., SÉRONIE-VIVIEN M.R. 1987 - Les silex du Mésozoïque nord aquitain. Approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique. Bordeaux : Supplément au Tome 15, Bulletin de la Société Linnéenne de Bordeaux (Ed.), 136 p.

TORTI C. 1980 - Recherches sur l'implantation humaine en Limagne au Paléolithique moyen et supérieur. Thèse de 3ème Cycle, Université Bordeaux-1, 270 p.

Méthodologie de la Pétroarchéologie 2

Caractérisation des silex crétacés de Charente (France) : évaluation de l'approche macroscopique à l'œil nu et au microscope.

Mar Rey[1], Xavier Mangado[1], Christophe Delage[2]
(1) - Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (Universitat de Barcelona)
(2) - Musée d'Angoulême

Introduction

En 2002, débutait sous la responsabilité d'Anne Delagnes un PCR intitulé : «Paléolithique Moyen dans le bassin de la Charente». Parmi les thèmes majeurs figurait la question de la mobilité humaine en relation avec les potentialités en ressources minérales. Parallèlement, un travail de thèse (Park 2007) était mené sur les systèmes de production lithique et la circulation des matières premières. Mener à bien ces projets imposait de reprendre des prospections afin de compléter les acquis antérieurs (Séronie-Vivien et Séronie-Vivien, 1987 ; Séronie-Vivien 1990 ; Fouéré, 1994).

Le bassin de la Charente dispose de ressources lithiques à la fois abondantes et contrastées. D'est en ouest, les disponibilités en silex sont très inégales puisque des secteurs riches en silex côtoient des zones totalement dénuées. Quatre grands types de formations géologiques sont susceptibles de renfermer des silex en place : le Jurassique inférieur (Lias), le Jurassique moyen (Dogger - Bajocien, Bathonien et Callovien), le Crétacé supérieur (Turonien, Coniacien, Santonien, Campanien), le Tertiaire (Eocène).

Les prospections devaient se combiner d'un important travail de laboratoire, consistant en une caractérisation pétrographique fine des échantillons recueillis. Dans ce contexte a été constituée une lithothèque régionale, alimentée au fil des prospections dans le bassin de la Charente. Entreposée au Musée d'Angoulême, elle est riche d'une vingtaine de portoirs d'échantillons. Des fiches descriptives assorties de clichés photographiques sont consultables à distance pour assurer une meilleure diffusion de l'information : *http://www.alienor.org/ARTICLES/lithotheque/index.htm*

1. Méthodologie

L'objectif de notre travail est de décrire, du point de vue des microfaciès, l'ensemble des échantillons de silex de la lithothèque d'Angoulême pour servir à la recherche préhistorique sur l'approvisionnement lithique du site de la Chaire-à-Calvin. Notre premier travail, que nous présentons ici, concerne l'approche à la loupe binoculaire des échantillons du Turonien et du Cénomanien. Grâce à cette approche, nous pouvons arriver à préciser la caractérisation micropaléontologique d'un certain nombre d'échantillons. Cette description est utile pour classer, associer et déduire les paléoenvironnements des échantillons.

Dans notre démarche, la description que nous proposons doit répondre à la fois à des éléments de caractérisation géologiques/géographiques et préhistoriques.

1.1. Description géologique

- Type de roche : Chaille, silex, opale, calcédoine, etc.
- Lithofaciès, si on l'observe : facies stratifié ou nodulaire.
- Composants non siliceux :
  - Matériaux encaissants.
  - Micropaléontologie (types et distribution).
  - Textures reliques.
  - Pseudomorphes.

- Composants pétrographiques siliceux : types et distribution.
- Porosité.
- Aspects dépositionnels, diagénétiques et post-diagénétiques (dolomitisation, patine, anhidrisation…).
- Classification (type de roche sédimentaire siliceuse et microfaciès).

1.2. Description géographique

Endroit de collecte : vestiges sur l'origine (primaire, formation géologique, secondaire proche, secondaire).

1.3. Description préhistorique

Approche sur l'approvisionnement (modalité, évaluation de l'abondance et qualité des ressources).

2. Applications et objectifs de la recherche

Le recours à la Paléoécologie et à des reconstitutions paléoenvironnementales avec microfossiles a pour objectifs d'aider à définir des variabilités qui puissent nous être utiles pour déterminer des différences géographiques et à terme les lieux potentiels de collecte, ainsi que les modalités de transport et de diffusion des matériaux siliceux.

Certains fossiles sont des marqueurs des conditions environnementales, d'autres servent comme éléments à nous montrer des contraintes du milieu ou écologiques, et ainsi dégager une certaine distribution des organismes. Grâce à l'étude des échantillons et l'identification des taxons et leurs associations (faciès) nous pouvons approcher les différents biofaciès de l'environnement : continental (palustre, lacustre) ou marin. La paléoécologie permet donc la reconstruction des paléoenvironnements sur la base du principe de l'actualisme paléontologique. Il faut signaler tout de même que la précision de telles reconstructions peut se voir diminuer avec l'âge du fossile.

Notre approche met en évidence que certains bioclastes sont plus abondants qualitativement dans l'échantillonnage turonien et cénomanien analysé des silex de la lithothèque de la Charente que d'autres, par leur ordre d'importance quantitative. On peut ainsi mentionner : foraminifères, bryozoaires, algues vertes, coquillages, spicules et échinodermes.

Les foraminifères sont des protozoaires apparus au Cambrien. Le test (parfois baptisé, à tort, coquille), comprenant une ou plusieurs chambres, est muni d'un ou plusieurs foramens (orifice). La composition de ce test (organique, agglutiné, carbonaté ou siliceux) et le nombre, la forme et l'arrangement des loges sont les principaux critères de classification des foraminifères. Ils ont un mode de vie benthique (sur et dans le sédiment) ou planctonique (dans la colonne d'eau, et particulièrement dans la zone photique). Leur taille varie généralement de 38 µm à 1 mm (certains peuvent faire plus de 10 cm).

Parmi eux, nous voulons signaler la présence des Macroforaminifères (orbitolinidés) caractérisés par des tests pluriloculaires de morphologie conique aplatie à base concave, populairement connus comme «chapeau chinois». Du Jurassique à l'Eocène (en particulier au Crétacé inférieur du Barrémien jusqu'au Cénomanien), ils ont une très grande valeur biochronostratigraphique car ils permettent de dater ces formations géologiques. Leur milieu sédimentaire correspond à celui des étages médiolittoraux ou infralittoraux des plateformes internes, à eaux chaudes et peu profondes. Du point de vue paléoécologique, leurs tests agglutinés, qui sont plus résistants aux variations de la masse d'eau et aux faibles taux d'O2, sont donc des indicateurs des propriétés dynamiques de l'environnement, en particulier des environnements du type lagon. Ils sont typiques des mers fermées ou semi-fermées de faible salinité. Ils sont très utiles pour la biostratigraphie du Crétacé inférieur et pour des reconstitutions paléoenvironnementales.

Parmi les microforaminifères nous pouvons signaler également les Miliolidés. Il s'agit de foraminifères pluriloculaires, caractérisés par des tests sans perforations, calcaires ou chitineux, porcelanés. Les morphologies simples ont reçu l'appellation de milioles ; par contre, les alvéolines sont des formes plus complexes. Leurs habitats sont benthiques, marins ou saumâtres. On peut les rencontrer du Carbonifère à l'actuel. La couleur du test fournit des informations : quand elle est plus transparente, elle signifie plus de sel dans l'environnement et quand elle est plus sombre, moins du sel. Les concentrations de miliolidés apparaissent typiquement dans des environnements hypersalins. Du point de vue paléoécologique, la plupart habitent des environnements peu profonds de la zone néritique (entre 7 et 150 m). Les porcelanés plus simples habitent des eaux peu profondes et agitées, avec des conditions hypersalines et associées aux algues et foraminifères agglutinés. Les porcelanés plus complexes habitent des environnements à eau hypersaline peu profonde. Ils ont une grande importance paléoécologie et biostratigraphique.

Les organismes bioconstructeurs observés sont les bryozoaires. Ils ont une certaine importance pour les faciès où d'autres organismes sont rares ou inexistants. Ils n'ont pas de signification stratigraphique, mais ils sont révélateurs de la zone de sédimentation le long d'une plate-forme. Du point de vue paléoécologique, il y a une relation claire et directe entre l'habitus de croissance coloniale (morphologie) et l'hydrodynamique de l'environnement sédimentaire où la colonie se développe : ainsi des morphologies massives et incrustées signifient des environnements turbulents et des morphologies ramifiées signifient plutôt des eaux calmes. Les sténohalins (présents dans tous les océans de salinité normale) habitent des environnements à bas taux de sédimentation et températures chaudes, comme des zones récifales. Dans le registre fossile, ils sont fréquents dans les roches calcaires de barrière et associés à des coraux, brachiopodes, échinodermes et coquilles.

Le troisième élément micropaléontologique en nombre est celui des algues vertes : dasycladales. Du point de vue paléoécologie, ces algues calcaires présentent un grand intérêt micropaléontologique, puisqu'elles sont un composant minoritaire par rapport aux autres éléments de la faune et de la flore marines. Elles forment des colonies sur le fond aréneux des premiers mètres de profondeur, dans des environnements de faible énergie et de salinité normale, comme les lacunes côtières (étage médiolittoral/infralittoral). Elles sont absentes des eaux froides. On a pu établir des biozonations locales pour le Mésozoïque.

Les coquillages ont des couvertures siliceuses ou calcaires d'origines diverses, par exemple : bivalves, ostracodes, brachiopodes. Les Bivalves appartiennent à des organismes marins ou d'eau douce, localisés dans les limites de la marée haute jusqu'aux fonds abyssaux. Leur accumulation peut avoir un intérêt d'étude plutôt du point de vue des conditions de dépôt. Nous n'avons pas identifié d'ostracodes au cours de l'observation à la loupe binoculaire. Nous les chercherons lors de l'étude des lames minces, car il n'est pas habituel de les identifier sauf s'ils sont présents de façon très abondante.

Le groupe zoologique des brachiopodes comprend des individus marins protégés par une coquille bivalve à symétrie bilatérale. Leur intérêt stratigraphique est faible dans le cadre de la caractérisation. Ils se rencontrent dans les faciès peu profonds, sur les plate-formes et le haut du talus continental dans les milieux infratidaux.

Les bioéléments structuraux minéralisés que nous avons repérés dans l'échantillonnage étudié sont les spicules. Elles peuvent avoir différents axes de croissance. On peut alors les classifier en : monaxones, triaxones, tetraxones, etc. Elles ont un véritable intérêt paléoécologique puisqu'elles sont de bons indicateurs bathymétriques, mais leur intérêt stratigraphique est faible. Les éponges hexactinellides sont adaptées aux eaux froides et profondes, par contre les calciéponges sont limitées aux eaux tropicales.

Les échinodermes sont des animaux marins au squelette formé de plaques de calcite monocristalline et présentant une symétrie axiale. Seuls deux groupes, les Echinidés (oursins)

et les Crinoïdés (lys de mer), se rencontrent abondamment dans les sédiments. Tous les échinodermes sont marins et colonisent toutes les profondeurs marines. Les débris des Crinoïdés se rencontrent fréquemment dans les silex marins et sont significatifs d'un milieu de plate-forme carbonatée. Leur état très fragmenté de conservation dans le silex ne permet pas de les utiliser comme indicateurs stratigraphiques. Leur répartition en profondeur est très étendue. Ils sont aujourd'hui cantonnés aux mers tropicales. D'autres éléments que nous avons retrouvés lors de notre approche à la loupe binoculaire sont : des bioturbations indéfinies ou d'annélides, et des vestiges végétaux.

3. Problématique

L'approche à la loupe binoculaire nous montre bien leur intérêt en préhistoire, partant de l'idée qu'une bonne description macroscopique à la loupe nous aide à discriminer un certain nombre d'éléments, qui ensuite nous conduisent à une bonne description et caractérisation paléoécologique des échantillons. Bien entendu, il ne faut pas croire que cette technique suffit toujours à une caractérisation précise des matières premières siliceuses en Préhistoire, puisque plusieurs problèmes peuvent être signalés. En premier lieu, l'existence de silicifications azoïques, c'est-à-dire sans aucun contenu micropaléontologique, empêche l'application de cette approche. En deuxième lieu, nous voulons signaler aussi le problème qu'on constate parfois à propos de l'absence d'homogénéisation terminologique, au sujet de concepts employés par les géologues et les préhistoriens. En troisième lieu, dans dans de nombreux cas, les bioclastes peuvent rester indéterminés, soit que l'identification n'est pas possible, soit qu'ils aient une faible valeur discriminante, s'ils sont déterminés.

4. Dans l'avenir proche

Dans notre démarche de recherche scientifique concernant l'étude des matières premières siliceuses du bassin de la Charente, l'étape suivante consiste à essayer de passer de la loupe au territoire, c'est-à-dire tenter d'établir une paléogéographie en partant des caractéristiques décrites des échantillons. Pour ce faire, nous allons approfondir notre approche microscopique avec l'élaboration d'un ensemble de lames minces des échantillons qui nous permettra ainsi d'aboutir à une collection descriptive du Cénomanien et du Turonien. L'étude de lames minces en microscopie optique polarisée, que nous allons mettre en œuvre par la suite, va nous permettre une analyse précise des textures et structures minéralogiques des échantillons, de façon à déterminer plus précisément le contexte géologique. La combinaison des résultats obtenus des deux niveaux précédents va s'ajouter à l'étude de caractérisation des silicifications utilisées dans les niveaux magdaléniens de la Chaire-à-Calvin. Le problème existant avec ces matériaux lithiques concerne la méconnaissance archéopétrologique de leur provenance et, par conséquent, l'ignorance des voies possibles d'approvisionnement en matières premières.

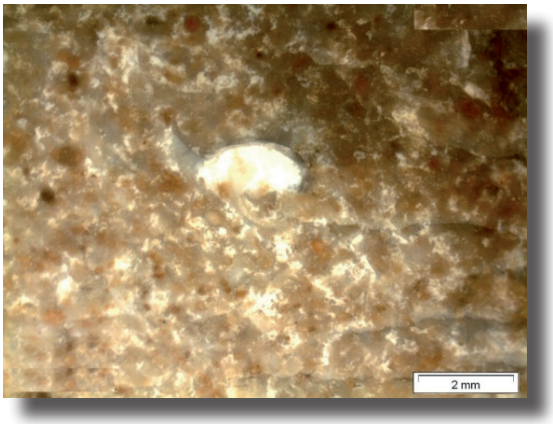


Photo 1 - Brachiopode 1,2x (Cénomanien inférieur), Cravans Gouterand.

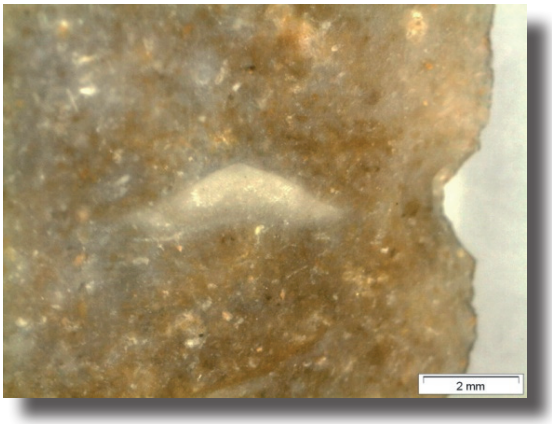


Photo 2 - Orbitolinidé 1,2x (Cénomanien inférieur), Saint Hilaire-de-Villefranche.

Photo 3 - Bioturbation 0,67x (Turonien moyen), Saint Vaize/Ancienne usine.

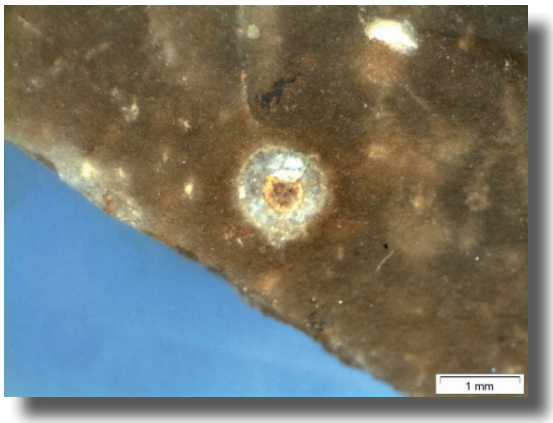


Photo 4 - Entroque de crinoïde 2x (Turonien supérieur), Mouthiers.

Photo 5 - Dasicladale 4,5x (Turonien moyen), Soute-La Cave.

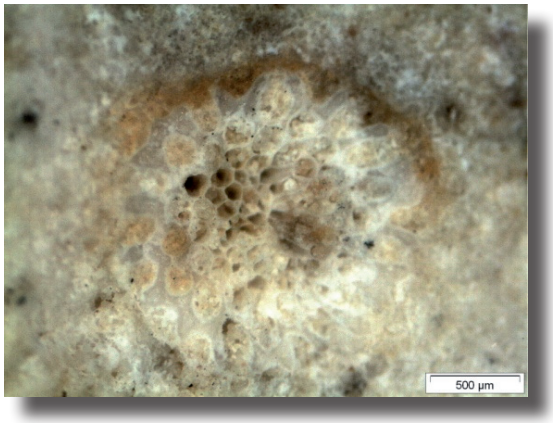


Photo 6 - Bryozoaire 4,5x (Turonien moyen), Venerand/Chez talvard.

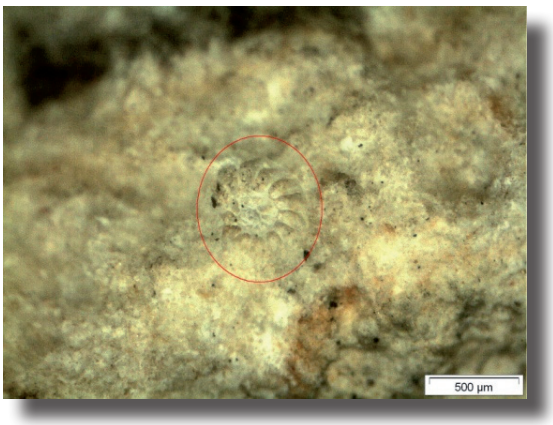


Photo 7 - Rotalidé simple 4.5x (Turonien moyen), Venerand/Chez Talvard.

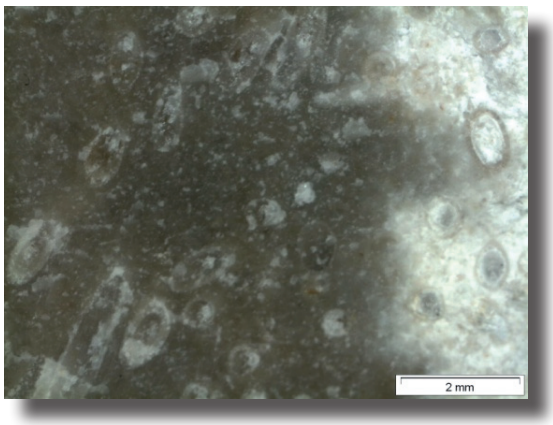
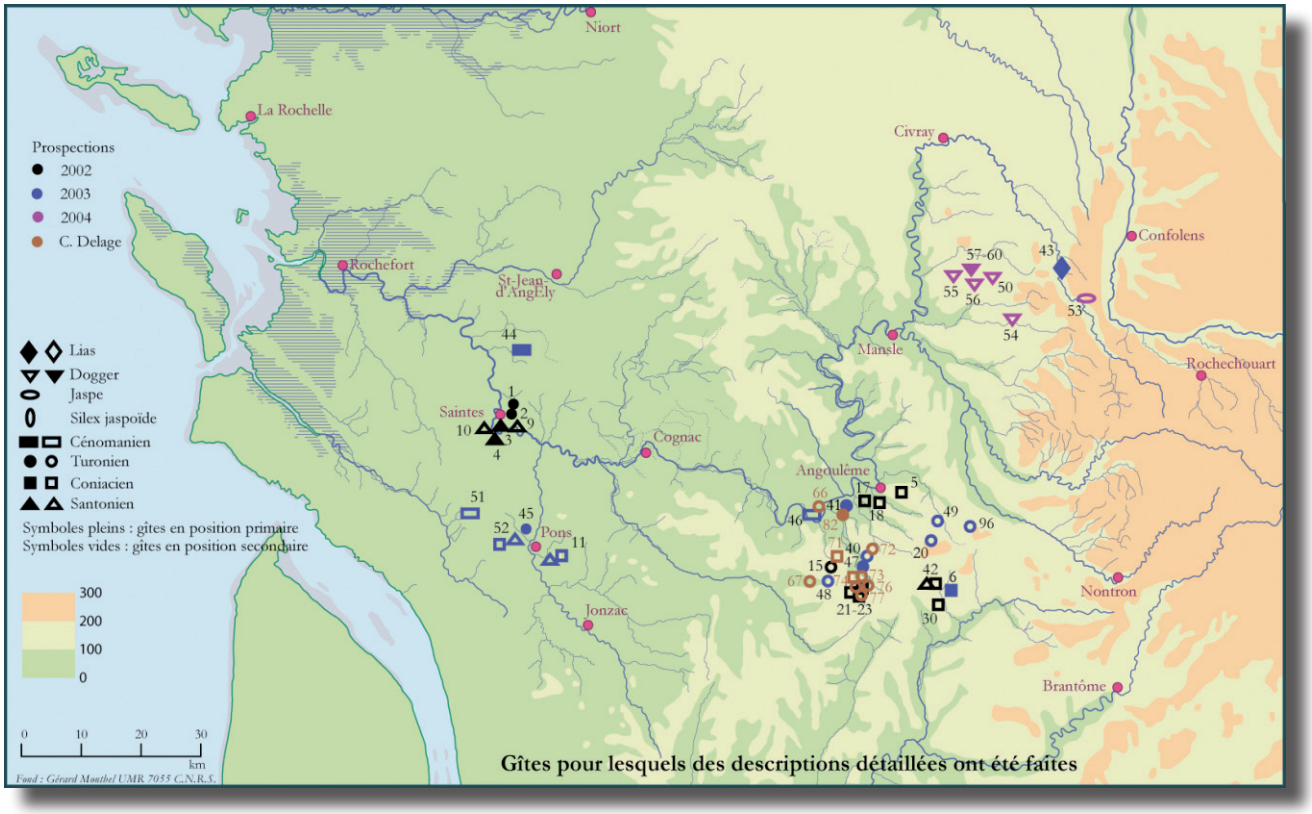


Photo 8 - Spicules 1,5x (Turonien moyen), Venerand/Chez talvard.



carte des gîtes de la région de la Charente

Photo 9 - Lithothèque régionale d'Angoulême (2010)

Photo 10 - Détail de l'un des portoirs de la lithothèque (2010)

BIBLIOGRAPHIE

CONARD N.J., DELAGNES A. (eds.) 2010 - *Settlement Dynamics of the Middle Paleolithic and Middle Stone Age*, V. III, Germany, 34 p.

DELAGE CH., SANTALLIER D., PLATEL N. 2006 - Rapport d'activiés du Projet de recherche : la Chaire-à-Calvin (Mouthiers-sur-Böeme, Charente), 94 p.

MOLINA E. (ed.) 2004 - *Micropaleontología, Prensas Universitarias de Zaragoza*, Zaragoza, 634 p.

RODRÍGUEZ-TOVAR F.J., MORGADO A., LOZANO J.A. 2010 - Using Ichnofossils to Characterize Chert Tools: A Preliminary Study from Southern Iberia, *Geoarchaeology: An International Journal,* V. 25, n. 4, p 514–526.

Méthode de travail pour la documentation des affleurements de roches siliceuses en Catalogne (le projet LITOCAT)

David Ortega, Xavier Terradas
Consell Superior d'Investigacions Científiques - Institució Milà i Fontanals
C/ Egipcíaques 18. E-08001 BARCELONA

Introduction

Le projet LitoCAT vise à la création une litothèque des roches siliceuses qui accueille des échantillons documentés de toutes les formations géologiques de la Catalogne qui puisse en contenir. L'objet est de créer une collection de référence utile pour l'ensemble des recherches de la communauté scientifique travaillant dans la région.

Le projet a commencé en 2009 grâce à l'Institució Milà i Fontanals (CSIC, Barcelona), laquelle fournit le personnel, l'équipement et les espaces pour abriter les collections, et a le soutien financier du gouvernement régional de la Catalogne.

1. Cadre territorial

Le champ d'application de ce projet couvre l'ensemble du territoire de la Catalogne, (32.000 km^2 de surface). Du point de vu géologique, il présente une remarquable diversité et une histoire complexe (figure 1). Sur ce territoire, nous avons différenciez plusieurs ensembles géographiques : a) les **Pyrénées**, au nord, b) le **bassin de l'Èbre**, lequel occupe une large bande de la Catalogne centrale, et c) les **Catalànides**, tout au long de la zone côtière méditerranéenne. Dans ces trois domaines on trouve des roches siliceuses d'âge, genèse et caractéristiques pétrographiques très divers.

Nous avons à ce jour recensé un grand nombre de types et leurs gîtes correspondants. Mais nous ne possédons pas encore une connaissance précise de la diversité des matériaux. De vastes zones restent complètement inconnues.

2. Stratégie de travail

Se proposer de réunir une collection d'échantillons de silex d'une région aussi vaste et diversifié que la Catalogne impose la mise en place d'une stratégie. Celle-ci est décrite dans le schéma *workflow* ci-joint (figure 2). Les principales étapes du travail sont les suivantes :

- Recherche bibliographique et documentaire.
- Traitement de l'information.
- Prospections, documentation des gîtes à silex et acquisition des échantillons.

2.1. Recherche documentaire

La première étape est de consulter une grande variété de sources spécialisées, cartographiques et documentaires, en vue de rechercher et de trier toutes les références concernant la présence de silex dans la région. Ce travail nous a permis de faire trois listes : des unités géologiques dans lesquelles est attestée la présence de silex, des types de silex qui s'y trouvent et des zones sans silex.

2.2. Traitement de l'information

Dans la deuxième étape les informations obtenues son classées et ordonnées pour les stocker

ensuite dans une base de données qui garantit de maintenir leurs relations, par exemple, de chaque type de silex avec l'unité géologique à laquelle il appartient- et de faire la requête et l'entretien de façon efficace. À ce stade, les informations qui ont une dimension géographique sont traitées différemment du reste.

Les gîtes à silex sont géo-référencées, avec une paire de coordonnées et un attribut. On stocke ces informations dans une base de données spatiales, sous forme d'entités polygonales délimitent les formations à silex. Tous ces renseignements sont consultables et actualisées à l'aide de logiciel SIG.

2.3. Prospections et documentation des gîtes à silex

La dernière étape du protocole correspond aux prospections visant à localiser et documenter les endroits dans lesquels on a des silex. Celles-ci concernent dans un premier temps les gîtes en position primaire, qui sont mieux documentés dans la littérature géologique. Ce choix comporte deux avantages. Il garantit un prélèvement d'échantillons représentatifs de chaque formation et contourne de cette façon les erreurs d'identification qui pourraient découler d'une récolte dans des dépôts en position secondaire. En fait cette démarche permet de prélever des échantillons reliés à des informations géologiques contextuelles qui sont reconnues et publiées.

3. Le formulaire d'enregistrement des affleurements

Dans le cadre du projet on a préparé aussi une fiche qui sert à enregistrer systématiquement les données les plus pertinentes des gîtes à silex échantillonnées. Nous avons choisi l'utilisation d'un formulaire dynamique digital. Cet outil facilite la démarche de caractérisation des silex, s'adapte à leur variabilité et enfin, permet d'automatiser le traitement des données.

Choisir d'utiliser un formulaire de ce genre force a concevoir très soigneusement le design, en débutant par l'analyse minutieuse des besoins (les *requirements*) pour définir précisément les informations dont ils trouveront une place.

Le formulaire a été conçu pour pouvoir informer, en gardant la structure et les relations, à propos de toutes les données que sont d'habitude rapportées dans les colonnes stratigraphiques que les géologues utilisent pour décrire un gîte. En outre, il devrait être en mesure de mettre des données sur l'identification, la localisation, l'accès et le contexte géologique et géographique de chaque affleurement.

Le schéma UML ci-joint (figure 3) décrit la structure logique sous-jacente du formulaire. Il identifie les principales entités, qui devraient être enregistrées et leurs relations. Celles-ci déterminent en même temps la hiérarchie et le nombre de répétitions qui sera autorisé. Malgré son apparente simplicité le schéma exprime une logique tout à fait robuste et compatible (ça c'est très important aussi) avec les principes généraux de la stratigraphie concernés.

Le formulaire englobe des domaines qui doivent être renseignés dans trois rubriques.

Dans le premier sont inclues toutes les informations relatives à l'identification et la localisation des affleurements, dans le seconde, ceux permettent de décrire la série stratigraphique et de concrétion siliceuses (le cas échéant), et dans le troisième ceux qui sont prévues pour enregistrer les photographies, les échantillons et quelques métadonnées du formulaire.

XML

Le formulaire met en ouvre des fonctions qui nous permettent de générer une exportation des données en langage XML (fig. 4). Ce langage, qui fut conçu pour décrire, stocker et échanger des données structurées, est devenu rapidement le standard international de l'interopérabilité pour l'échange des informations entre les systèmes numériques.

Son utilisation permet de séparer la présentation formelle du formulaire du contenu, qui est stocké dans un fichier plat en gardant sa structure et les marques qui identifient des données. Un tel fichier ne contient que du texte, qui est parfaitement intelligible par toutes les personnes. On peut alors, à l'aide d'un simple logiciel de traitement de texte, accéder à leur contenu, le copier et l'envoyer très facilement par n'importe quel moyen électronique.
Les utilisateurs peuvent aussi facilement récupérer les informations sur l'utilisation de tout outil logiciel qui implémente le support de XML.

4. Résultats préliminaires

Le projet se poursuit encore aujourd'hui. Parmi les résultats les plus importants obtenus sont les suivantes :

- Un **fichier bibliographique** contenant plus de 400 références relatives à la géologie régionale de la Catalogne et les types de silex qui s'y trouvent.
- Un **fichier SIG** contenant l'emplacement de plus de 340 endroits de la Catalogne et des régions voisines dans lesquelles la littérature spécialisée signale la présence de roches siliceuses.
- Une **base de données relationnelle** qui a enregistré plus de 400 affleurements, environ 100 types différents de silex et un nombre presque équivalent d'unités géologiques en Catalogne et des régions voisines qui en contiennent.

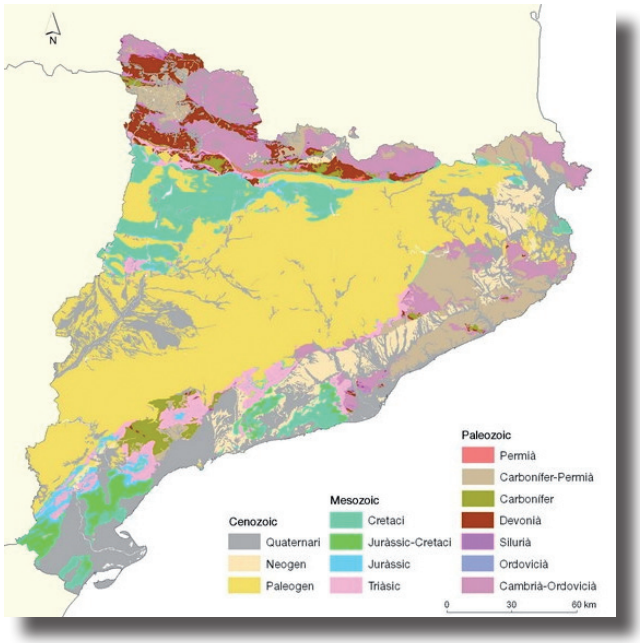


Figure 1 - Carte géologique de la Catalogne (source ICC).

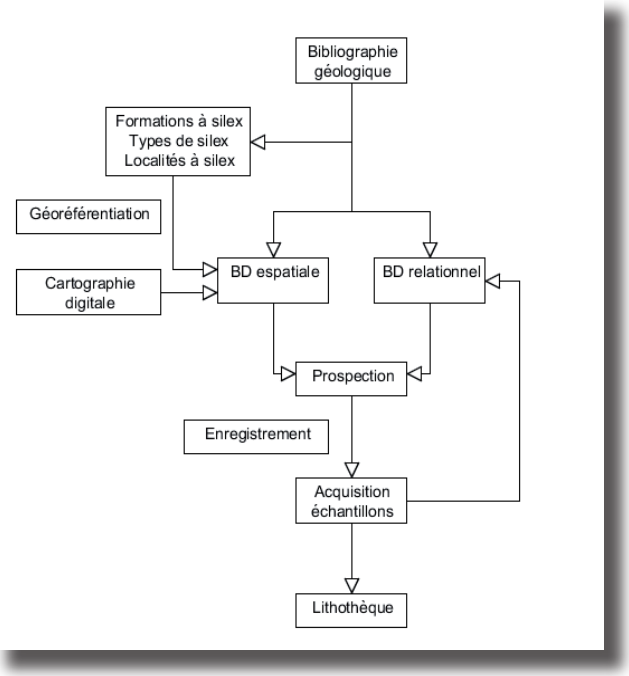


Figure 2 - Schéma workflow du projet.

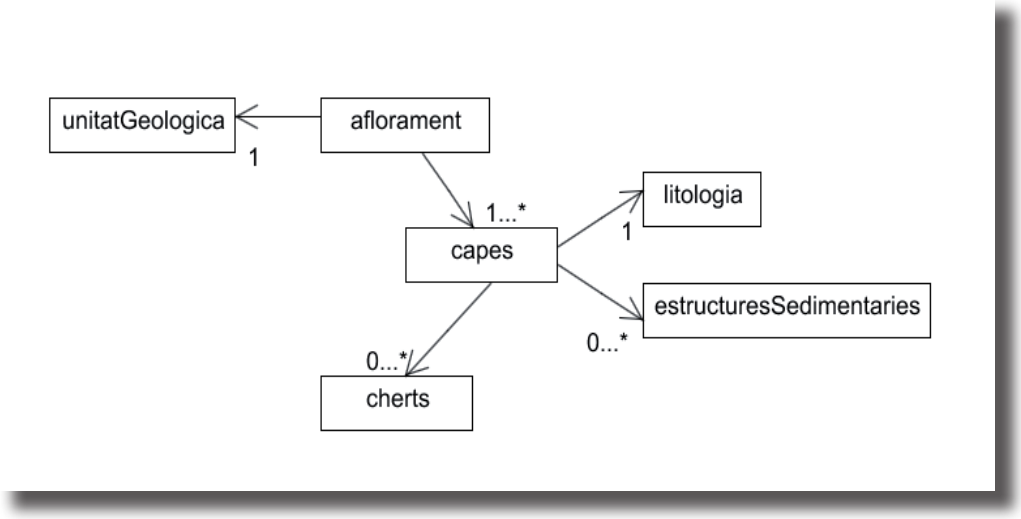


Figure 3 - *Schéma UML qui exprime la logique du formulaire.*


```
<unitatGeologica>
        <tipusUnitat>Litoestratigràfica</tipusUnitat>
        <rangUnitat>Formació</rangUnitat>
        <nomUnitat>Guixos de Clariana</nomUnitat>
</unitatGeologica>
<tipusAflorament>Posició primària</tipusAflorament>
<modalitatExposicio>Artificial</modalitatExposicio>
<descripcioEntorn>Aflorament exposat al talús de la carretera durant els treballs de la seva construcció.</descripcioEntorn>
<capes>
        <idCapa>1</idCapa>
        <geometriaCapa>Tabular</geometriaCapa>
        <litologiaCapa>Gres</litologiaCapa>
        <colorCapa>Vermell</colorCapa>
        <consolidacioCapa>Molt compactes</consolidacioCapa>
        <gruixCapa>0,6</gruixCapa>
</capes>
<capes>
        <idCapa>2</idCapa>
        <geometriaCapa>Tabular</geometriaCapa>
        <litologiaCapa>Guixos secundaris</litologiaCapa>
        <colorCapa>Blanc</colorCapa>
        <consolidacioCapa>Compactes</consolidacioCapa>
        <gruixCapa>1.7</gruixCapa>
        <estructuresSedimentaries>
                <idEstructura>1</idEstructura>
                <tipusEstructura>Meganòduls alabastrins</tipusEstructura>
                <descripcioEstructura/>
        </estructuresSedimentaries>
        <silex>
                <idSilex>1</idSilex>
                <tipusSilex>Nodular</tipusSilex>
                <diametreSilex>0.25</diametreSilex>
                <profunditatSilex>1.3</profunditatSilex>
                <observacionsSilex>Trencats in situ pel creixement posterior dels meganòduls de guix.</observacionsSilex>
        </silex>
</capes>
<capes>
        <idCapa>3</idCapa>
        <geometriaCapa>Tabular</geometriaCapa>
        <litologiaCapa>Argiles</litologiaCapa>
        <colorCapa>Vermell</colorCapa>
        <consolidacioCapa>Friables</consolidacioCapa>
        <gruixCapa>1.3</gruixCapa>
        <estructuresSedimentaries>
                <idEstructura>1</idEstructura>
                <tipusEstructura>Nòduls de gruix</tipusEstructura>
                <descripcioEstructura/>
        </estructuresSedimentaries>
</capes>
```


Figure 4 - *Code XML produit de l'exportation des données du formulaire*

Retour à la source des silex altérés, questions et réponses sur l'altération des silex.

Maria-Dolores Garcia-Anton Trassierra
Universitat Pùblica de Tarragona.

Pendant les années 70 et 80 les chercheurs ont commencé à s'intéresser à l'altération des silex. Les premières approches pendant les années soixante traitent surtout du problème de la patine. Mais les chercheurs qui traitent cette problématique parlent aussi de l'évolution centripète de la patine vers l'intérieur du silex.

Il est important de rappeller les études d'Annie Masson, Jean-Pierre Téxier, Vilas Boas et Marie-Pierre Aubry. Ils donnent une importance surtout à des facteurs comme la porosité du silex, la circulation des eaux souterraines, le pH ou la température du sol (voir tableau 1).

Parmi ces études, il est important de signaler les analyses des silex altérés réalisées par A. Masson au cours de l'élaboration de sa thèse doctorale, sur les silex d'Orgnac III et sur un type de meulière de Baume-Vallée. Il est intéressant de voir qu'elle décrit l'existence d'une coque ou carapace siliceuse qui protège le silex altéré sur seulement un de ces cas. Et surtout voir comment elle a pu réaliser des lames minces sur le silex altéré (voire tableau 2).

Dans de nombreux sites archéologiques on trouve l'altération du silex à divers degrés. Ce sont plusieurs sites nommés dans la bibliographie ou connus par moi (voir tableau 3). Leur nombre élevé montre le besoin évident d'aborder la problématique de l'altération dans les études des matières premières.

L'altération peut se décrire selon l'intensité des trois caractères suivants sans besoin de décrire les processus à l'origine de cette altération (voir figure 1) :

- Le premier caractère, c'est la patine blanche ou altération chimique de la surface.
- L'évolution de cette patine de type centripète vers l'intérieur du silex nous renseigne sur la présence d'une carapace décrit comme coque par Masson et Texier, et nommée ici épithélium. C'est un type de membrane qui résulte de l'altération sur certains types de silex.
- Le dernier caractère, c'est l'altération totale du silex qui nous laisse une roche avec une texture friable ou poudreuse dans tout le silex, et qui nous fais parler d'un silex cacholong ou nécrosé.

La présence de patine blanche dans la plupart des cas est utilisée comme un caractère pour éliminer un pourcentage important de pièces archéologiques des études de matières premières. Mais nous devons réfléchir s'il faut vraiment supprimer toutes ces pièces de nos études.

D'une part, il est évident que les fossiles ne disparaissent pas du silex après l'acquisition de l'altération chimique. Sinon que seule change leur proportion visible. D'autre part, la texture superficielle des silex avec épithélium permet l'identification de quelques structures ou morphologies discriminantes. La présence des oxydes de fer ou manganèse, et en quelque cas la présence de sels, est aussi visible après l'altération.

Nous pouvons nous demander aussi, si il est possible d'utiliser les mêmes types d'analyses parmi les silex frais et les archéologiques altérés pour réaliser une comparaison. Il est évident que l'observation macroscopique avec l'aide d'une binoculaire est utile. Mes observations montrent que la réalisation des lames minces est conseillée sur des silex altérés. L'utilisation du MEB est aussi possible et permet de voir l'évolution de la surface qui, malgré son atération, conserve encore une structure similaire à celle du silex géologique. Pour la minéralogie, la diffraction des

rayons X permet l'analyse de tout type de matériaux, comme d'autres modes analytiques : géochimies ou de la spectroscopie infrarouge.

Dans le cas d'Atapuerca l'altération des silex est très fréquente dans tous les sites archéologiques. Parmi tout le matériel lithique récupéré dans les trois sites analysés, le silex représente une proportion de 69,7%. Parmi les silex, 81,2% présentent divers degrés d'altération. Il y a 3 types de silex dans les sites de la tranchée d'Atapuerca :

- **Le nommé Chert de Juarros** qui appartient au Miocène.

Et deux autres types qui appartiennent au Crétacé supérieur et à l'étage Turonien-Santonien que l'on appelle :

- **Silex de Valdecuende**.
- Et **silex de la Rasa** de San Vicente.

Dans le niveau crétacé du sommet de la Sierra de Atapuerca se trouvent deux affleurements siliceux avec des caractères différenciables. Le premier est le silex de Valdecuende, le deuxième celui de la Rasa de San Vicente. Le silex de la Rasa de San Vicente se présente en rognons d'environ 20 cm, mais leur texture n'est pas la meilleure pour la taille. Son réseau poreux est bien développé, et il est facile faire le rapport avec le silex archéologique seulement avec la loupe binoculaire. Leur minéralogie par DRX nous donne seulement du quartz, mais avec le microscope pétrographique nous observons une texture avec de la microcalcédoine, quartzine et microquartz en puzzle et mosaïque. C'est un silex avec une texture sédimentaire de type wackestone et prédominance de fossiles de spicules et bryozoaires. Dans ce type de silex l'altération peut arriver à la nécrose ou altération totale.

Le type de silex de Valdecuende est moins grossier que celui de la Rasa, avec des morphologies de petites rognons de moins de 10 cm. Son réseau poreux est fin et le contenu d'éléments figurés est plus bas. Par DRX leur minéralogie est égale au type de RSV, mais leur observation au microscope nous montre seulement de la microcalcédoine et microquartz en puzzle. Leur texture sédimentaire est de type mudstone avec prédominance de spicules et foraminifères. L'altération dans ce cas seulement provoque un changement de couleur, et dans des cas ponctuels un blanchissement interne de la silice.

Le silex du Néogène se trouve sous forme de grosses dalles d'environ un mètre, ou sous forme de blocs en position sub-primaire générés par gélifraction. Il contient un réseau poreux très développé et une texture saccharoïde. A la loupe binoculaire on peut reconnaître des petites lenticules de gypse épigénétique qui permettent leur comparaison au matériel archéologique. Ce silex est une silcréte pédologique constituée de quartz, moganite et calcite, selon la minéralogie par DRX. C'est un silex azoïque qui contient des éléments figurés comme des oxydes de fer fluides ou des grains de quartz détritiques. Ce type de silex est le plus récupéré dans les sites archéologiques mais aussi le plus altéré. Il arrive à un état d'altération totale dans presque tous les cas. Au MEB, on peut observer clairement les caractéristiques de la silice fibreuse qui apparaissent après l'altération, et aussi l'épithélium qui présente une texture plus compacte. Leur intérieur est plein de sphérules de quartz visibles en surface et à l'intérieur, soudé avec un amas grumeleux et poreux. Dans le cas d'échantillons géologiques frais, on peut voir des cristaux de quartz, microquartz ou microcalcédonite en feutrage avec des macroquartz.

Le silex du Crétacé présente des concentrations de mégaquartz dans un amas grumeleux plus fin de quartz, et aussi des petites microgéodes de mégaquartz. Et leur rapport est facile avec les silex archéologiques.

Mais quelles variables sont les plus importantes pour le développement de l'altération ? D'un coté, le milieu dépositionel du matériel archéologique a une influence évidente. Milieu, qui dans nos cas est karstique. Ensuite, il est important d'observer la nature des silex et enfin on pourra essayer de faire une corrélation entre la nature des silex et leur type d'altération observable (voir figure 2).

Il est donc nécessaire de nous questionner sur l'altération du matériel archéologique :

- Est-il possible d'observer des types d'altération entre différents silex ?

- Est-ce que les types d'altération similaires existent seulement parmi les silex ayant les mêmes caractères ?

- Est-ce que la minéralogie originelle des silex joue un rôle important pour le résultat du type d'altération ?

- Ou bien, existe-il d'autres caractères de la roche qui jouent un rôle plus important ?

Réellement le sujet de l'altération est une question ouverte, sur laquelle on doit encore travailler. Il est important connaître leur fonctionnement pour arriver à caractériser les affleurements originels des silex altérés. Cela nous permettra aussi de faire des observations taphonomiques sur les processus d'altération qui sont favorisé par certains milieux géochimiques.

	Masson (1981)	Texier (1981)	Vilas Boas (1975)	Schalmz (1960)	Stapert (1976)	Aubry et al. (1975)	Hurst & Kelly (1961)
Sur la patine	Blanchiment qui atteint le silex et se développe en épaisseur de manière centripète						
	X	-	X	X	X	-	X
Altération totale	Silex d'aspect poudreux au cœur et avec (ou pas) une coque résistante de 0,5 mm						
	X	X	X	-	-	X	-
Facteurs du développement de l'altération	Dissolution et néogenèse siliceuse	Altération chimique lessivage	Minéralogie et formes de la silice	Perméabilité du sol	Homogénéité des silex	Minéralogie et formes de la silice	-
	Porosité des silex	Porosité des silex		Volume/ratio des eaux souterraines			
	Volume/ratio des eaux souterraines	Volume/ratio des eaux souterraines		Ph du sol			
	Ph du sol	Température		Température			
	Hygrométrie	-		Sels alcalins			
	Température	-		-			

Tableau 1 - Résumé des recherches les plus connues réalisées sur l'altération du silex ou sur leur patine.

Masson (1981) : Pétroarchéologie des roches siliceuses. Intérêt en Préhistoire. Thèse Doctoral.	Silex Oligocène Orgnac	Meulière Oligocène Baume-Vallée
Présence de coque	X	-
Lame mince échantillon géologique	Amas de calcédoine et quartz, avec des abondants gastéropodes	Calcédoine et une masse opaque d'argile ou opale. Avec tiges, ostracodes
Lame mince échantillon archéologique	Masse d'opale et argiles? Avec un amas de calcédoine, et aussi calcédoine dans les restes de gastéropodes	-
Fossiles	Coquilles silicifiés non dissoutes	-
M.E.B	Lepisphères de feutrage fibreux et Aspect grumeleux	Surface d'aspect normale, sans aucune forme sphérique ou globuleuse
DRX	-	* Présence de Tridimite au silex altérés

Tableau 2 - Résumé des résultats présentés sur l'altération dans les analyses d'A. Masson.

Époque	Gisements Archéologique	Localisation	Milieu Dépositionel
Pléistocène Supérieur finale	**Abri Martin**	**Alpes- Maritimes (France)**	Karstique
Pléistocène Supérieur	**Tabun**	**Mont-Carmel (Israel)**	Karstique
Pléistocène Supérieur	**Gruta Oliveira (Cône mousterien)**	**Torres Novas, Serra d'Almonda (Portugale)**	Karstique
Pléistocène Supérieur	**Abrí Pié Lombard**	**Tourettes-Sur-Alpe, Alpes maritimes (France)**	Karstique
Pléistocène Moyen finale	**Micoque, couche N**	**Eyzies de Tayac, Dordogne (France)**	Karstique
Pléistocène Moyen finale	**Combe Grenal**	**Dordogne, (France)**	Karstique
Pléistocène Moyen finale	**EVS Almonda**	**Torres Novas, Serra d'Almonda (Portugale)**	Karstique
Pléistocène Moyen finale	**Baume Bonne**	**Alpes-de-Haute-Provence, (France)**	Karstique
Pléistocène Moyen	**Baume -Vallée**	**Soulignac-sur-Loire, Haute-Loire (France)**	
Pléistocène Moyen	**Orgnac III**	**Ardeche, (France)**	
Pléistocène Moyen	**Caune Arago**	**Rosselló, (France)**	Karstique
Pléistocène Moyen	**Coudoulous II**	**Cabrerets, Quercy (France)**	Karstique
Pléistocène Moyen	**Complexe Galería**	**Sierra de Atapuerca, Burgos (Espagne)**	Karstique
Pléistocène Moyen - Inferieur	**Gran Dolina et Sima del Elefante**	**Sierra de Atapuerca, Burgos (Espagne)**	Karstique

Tableau 3 - Gisements archéologiques avec présence d'industrie lithique en silex altéré.

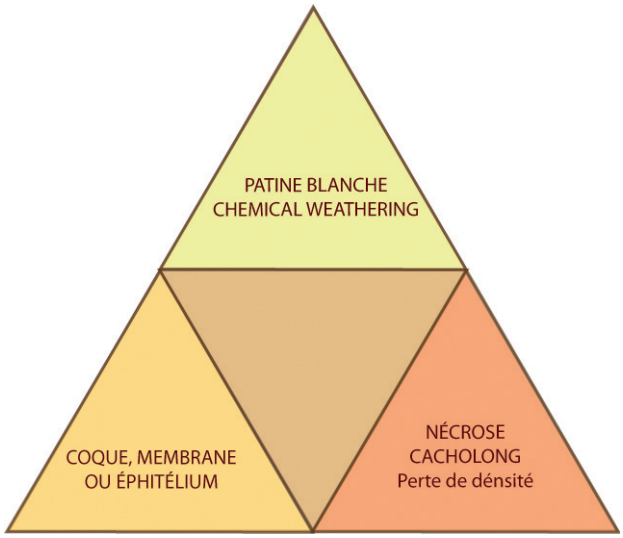


Figure 1 - Caractères descriptifs des degrés d'altération des silex.

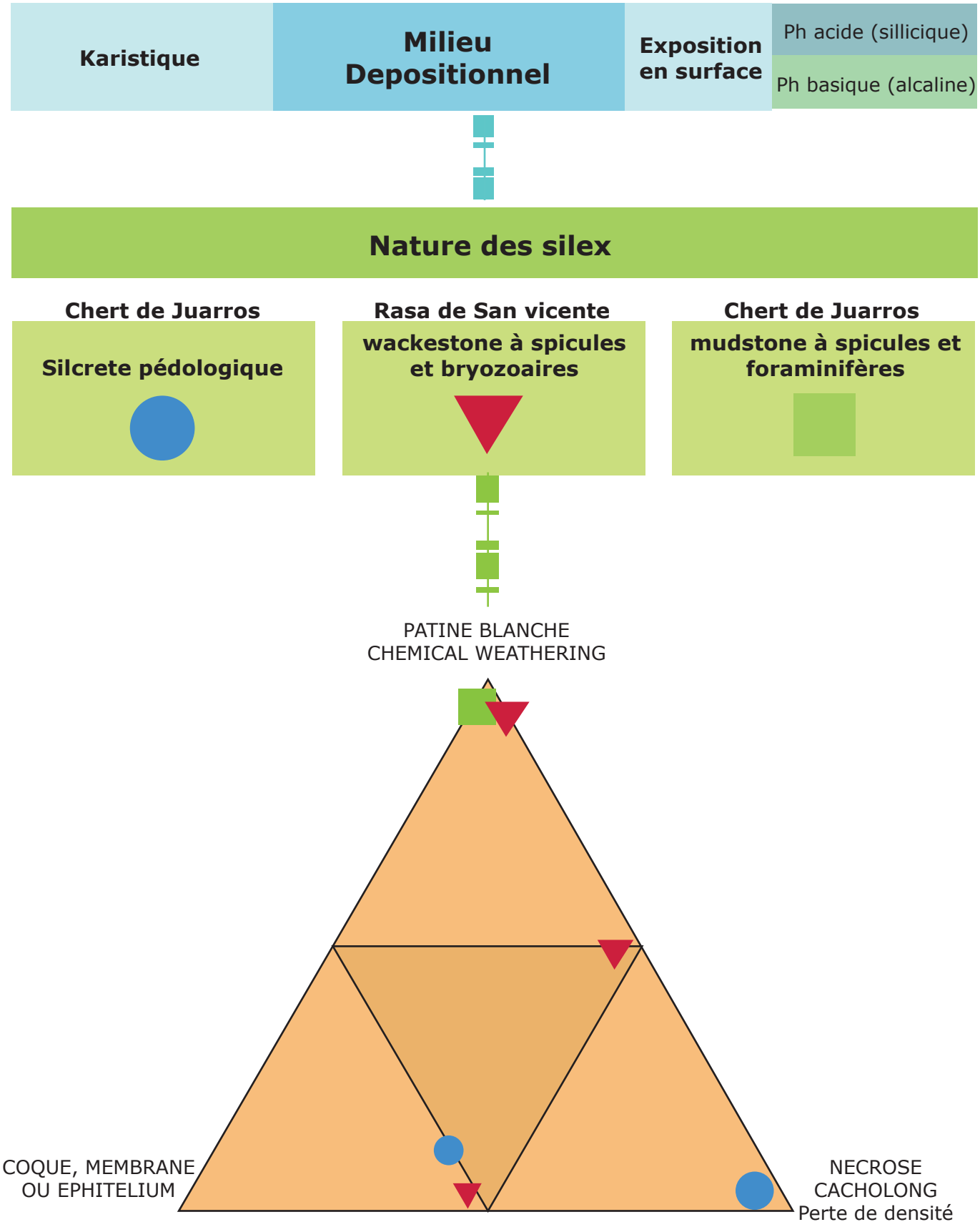


Figure 2 - Hypothèse sur les variables qui favorisent le développement de l'altération et résultats observés dans les types de silex archéologiques de la Sierra de Atapuerca.

Hétérogénéité des données lithologiques et nécessité d'une méthodologie d'harmonisation : le cas du PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes

Christophe Tufféry
Ingénieur de recherche, INRAP, Chargé de mission
Acquisition de données archéologiques descriptives, INRAP
Direction Scientifique et Technique Service Méthodes et Qualité
7 rue de Madrid - 75008 PARIS - christophe.tuffery@inrap.fr

Introduction

Le constat de l'hétérogénéité des données lithologiques mobilisées dans le cadre d'un Programme Commun de Recherche (PCR) comme celui du Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes, impose d'identifier les problèmes des sources et des modalités de caractérisation des vestiges archéologiques et matériaux lithiques de référence. Cet article vise, d'une part, à présenter les problèmes méthodologiques qui se posent lors du croisement de données pétroarchéologiques d'origines et de nature très variées. D'autre part, il propose des pistes de réflexion et des cadres méthodologiques incontournables si les divers membres du PCR souhaitent tendre vers un croisement, une comparaison et un enrichissement mutuel de leurs diverses ressources documentaires et leurs systèmes respectifs d'enregistrement de données lithologiques et pétroarchéologiques. Les enjeux sont considérables, aux diverses échelles de recueil, d'analyse, de traitement, d'échange et de restitution de ces données. Mais ces enjeux imposent d'avoir conscience des conditions et difficultés pour parvenir à une harmonisation des méthodes et des outils, qui ne signifie pas l'homogénéisation de celles-ci mais une mise en compatibilité des systèmes et des méthodes, regroupée ici sous le terme générique d'interopérabilité, qui concerne tant les corpus descriptifs minimums que le formalisme informatique mobilisé.

1. L'enregistrement des données pétroarchéologiques et les problèmes de la gestion de l'incertitude

1.1. Les systèmes d'enregistrement des données archéologiques : l'histoire d'une évolution problématique

L'évolution des dispositifs techniques adaptés, utilisés ou développés spécifiquement pour les opérations et études archéologiques et l'exploitation de leurs résultats est d'abord l'histoire d'une très forte hétérogénéité des pratiques, des outils et des méthodes développés et utilisés. Ce constat peut s'appliquer à l'ensemble de la communauté archéologique française, voire au-delà des frontières, depuis près de quarante ans. Il s'inscrit dans un cadre général d'un changement profond des pratiques, des méthodes et des outils mobilisés par les archéologues depuis plusieurs décennies en particulier pour l'enregistrement et à l'analyse des données archéologiques où l'informatique a pris une place sans cesse croissante (CHAILLOU, 2003, DJINDJIAN F., 1986, DJINDJIAN F., 1991, DEMOULE J-P, GILIGNY F., LEHOERFF A., SCHNAPP A., 2009).

La multiplicité des logiciels et des applications développées pour l'enregistrement des données archéologiques s'est doublée d'une hétérogénéité des matériels et systèmes mis en œuvre, qui rend souvent difficile voire impossible toute réutilisation des données. Partant de ce constat déjà ancien, il convient de s'interroger, dans le cadre d'un programme commun de recherche comme celui du Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes, sur la qualité et la pertinence des échanges de données pétroarchéologiques, produites, définies, caractérisées et enregistrées pour des problématiques de recherche scientifique et des échelles géographiques très différentes. Les croisements de données pétroarchéologiques que les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) appliquées à l'archéologie, de plus en plus mobilisés, donnent l'impression de rendre

valables scientifiquement parce que faciles technologiquement, sous-évaluent les problèmes de perte de qualité des données et surtout de propagation de l'incertitude des données. Le risque est grand ici de confondre moyen et finalité, ou encore de surévaluer facilité de manipulation en sous-évaluant exigences méthodologiques et qualitatives.

Or l'échelle des données est essentielle dans la gamme d'échelle de validité des analyses réalisées à partir de ces données pour :

- la description des phénomènes étudiés ;
- la sélection des données adaptées aux besoins d'analyse ;
- les interprétations en termes de localisation originelle et déplacements des échantillons géologiques et des pièces archéologiques lithiques ;
- la structuration des systèmes d'information traitant ces données.

Les risques sont donc importants de laisser croire que des outils comme les SIG à eux seuls peuvent permettre d'aider au raisonnement archéologique, en l'occurrence appliquée à la pétroarchéologie, voire à s'y substituer (DEMOULE J-P, GILIGNY F., LEHOERFF A., SCHNAPP A., 2009), sans qu'aucun travail ne soit effectué en amont sur la description et le contrôle de la qualité des données.

Il a été déjà démontré que la propagation de l'incertitude des données géoréférencées croit à chacune des étapes du processus de modélisation, de production, d'analyse et restitution de ces données (LONGLEY P. A., GOOLDCHILD M., MAGUIRE D., RHIND D. W. 2005).

A noter que la gestion de l'incertitude des données géoréférencées fait actuellement l'objet de travaux de divers Groupement de Recherches (GdR MAGIS, GdR MODYS) visant notamment à décrire et à modéliser cette incertitude (GIRRES J.-F., RUAS A., 2009). En guise de piste de recherche et de solution, d'autres travaux, appliqués à l'archéologie, proposent des pistes alternatives à la logique booléenne classique (De RUNZ C., DESJARDIN E., PIANTONI B., HERBINA B., 2007, De RUNZ C., DESJARDIN E. 2010). Dans ce contexte, il convient de faire œuvre de prudence et de rigueur méthodologique dans l'exploitation des données géoréférencées insuffisamment qualifiées. Le cas de nos travaux sur les données du PCR ont été l'occasion d'illustrer certains de ces problèmes de qualité des données pétroarchéologiques, en particulier lors de leur exploitation avec un SIG.

1.2. Les problèmes spécifiques de qualité des données pétroarchéologiques du PCR rencontrés lors de leur exploitation à l'aide d'un SIG

A titre d'exemple, nous avons été confrontés très concrètement à une qualité très hétérogène des données archéologiques, pétroarchéologiques et géologiques utilisées pour les travaux du PCR. Les données étaient d'échelle de production et donc d'utilisation possible très différentes. Il en fut de même pour les systèmes hétérogènes de coordonnées géographiques et de projection cartographique de ces données (coordonnées géographiques longitude, latitude, coordonnées dans les systèmes de projection Lambert zones, Lambert 2 étendu et Lambert 93). Un travail de mise en conformité géographique et de projection voire reprojection dans un système unique a été nécessaire. Mais il n'a été entrepris qu'après avoir constaté que certaines des données n'étaient pas dans le système de coordonnées ou de projection dans lesquels leur producteur nous avaient affirmé nous les livrer. Sans un travail de contrôle des données, les résultats qui auraient été tirées de leur mise en relation par le logiciel de SIG auraient pu être faussés de façon importante mais pas forcément visible d'emblée.

Les principaux problèmes rencontrés, sur les données lithologiques et pétroarchéologiques mobilisées ou produites dans le cas du PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes et exploitées à l'aide d'un SIG, ont été les suivantes :

- incomplétude : ex. des enregistrements et des champs attributaires ;
- imprécision : ex. de la localisation géographique et des données sémantiques;
- incertitude : ex. de(s) l'auteur(s) des données ;

- hétérogénéité : ex. des systèmes de géoréférencement (coordonnées géographiques versus coordonnées cartographiques) et des types de projection cartographique (Lambert zones, Lambert 2 étendu, Lambert 93, etc.) ;
- inadéquation : ex. des données aux objectifs de recherche.

Ces différentes formes ou modalités des problèmes de l'incertitude des données et de leur impact sur la qualité des résultats issus de leur traitement font l'objet de travaux depuis plusieurs années (GOODSHILD, M. JEANSOULIN, R., 1997, DEVILLERS R., JEANSOULIN R., 2007).

Nous nous sommes appuyés sur ces travaux pour analyser les données du PCR que nous avons exploitées. Nous invitons les membres du réseau à apporter le plus grand intérêt à cette problématique qui semble, jusqu'à ce jour, largement sous-évaluée.

2. Principes, enjeux et perspectives de démarches sur l'interopérabilité et l'amélioration de la qualité des données pétro-archéologiques

2.1. Principes de l'harmonisation des méthodes et outils

De façon générale, l'harmonisation des méthodes et des outils pour l'acquisition, la gestion et l'exploitation de données pétroarchéologiques doit viser les objectifs suivants :
- harmoniser et améliorer la qualité des données pétroarchéologiques par le recours à des métadonnées (données sur les données, voire données sur les méthodes et les technologies d'analyses mobilisées) ;
- mettre en place un cadre méthodologique commun facilitant l'émergence de corpus descriptifs de données qui soient compatibles, quelque soient l'origine, les profils des auteurs (métiers, compétences, expériences) de ces données ;
- partager les savoirs et les savoir-faire autour de la description, de la caractérisation et des divers types d'analyses effectuées sur ces données lors de la mise en commun de leurs résultats dans le cadre d'un programme de recherche coopératif comme le PCR.

Les réflexions conduites au sein de l'Inrap (KOEHLER A., TUFFERY C., à paraître) rejoignent très largement d'autres débats organisés dans le reste de la communauté archéologique (JIAP 2010, à paraître). On peut ainsi souligner, que l'absence d'interopérabilité entre les systèmes d'enregistrement de données archéologiques est souvent à l'origine des problèmes et limites dans les échanges de ces données entre chercheurs travaillant sur des problématiques proches ou communes (CHAILLOU A. 2003).

Mais harmonisation des méthodes et outils que vise à faciliter une démarche d'interopérabilité ne signifie pas pour autant l'homogénéisation des outils et des procédures pour la constitution, le traitement, l'analyse et la diffusion des données archéologiques. L'harmonisation doit respecter des pratiques, prendre en compte des solutions méthodologiques et techniques préexistantes et viser à les faire communiquer alors que l'homogénéisation vise à imposer de façon unilatérale un nouveau système qui se veut une solution unique adaptée à toutes les situations. Il n'est pas concevable de faire table rase du passé, des compétences acquises et du capital souvent considérable de données et de compétences acquises antérieurement par les archéologues ou leurs collègues de disciplines connexes.

Une démarche d'harmonisation des pratiques et des outils d'enregistrement des données archéologiques implique cependant l'utilisation de normes et de standards publiés ou reconnus (on parle parfois de «standards de fait») pour les formats de données numériques et les protocoles d'échange de ces données. On pense bien évidemment ici de façon prioritaire à l'usage du langage de formalisation XML, langage étendu de balises (LECOMTE S. 2008) et à la norme de modélisation UML[1] (AUDIBERT L. 2009).

Sur le plan métadocumentaire, l'harmonisation passe par un travail de rédaction d'un thésaurus, conçu ici comme «*un type de langage documentaire qui consiste en une liste de termes sur un domaine de connaissances, reliés entre eux par des relations synonymiques, hiérarchiques et associatives.*» (source site Wikipedia). Il faut donc considérer ce travail de rédaction d'un thésaurus sur les données pétroarchéologiques comme la production d'un vocabulaire normalisé propre à la pétroarchéologie, qui n'existe pas à ce jour. Ce dictionnaire pourrait être de type hiérarchique, termes regroupés en familles de termes, hiérarchiquement organisées, indiquant pour chaque terme, sa signification ou ses diverses significations si une seule signification n'est pas possible du fait. Dans ce travail, long, parfois fastidieux mais indispensable, ce qui importe le plus réside dans les relations et les correspondances que les chercheurs auront réussi à établir entre ces termes, plus que l'obtention d'une définition unique pour chaque terme.

2.2. Les enjeux d'une démarche d'interopérabilité.

En s'appuyant sur de telles normes et standards, une démarche d'interopérabilité mise en œuvre dans la suite du PCR devrait faciliter les échanges de données pétroarchéologiques, entre les différentes intervenants et partenaires actuels et futurs de ce programme de recherche. Une telle démarche doit avoir comme objectif et ambition de réduire voire d'éviter :

- les multiples saisies ;
- la multiplication des erreurs de saisie ;
- les nombreux import/export ;
- les pertes de données lors des transferts ;
- des niveaux mal connus de qualité géométrique et sémantique ;
- l'absence de traçabilité des données ;
- l'absence de métadonnées associées ;
- etc.

Pour les membres du PCR, la démarche d'interopérabilité préconisée ici doit ouvrir de nouvelles opportunités de collaboration et élargir l'horizon de celles déjà existantes avec d'autres initiatives en cours comme par exemple :

- le site du Geoportail de l'IGN via l'utilisation de son API[2] ;
- le site Infoterre du BRGM et l'accès à ses webservices utilisant les normes XML et ISO19115 et ISO19139 ;
- des Infrastructures de Données Spatiales (IDS) souvent à l'initiative de collectivités territoriales d'échelon régional ou départemental ;
- les projets en cours du Ministère de la Culture et de la Communication, et ses services déconcentrés (SRA) pour la diffusion de données archéologiques géoréférencées ;
- l'accès aux données géologiques et pétroarchéologiques numériques et géoréférencées des pays européens limitrophes comme la Suisse, l'Espagne, l'Italie, pour ne citer que les pays concernés par les travaux du PCR et représentés lors de la table-ronde de Lyon[3] ;
- les liens avec la mise en œuvre de directives européennes s'appuyant fortement sur les principes de l'interopérabilité des données géoréférencées et des métadonnées associées comme la Directive INSPIRE.

À noter qu'actuellement plusieurs programmes de recherche sont conduits en matière d'interopérabilité de données géoréférencées (RUAS A., GIRRES J-F. 2009).

2.3. Vers un Système d'Information Pétro-Archéologique Géoréférencé (SIPAG) ?

L'objectif d'une démarche d'interopérabilité au sein d'un PCR comme celui du Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes est de faire émerger progressivement un système d'information pétro-archéologique commun et collaboratif pour lequel nous proposons le titre (provisoire) de

Système d'Information Pétro-Archéologique Géoréférencé (SIPAG).

Sa définition et ses objectifs pourraient être ainsi résumés :

«Un ensemble organisé de ressources documentaires géoréférencées et métadocumentées permettant de façon collaborative d'acquérir, de stocker, de structurer, de gérer, d'analyser, de publier et d'échanger des informations pétro-archéologiques cohérentes de sources, de contenus et de formats variés, avec un niveau de qualité connu, et permettant de répondre à des problématiques scientifiques diverses.»

Le SIPAG viserait en particulier à organiser et à faire vivre les flux d'informations multiples utiles aux divers objectifs communs de production et de mise en relation des connaissances de chacun des membres, selon des thesaurus, des dictionnaires de données et des règles de mise en correspondance entre ces derniers. Ces divers éléments devront avoir fait l'objet d'échanges et d'un consensus pour pouvoir être utilisés en connaissance de cause par les membres du PCR pour répondre aux problématiques de recherche du PCR.

Ce SIPAG pourrait s'appuyer sur un ensemble de systèmes d'enregistrement (logiciels et/ou applications spécifiques), de bases de données et de métadonnées, divers mais visant à des échanges cohérents et contrôlés de leurs données respectives selon des méthodes et des protocoles prédéfinis. A titre d'exemple, on propose que les logiciels, applications et les bases de données et de métadonnées mobilisées dans le cadre du PCR répondent à des exigences d'interopérabilité garanties par leur compatibilité avec le formalisme normé XML ou encore les normes IOS19115, ISO19139 ou des standards de fait (formats shapefile pour les fichiers de données géoréférencées en mode vecteur).

Pour atteindre un tel objectif, il paraît indispensable que la communauté des chercheurs engagés dans les travaux du PCR s'appuient sur divers outils facilitant un travail de type collaboratif par le recours à des plate-formes de travail collaboratif multilingues de type wiki systèmes de gestion de contenus, facilitant la recherche de consensus tant sur les données, les thésaurus que sur les échanges de méthodes, de savoir-faire et de pratiques.

Comme cela est annoncé par de plus en plus d'acteurs et de publications, en matière d'archéologie, comme probablement dans de nombreux autres domaines de recherche scientifique pluridisciplinaire, *«Les SIG peuvent (…) amener les acteurs à des formes de dialogue et de négociation sur un plan pluridisciplinaire et pluri-institutionnel qui ont une grande importance sur les questions scientifiques mais aussi parce qu'ils concernent directement les conditions de réalisation des prestations archéologiques en termes de coûts et de délais»* (COSTA L., 2009).

Conclusion

Cette présentation très succincte de nos travaux réalisés dans le cadre du PCR Réseau de lithothèques en Rhône-Alpes, est à la fois le fruit d'un travail qui n'est pas achevé et en même temps un ensemble de préconisations qui n'ont pas encore débattues avec l'ensemble des membres actuels du PCR. C'est pourquoi il convient de considérer ces quelques lignes comme des propositions et des pistes de travail qui ont comme souhait premier d'attirer l'attention des membres du PCR sur les exigences méthodologiques en matière d'interopérabilité des ressources documentaires et métadocumentaires mobilisées à ce jour ou dans le futur pour les données géologiques et pétroarchéologiques. La mise en place de ces cadres méthodologiques devrait contribuer grandement à améliorer la qualité des données exploitées par le PCR et d'en assurer une meilleure traçabilité, en ayant comme souci que chaque utilisateur des données produites par d'autres, sachent précisément ce que sont les données qu'il utilise, à qui elle appartienne, comment et quand elles ont été produites, voire mises à jour et ce qu'il peut espérer comme résultat des traitements appliqués sur ces données.

Ce genre de démarche impose aussi plusieurs conditions et contraintes, pouvant, dans un

premier temps, être ressenties comme lourdes par les chercheurs concernés mais dont les gains en termes de qualité du raisonnement scientifique et d'enrichissement mutuel par des démarches de recherche de type coopérative, peuvent être très importants, même s'ils sont encore tous difficiles à identifier et, a fortiori, à quantifier.

(1) - Unified Modeling Language ou langage de modélisation unifié
(2) - Application Programming Interface ou Interface de Programmation Applicative
(3) - Ex. Site de l'Institut Cartographic de Catalunya

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, ISO 9001 2008 - Anticiper et comprendre (Recueil de normes). AFNOR, janvier 2008, 462 p.

AUDIBERT L., UML 2 2008 - De l'apprentissage à la pratique. Ed. Ellipses, Info +, 304 p.

CHAILLOU A. 2003 - Nature, statut et traitements informatisés des données en archéologie. Les enjeux des systèmes d'information archéologiques. Thèse soutenue à Université Lumière, Lyon 2, 285 p.

COSTA L. 2009 - Impact des approches géomatiques dans les organisations de l'archéologie. Thèse soutenue à l'Université Paris X Ouest Nanterre La Défense, 3 vol. 142 p., 358 p. et 145 p.

DEMOULE J-P., GILIGNY F., LEHOERFF A., SCHNAPP A. 2009 - Guide des méthodes de l'archéologie. Ed. La Découverte, Collection Grands Repères Guides, 3ème édition, Paris, octobre 2009, 336 p.

De RUNZ C., DESJARDIN E., PIANTONI B., HERBINA B. 2007 - Using fuzzy logic to manage uncertain multi-modal data in an archaeological GIS. International Symposium on Spatial Data Quality (ISSDQ), Pays-Bas, Enschede, juin 2007.

De RUNZ C., DESJARDIN E. 2010 - Imperfect spatiotemporal information modeling and its analysis in a generalization process in a GIS: application to archaeological information. In Methods for Handling Imperfect Spatial Information, JEANSOULIN R., PAPINI O., PRADE H., SCHOCKAERT S., Springer Verlag, Studies in Fuzziness and Soft Computing, pp 341-356, 2010. Vol 256.

DEVILLERS R., JEANSOULIN R. 2007 - Qualité de l'information géographique. Ed. Hermès Science, collection «Information géographique et aménagement du territoire. Série Géomatique»,

DJINDJIAN F. 1986 - Apport des techniques statistiques et informatiques aux méthodes et aux théories de l'archéologie. Bulletin de la société préhistorique Française, t. 83, n° 10, 1986, p. 372 –377

DJINDJIAN F. 1991 - Méthodes pour l'archéologie. Armand Colin, Paris, 405 p.

GOODSHILD M., JEANSOULIN R. 1997 - Data Quality in Geographic Information, from error to uncertainty. Cassini International Workshop, Ed. Hermès.

JIAP 2010 à paraître - Séminaire 2èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris. «Système d'Information Archéologique : modèles, normes, outils, applications» Paris, 11-12 juin 2010.

KOEHLER A., TUFFERY C. (à paraître) - Harmonisation des méthodes et outils pour l'information archéologique à l'Inrap : constats, enjeux et perspectives pour un établissement national. Séminaire 2èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris (JIAP 2010), «Système d'Information Archéologique : modèles, normes, outils, applications», Paris, 10-11 juin 2010.

LECOMTE S. 2008 - XML par la pratique : bases indispensables, concepts et cas pratiques. Coll. ressources informatiques, 2° Ed. Paris, Lavoisier, 346 p.

LONGLEY P.A., GOOLDCHILD M., MAGUIRE D., RHIND D. W. 2005- «Geographical Information System and Science», Wiley&Sons, Second edition, 2005, 517 p.

GIRRES J.-F., RUAS A. 2009 - Conception of a model to evaluate geometrical imprecisions from under-qualified vector data for decision making, 6th International Symposium on Spatial Data Quality (ISSDQ'09), 5-8 July, St John's (Canada).

DELACROIX J. 2005 - Les wikis. Espaces de l'intelligence collective. M2 Éditions, Paris.

MONDADA L. 2005 - Chercheurs en interaction. Comment émergent les savoirs. PPUR.

BAUDRIT A. 2007 - L'apprentissage collaboratif : plus qu'une méthode collective? De Boeck

SITES WEB

Site du Geoportail de l'IGN : http://www.geoportail.fr

Site Infoterre du BRGM : http://infoterre.brgm.fr

Site de l'Institut Cartographic de Catalunya : http://www.icc.es/ en particulier le thème Geològica (http://www.icc.es/vissir2/?lang=ca_ES&toponim=geologica)

Site du Pôle Analyses du GdR MAGIS (Méthodes et Applications pour la Géomatique et l`Information Spatiale) : http://magis.ecole-navale.fr/

Site des travaux de l'Axe 2, incertitude et multi-représentations du GdR MoDys (Modélisation et Dynamiques Spatiales) : http://isa.univ-tours.fr//modys/index.php

Applications à l'Archéologie

DU TYPE DE MATIERE PREMIERE LITHIQUE A L'ESTIMATION DU NOMBRE DE BLOCS : premiers résultat, premières implications archéologiques et intérêt

Alain TURQ[1]
en collaboration avec BIDART P.[2], BOURGUIGNON L.[3], ORTEGA I.[4]
DIBBLE H.[5], GOLDBERG P.[6], MACPHERRON S.[7], SANGATE D.[8]

(1) - N P les Eyzies et PACEA/IPGQ UMR 5199 du CNRS, alain.turq@culture.gouv.fr
(2) - MINRAP GSO, patrick.bidart@inrap.fr, (3) - INRAP GSO et PACEA/IPGQ UMR 5199 du CNRS, laurence.bourguignon@inrap.fr,(4) - INRAP GSO, Illuminada.ortega@inrap.fr,
(5) - University of Pennsylvania, hdibble@sas.upenn.edu,
(6) - Boston University, paulberg@bu.edu, (7) - Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, mcpherron@eva.mpg.de, (8) - Simon Fraser University dmsandga@gmail.com

Rappelons d'abord que notre discipline, qui a pour finalité d'identifier l'origine géographique et/ou géologique des matières premières lithiques utilisées par les hommes préhistoriques, n'est pas une science exacte. Sa fiabilité tout comme ses limites sont variables en fonction des types de matériaux, de leurs caractéristiques propres, de leur contenu paléontologique plus ou moins abondant et caractéristique, de l'état d'altération, mais aussi de la dimension des objets (Turq 1999, 2000, 2003, 2005). Pour fixer les idées, rappelons qu'en ce qui concerne le nord-est du Bassin aquitain généralement, nous arrivons à attribuer, 75 à 85 % des pièces à un grand groupe qui a le plus souvent une aire de répartition géologique et géographique large (exemple silex du Sénonien, silex lacustre…), 10 à 15 % d'objets à un étage géologique (jaspe de l'Hettangien, silex du Campanien inférieur) et exceptionnellement une localisation plus précise à la fois géographique et géologique. En outre, il reste toujours quelques pièces non étudiables (trop altérées, petites, ou dans un matériau qui nous est inconnu).

Depuis quelques années, des recherches sont menées pour aller plus loin en prenant en compte l'histoire des silicifications depuis leur formation jusqu'à leur arrivée dans la main de l'archéologue (Turq 2003 ; Fernandes et Raynal 2006). Pour notre part, nous avons exploré deux directions de recherche, l'analyse du cortex qui nous renseigne sur les types de gîtes exploités et l'analyse des silex des altérites dans le but d'estimer le nombre de blocs. C'est cette dernière approche que nous allons vous présenter en insistant encore une fois sur les limites mais aussi les avantages et les implications de cette approche sur l'interprétation des données archéologiques.

1. Les silex des alterites

Ce sont les silex les plus nombreux dans le nord-est du Bassin aquitain et ceux qui, comme ceux des alluvions, ont été prioritairement utilisés par les hommes préhistoriques. Dégagés de leur gangue calcaire, facilement accessibles dans les argiles qui couvrent les sommets de plateaux, leur lente évolution en a fait des matériaux de bonne qualité. Leur histoire commence dans les mers crétacées. Après exondation, érosion et altération de leur roche mère sous des climats divers et variés, ils ont subi dans des milieux changeants toutes une série de modifications plus ou moins profondes qui n'ont pas affecté uniformément tous les éléments. Durant plus de 65 millions d'années, ils ont été transportés, déplacés, se sont trouvés en surface ou enfouis dans des milieux variés, mis en présence de matières organiques, d'eau, de fer et d'une multitude d'autres minéraux et ainsi ils ont acquis des spécificités presques individuelles. Aujourd'hui leur aspect macroscopique tant au niveau des couleurs que des textures sont le reflet de leur histoire à la fois commune mais en partie spécifique (figure 1).

Figure 1 - variabilité macroscopiques des silex des altérites de la région de Montignac Thenon (Dordogne).

Parmi tous ces silex des altérites, le silex dit du Bergeracois a retenu notre attention. Identifié depuis la fin du XIXé siècle (Landesque 1887) et ayant fait l'objet d'un grands nombre d'études (Demars 1982 ; Geneste 1985), il se caractérise d'un point de vue micropaléontologique par la présence d'une microfaune type du Maastrichtien (Combaz 1966) avec notamment Orbitoïdes media et siderolites vidali.

Ce matériau est assez facilement identifiable, très fréquemment employé (de façon presque exclusive dans tous les sites implantés dans sa zone d'affleurement, le Bergeracois, et présent dans la plupart des gisements en grottes et abri du Périgord noir). Il s'est donc avéré être un matériau particulièrement intéressant pour notre approche. De plus, sa présence en Périgord noir ne peut être que le fait d'une intervention humaine, les gîtes naturels étant tous situés en aval des gisements par rapport au réseau hydrographique.

L'essai d'identification du nombre de blocs a été fait dans deux séries archéologiques moustériennes, l'une issue de la zone d'affleurement de ce silex, l'autre dans un site en grotte, le Roc de Marsal situé à une trentaine de kilomètres en amont.

2. Le site de combe brune 1

Dans ce site mis au jour et fouillé (Bidart et al. 2010) lors des travaux d'archéologie préventive menés sur la déviation est de Bergerac, le silex de Bergerac est majoritaire puisqu'il représente 96,4 % des matériaux utilisés. Les matériaux exogènes sont des silex bajociens, sénoniens, campaniens, tertiaires lacustres et du quartz). D'un point de vue technologique, ce site se caractérise par un débitage de type Levallois associé à une composante de façonnage de biface.

L'analyse technologique de l'ensemble des objets en silex du Bergeracois comparé aux données expérimentales (Geneste 1985, Turq op. cit.) permet d'avancer l'hypothèse interprétative suivante : la majeure partie de la production a été faite sur place mais on doit également noter un déficit des produits de plein débitage qui peut s'expliquer par une exportation d'une partie de ces derniers (figures 2). Ceci va dans le sens des observations faites dans les grottes et abris (Geneste 1985 et Turq op. cit.) dans lesquels se sont les produits de plein débitage et les outils qui sont majoritairement introduits.

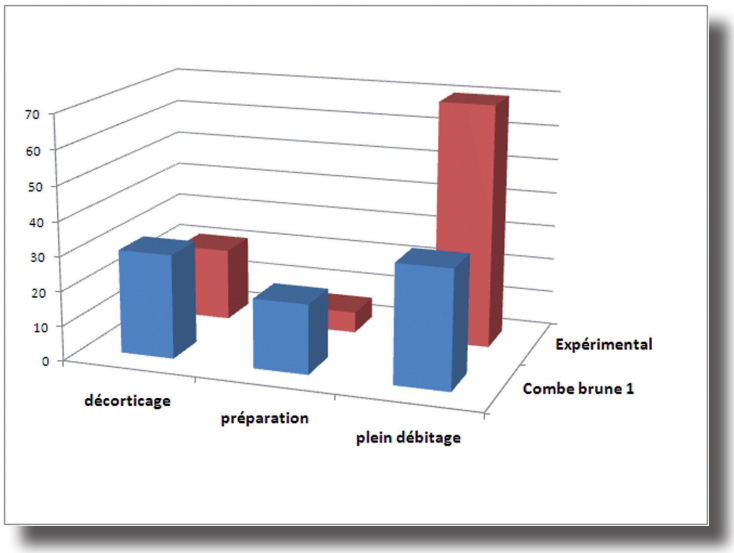


Figure 2-1 - Résultat de l'analyse de l'ensemble des objets attribuables au silex de type Bergeracois et comparaison avec les données d'archéologie expérimentale

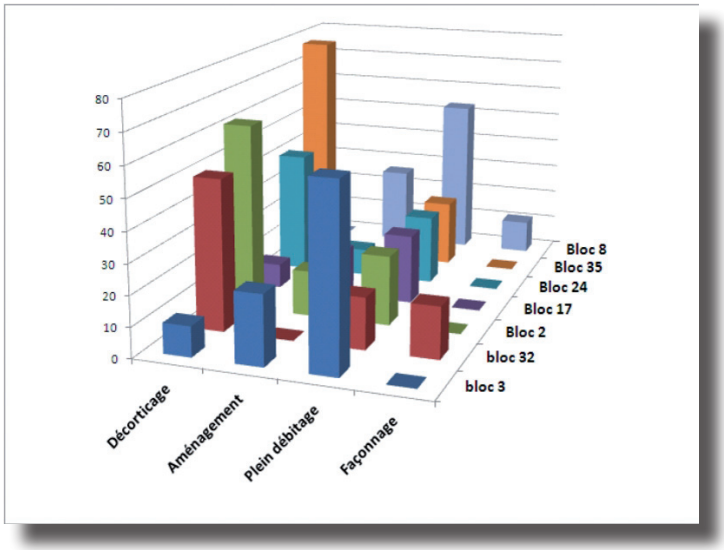


Figure 2-2 - Résultats de l'analyse de technologique de 7 blocs comparés en bas à droite à ceux faite à partir des objets attribuables au silex de type Bergeracois et aux données d'archéologie expérimentale.

En un premier temps, notre tentative nous a permis d'attribuer 45% des pièces à des blocs spécifiques, les 55% restant attribués au faciès générique «silex du Bergeracois». Les tentatives de remontages qui ont été menées par toute une équipe (Bidart P., Bourguignon L., Grigoletto F.), ont permis de compléter certains blocs et ainsi confirmer les appariements. Globalement elles se sont montrées peu productives contrairement à ce qui se passe dans le cas d'un débitage sur place.

La seconde étude technologique, menée bloc par bloc, a donné des résultats très différents de la première. (figure 3). Ici ont voit clairement que chaque bloc a eu une histoire particulière. Il a fait le plus souvent l'objet, à l'extérieur du site d'une production ou d'un façonnage mais ce ne sont que quelques pièces qui ont été ramenées sur le site. En aucun cas les chaînes de production de supports Levallois ou celles de façonnage n'ont eu lieu sur le site.

Après cette nouvelle analyse, on est obligé d'admettre que l'approche globale (attribution des objets à un type de silex) donne des résultats qui sont difficilement exploitables immédiatement. En premier lieu, la recherche systématique des raccords, des remontages (Bordes 1999) et des résultats significatifs (taux de réussite élevé) permet de vérifier si l'ensemble de la chaîne opératoire a eu lieu sur place. Dans le cas de résultats négatifs, deux explications

peuvent être avancées : des phénomènes post-dépositionnels qui peuvent avoir affecté le matériel archéologique après son abandon (ruissellement, solifluxion…) (Texier 2000) ou un comportement humain, par exemple introduction dans le site de petits fragments de chaînes opératoires. Ici, l'analyse géo-archéologique prenant en compte les éléments naturels mais aussi les données archéologiques sera déterminante.

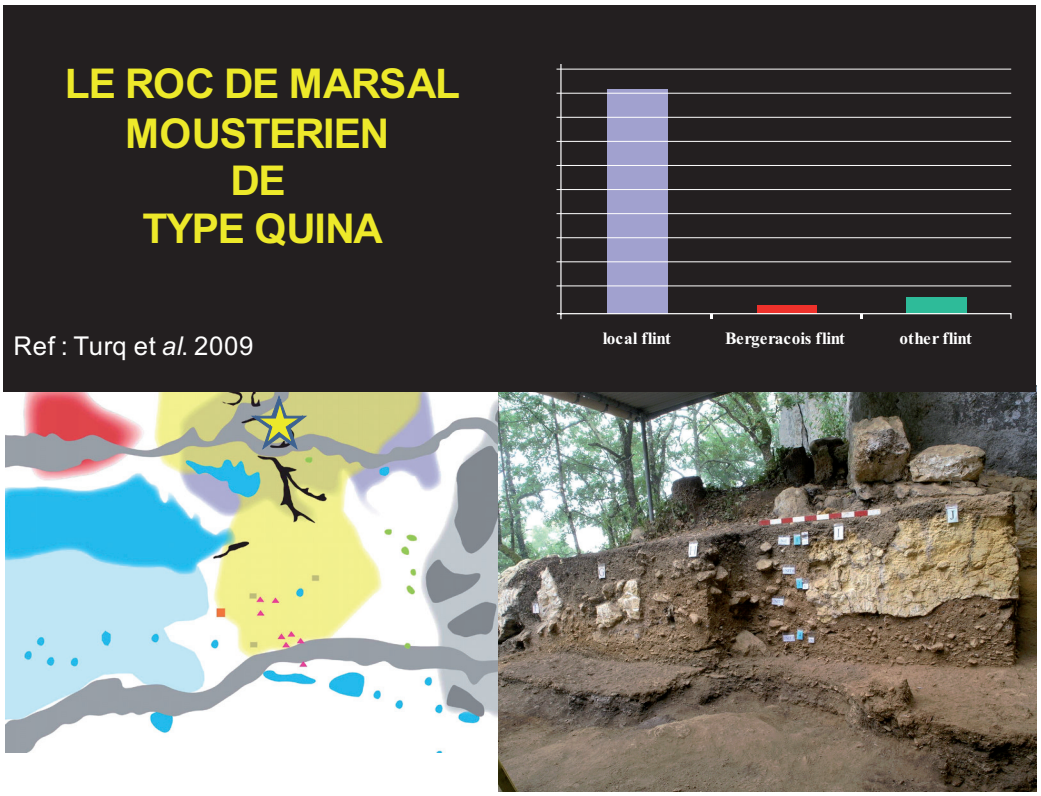


Figure 3 - Le gisement du Roc de Marsal, commune de Campagne du Bugue : à gauche la localisation entre les vallée de la Dordogne et de la Vézère ; en bas à droite, photographie du site montrant à la base l'ensemble de couleur sombre correspondant aux industries Levallois au dessus l'ensemble beige contenant les industries de type en Quina ; en haut à droite analyse globale de l'origine des matières premières lithiques.

3. Le mousterien de type Quina du Roc de Marsal

Ce site en grotte est implanté en Périgord Noir sur la commune de Campagne du Bugue (Dordogne). Il a été fouillé de 1953 à 1971 par J. Lafille (Lafille 1961) et de 2003 à 2010 par une équipe franco américaine conduite par H. Dibble, SH. Mac Pherron, D. Sandgate et moi-même (Turq et *al.* 2009). La séquence montre la superposition de deux ensembles archéologiques distincts, à la base des industries à débitage Levallois, et au sommet un moustérien de type Quina (figure 4).

Ces dernières ont fait l'objet de plusieurs études (Turq 1979, 2000 et Turq et al. 2009). Selon les couches le pourcentage de silex du Bergeracois varie entre 1 et 2%. Dans tous les cas ont été introduits dans le gisement divers types d'objets, de grands éclats qui ont servi de nucléus, des racloirs et des déchets de taille, en particulier des éclats de réaffutage de racloirs, de retouche.

L'estimation du nombre de blocs apporte ici aussi un éclairage supplémentaire. Généralement il n'y a pas plus d'un objet par bloc[1]. L'analyse des racloirs bifaciaux et de leurs déchets de réaffutage ou de configuration est elle aussi instructive. Ce type d'objet façonné, le seul existant dans ce faciès moustérien, est considéré comme rare en Périgord (Le Tensorer 1978) y compris au Roc de Marsal (3 ou 4 pièces tout au plus pour plus de 2500 outils retouchés). L'examen

attentif des déchets caractéristiques de leur mise en forme ou de leur réaffutage, des éclats mince, torses, à talon en lèvres éversées (en un mot des éclats en tout point comparables aux éclats de taille de biface), multiplie leur nombre. C'est plus d'une dizaine de pièces de ce type qui ont transité sur le site.

Figure 4 - Le gisement du Roc de Marsal, commune de Campagne du Bugue : en haut le seul racloir à retouche biface en silex du Bergeracois ; en bas à gauche un éclat de taille de grand racloir transformé à son tour en racloir ; en bas à droites 6 éclats de taille de racloirs aucun issus du même bloc.

Encore une fois, cette analyse complémentaire nuance les données issues de l'approche globale. Elle démontre une mobilité très importante de ce type d'objet, mobilité qui s'apparente avec celle des bifaces qui sont pratiquement les seules pièces bifaciales des autres faciès moustériens non Quina mais plus particulièrement du Moustérien de tradition Acheuléenne (Geneste 1986 et op. cit.; Soressi 2002; Turq 2001). Elle montre un éclatement encore plus vaste de la chaîne opératoire de certains objets tant dans l'espace que dans le temps et la complexité de la gestion techno économique des outillages par les néandertaliens.

Conclusion

Les deux exemples présentés ci-dessus ont pour but de montrer tout l'intérêt de s'engager, lorsque c'est possible, vers l'estimation du nombre de blocs. A Combe Brune, l'approche globale permettait d'envisager la réalisation sur place de la majeure partie de la chaîne opératoire lithique. Notre approche associée aux tentatives de raccords et de remontages, même si elle n'a pu donner des résultats que sur un peu plus de 50% de l'effectif total de la série, nuance largement voire remet totalement en cause la première hypothèse. La majeure partie du débitage et du façonnage a été effectué à l'extérieur du site. Pour chacun des blocs exploités seuls quelques éléments obtenus ont été ramenés sur le lieu de vie. Le choix effectué par les Néandertaliens varie d'un bloc à l'autre (même si c'est globalement le même schéma de production qui est appliqué). Ce sont un peu toutes les catégories technologiques qui sont concernées : les produits de première intention (support Levallois), les outils retouchés ou les bifaces, les nucléus et même les sous-produits (éclats corticaux), voire des déchets de taille, comme les éclats. La mise en évidence de ce comportement, qu'il ne faut certainement pas ériger en règle doit nous amener à réfléchir sur la mobilité des différentes catégories technologiques et/ou typologiques. L'exemple des séries de Moustérien de type Quina du Roc

de Marsal, qui porte sur des objets introduits dans le gisement à partir de gîtes situés à une trentaine de kilomètres, apporte des éléments nouveaux et tangibles sur deux points majeurs : la gestion de l'équipement qui accompagne les moustériens dans leurs déplacements («personal gear» des anglo-saxons) (Bindford 1979) et le rôle joué par ce site dans le territoire parcouru. Les objets introduits sont parfois transformés et abandonnés (éclats en nucléus) ou réaménagé (présence sur place de déchets caractéristiques). Pour ces derniers, le Roc de Marsal n'a été qu'une étape dans leur histoire.

Si l'on veut réellement aller plus loin dans la compréhension de la mobilité et les comportements néandertaliens en s'appuyant sur des faits archéologiques et non pas exclusivement sur des modèles, il faut accepter de dépasser deux obstacles idéologiques majeurs : les études ne doivent porter exclusivement que sur des ensembles issus de fouilles, des séries ayant fait l'objet de datations numériques. Les études portant sur matériau spécifique comme ici le silex du Bergeracois, doivent prendre en compte tous les vestiges disponibles qui appartiennent au même complexe industriel, ceux issus des fouilles mais aussi les autres mis au jour, notamment par les travaux agricoles. On ne peut plus continuer à raisonner sur seulement les sites fouillés qui sont pratiquement toujours des occupations importantes : les pièces isolées, les petits ensembles lithiques sont eux aussi riches d'informations et nous renseignent sur un autre volet du comportement des chasseurs-cueilleurs au Paléolithique moyen.

Tout comme le concept de ramification (Bourguignon et al. 2004) a complété l'outil qui était la notion de chaîne opératoire du matériel lithique, l'estimation du nombre de blocs est le prolongement naturel de l'analyse lithologique globale pratiquée actuellement. Cette nouvelle approche doit :

- être engagée après l'analyse globale ;
- être associée à une recherche systématique des raccords et des remontages ;
- être croisée avec l'étude complète de l'ensemble des vestiges mis au jour sur le site.

(1) - Dans un cas un gros éclat a été introduit sur le site, volontairement fracturé pour engager une production secondaire d'éclats. Dans un autre cas deux éléments d'un même racloir ont été retrouvés, un éclat de réaffutage et un fragment du racloir.

BIBLIOGRAPHIE

BIDART P., BOURGUIGNON L., ORTEGA I., SELLAMI F., RIOS GARAIZA J., VIEILLEVIGNE E., GUIBERT P., TURQ A. 2010 - *Le moustérien de tradition acheuléenne de Combe brune* 1. RFO 243p.

BINFORD L.R. 1979 - Organization and formation processes: looking at curated technologies. *Journal of Anthropological Research* 35, p 255-273.

BORDES J.-G. 1999 - *L'Aurignacien en Périgord : analyse des données. Un exemple d'application d'une méthode de quantification des remontages d'intérêt stratigraphie : Caminade-Est, couche G.* mémoire de DEA, Université de Bordeaux I, 77 p.

BOURGUIGNON L., FAIVRE J.-Ph. TURQ A. 2004 - Ramification des chaînes opératoires : une spécificité du Moustérien ? *Paléo* n° 15, 12 p.

COMBAZ A. 1966 - Recherches de microfossiles organiques dans les sables et grès du Périgord : compte rendu d'examen n°189. Bordeaux C.F.P., Exploration, Laboratoire Central, 1966.

DEMARS P.-Y 1982 - L'utilisation du silex au Paléolithique supérieur : choix, approvisionnement, circulation. L'exemple du Bassin de Brive. Paris : CNRS, 1982, 253 p., fig. (Cahiers du Quaternaire, 5).

FERNANDES P., RAYNAL J.-P. 2006 - Pétroarchéologie du silex : un retour aux sources. *C. R. Palevol 5*, 2006, p. 829-837.

FAIVRE J.-Ph. 2008 - *Organisation techno-économique des systèmes de productions dans le Paléolithique Moyen Récent du Nord–Est aquitain : Combe-Grenal et Les fieux.* Thèse de l'Université de Bordeaux I, 2008, 555 p.

GENESTE J.-M. 1985 - *Analyse lithique d'industries moustériennes du Périgord : une approche technologique du comportement des groupes humains au Paléolithique moyen*. Bordeaux : université de Bordeaux I. 2 vol., X. 572 p., 230 p. de pl., Thèse N. D. : Sc. : Bordeaux I : 1985, 2.

GENESTE J.-M. 1986 - Zonation économique du milieu et organisation spatiale des vestiges dans les sites moustériens du Sud-ouest de la France. In : Colloque international l'Homme de Néandertal : «Centenaire de la découverte de l'homme de Spy», Domaine provincial de Wégimont «4-6 décembre 1986, université de Liège»

LAFILLE J. 1961 - Le gisement dit «Roc de Marsal», commune de de Campagne du Bugue (Dordogne): Note préliminaire. *Bulletin de la Société préhistorique française*, t. 58, fasc. 11-12, 1961, p 712-713.

LANDESQUE A. L. 1887 - Excursion à la station préhistorique de Combe-Capelle. Bulletin de la Société Géologique de France, 3° série, tome quinzième, p 866-869.

LE TENSORER J.M. 1978 - Le Moustérien de type Quina et son évolution dans le Sud de la France. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 1978, t. 75, C.r.séances.mens. n° 5, p. 141-149, 8 fig.

SORESSI M. 2002 – L*e Moustérien de tradition acheuléenne du Sud-ouest de la France. Discussion sur la signification du faciès à partir de l'étude comparée de quatre sites : Pech de l'Azé I, le Moustier, La Rochette et la Grotte XVI*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 330 p.

TEXIER J.-P. 2000 - A propos des processus de formation des sites préhistoriques. *Paléo* 12, p 379-386.

TURQ A. 1979 - *L'évolution du Moustérien de type Quina au Roc-de-Marsal et en Périgord : modifications de l'équilibre technique et typologique*. Toulouse : l'Ecole des Hautes études en Sciences sociales, 1979, 181 p., 53 fig., 23 tabl. (mémoire).

TURQ A. 1999 - Caractérisation de matières premières lithiques et implications : quelques réflexions. In : séminaire du Centre d'Anthropologie organisée par F. Briois et V. Darras. La Pierre taillée : ressources, technologies, diffusion. Edition des archives d'Ecologie Préhistorique, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales. Toulouse, p. 7-13, ill.

TURQ A. 2000 - Le Paléolithique inférieur et moyen entre les vallées de la Dordogne et du Lot. *Paléo*, supplément n° 2, avril 2000, 456 p.

TURQ A. 2001 - Réflexion sur le biface dans quelques sites du paléolithique ancien-moyen en grotte ou abri du Nord-Est du Bassin Aquitain. In : D. Cliquet (dir.) : Les industries à outils bifaciaux du paléolithique moyen d'Europe occidentale. Eraul 98, Liège, p. 141-149, 8 fig.

TURQ A. 2003 - *De la matière première lithique brute à la mise au jour de l'objet archéologique : propositions pour une meilleure exploitation du potentiel informatif du matériel lithique illustrées par quelques exemples du Paléolithique aquitain*. Perpignan : Université de Perpignan, mémoire original pour l'obtention d'une habilitation à diriger des recherches, 165 p., CV et travaux (3 volumes).

TURQ A. 2005 - Réflexions méthodologiques sur les études de matières premières lithiques : 1 - des lithothèques au matériel archéologique. *Paléo*, n° 17, décembre 2005, p 111 à 132.

TURQ A., DIBBLE H. L., FAIVRE J-Ph., GOLDBERG P., S.J.P. McPHERRON S.J.P., SANDGATHE D., 2008 - Le Moustérien Würmien du Périgord Noir: Quoi de Neuf ? *Bulletin de Societé Préhistorique Française.* Mémoire XLVII, p 83-93.

Les fondamentaux : caractères discriminants élémentaires comme critères de caractérisation de l'origine des matériaux ; l'exemple périgourdin de l'assemblage Paléolithique moyen de l'abri du Musée aux Eyzies, Dordogne (France).

André MORALA
Ingénieur d'études - Musée national de Préhistoire
Les Eyzies-de-Tayac, Dordogne, France
andre.morala@culture.gouv.fr
UMR 5199 CNRS - PACEA - Université Bordeaux 1, 33405 - Talence

Introduction

L'exposé que nous présentons ici retrace de manière synthétique le cheminement et les différentes étapes méthodologiques conduisant à l'interprétation économique d'un assemblage industriel. L'exemple qui est donné, avec l'ensemble lithique de l'Abri du Musée aux Eyzies, situe le sujet au niveau de descripteurs «élémentaires» que nous qualifions de fondamentaux.

La cohérence des résultats de l'étude d'une série industrielle repose sur la rigueur de l'analyse menée sur ses différentes composantes et sur la minutie d'observation et de description de ses caractéristiques lors de l'enregistrement du matériel. A la faveur des diverses disciplines intéressant le sujet, nous disposons aujourd'hui d'un panel de moyens d'étude permettant, dans les différents domaines d'approche, de nous documenter sur les caractéristiques et le contexte originel d'un matériau : ses composantes physico-chimiques, minéralogiques, pétrographiques, paléontologiques et micro-paléontologiques, etc.

D'autres critères, plus «élémentaires», de caractérisation, ne faisant appel à aucun procédé sophistiqué ou coûteux permettent de renseigner certains autres domaines avec un très bon degré de précision. Il s'agit de caractères discriminants, parfaitement intégrés dans le processus analytique, que nous considérons **essentiels** ou **fondamentaux**.

Parmi eux, nous retiendrons plus particulièrement l'état physique des cortex dont l'examen permet, comme nous le démontrons avec l'exemple de l'assemblage de l'abri du Musée, la reconnaissance gîtologique des silicifications introduites dans l'habitat et au-delà, la mise en évidence de zones d'acquisition des matériaux et de territoires fréquentés par les occupants du site.

Selon ses besoins particuliers l'Homme a toujours su tirer parti de façon rationnelle des ressources environnementales qui lui étaient offertes, en effectuant sur son territoire d'évolution des prélèvements adaptés à sa consommation. L'expression de ses choix (indépendamment des contraintes dues à la représentation ou à l'accessibilité du moment de tel ou tel gîte ou de tel ou tel matériau) nous est, dans bien des cas, restituée par la présence sur les artéfacts de caractères morphologiques spécifiques. Comme nous l'avons évoqué, l'aspect ou l'état physique des cortex est un apport précieux pour la connaissance de la provenance gîtologique des matériaux.

Suivant l'aspect du cortex (ou surface externe), parfaitement intact ou au contraire totalement dégradé, voire remplacé par un ersatz néocortical, il est possible d'établir un gradient des états de surface, allant du grenu, pour ceux provenant de formations primaires, aux lisses martelés

pour les néocortex fluviatiles, en passant par les émoussés à corrodés issus des altérites plus ou moins épigénisées (Figure 1).

Ces caractéristiques morphologiques externes des silicifications sont donc spécifiques et discriminants d'environnements géologiques particuliers et différents les uns des autres. À ce titre, elles nous renseignent de manière précise sur les contextes, voire les lieux de prélèvement des matériaux, c'est à dire sur la gîtologie des matières premières exploitées dans l'assemblage.

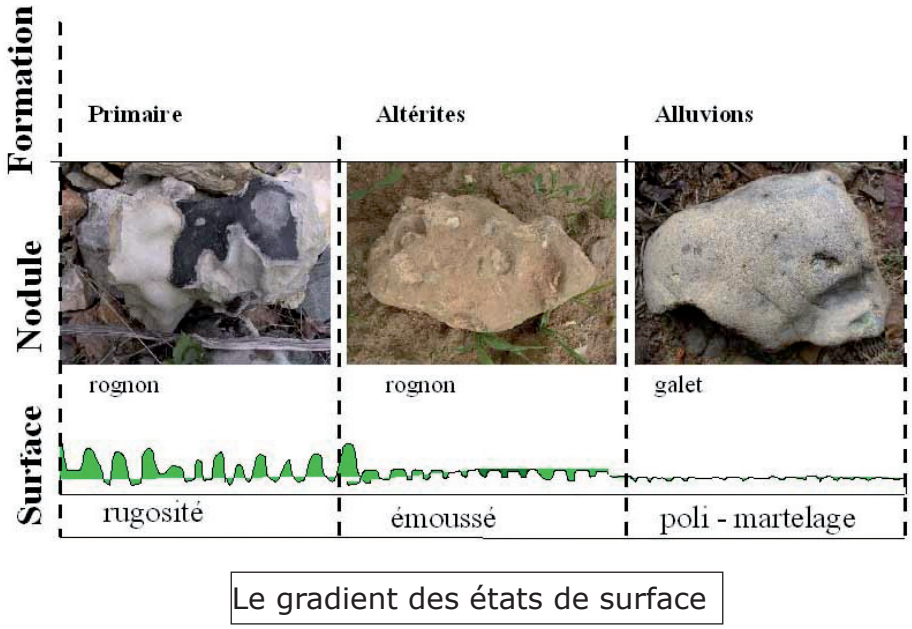


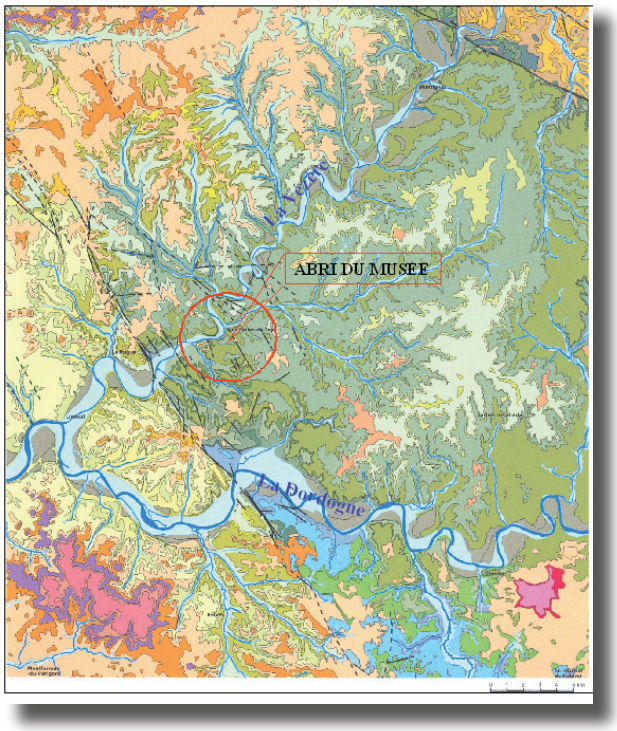
Figure 1 - L'état de surface des silicifications.

1. La série etudiée

La série présentée provient des fouilles réalisées entre 1992 et 1994 lors de l'agrandissement du Musée national de Préhistoire (commune des Eyzies-de-Tayac, Dordogne). A l'occasion de la construction du nouvel édifice un petit abri sous roche (nommé **Abri du Musée)** recélant un niveau Moustérien de type Levallois a été localisé et exploité. La direction de l'opération archéologique liée aux travaux d'aménagement du musée fut assurée par Luc Detrain, la fouille et l'étude typo-technologique du niveau paléolithique moyen ont été menées par Laurence Bourguignon[1]. Conjointement, nous même avons réalisé l'étude lithologique de cette série, qui est venue s'étoffer d'un travail de plus grande ampleur portant sur le recensement des sources siliceuses des bassins versants de la Dordogne et de la Vézère.

Au niveau local et micro-régional, la diversité géologique du substratum a contribué à la grande variabilité lithologique et à la remarquable réserve de matière première que constitue le Périgord (Figure 2). Les choix réalisés par l'Homme en sont le reflet, de même qu'ils paraissent privilégier une certaine sélection favorisant plutôt les matériaux de plus grande proximité.

Cadre géologique du secteur concerné par l'étude de l'abri du Musée



Carto./DAO (2010) J-P Lhomme - A. Morala

Figure 2 - Cadre géologique local et micro-régional.

2. Composition et variété lithologique de l'assemblage

La fraction minérale de la série compte un effectif de 12918 objets, dont 4467 (31,9 %) sont supérieurs à 2 cm, sur lesquels porte l'étude et 68,1 % autres éléments inférieurs à 2 cm.
Sous son aspect technologique, la représentation catégorielle des deux principales populations de produits de cette série, **corticaux** et **non corticaux**, s'organise ainsi : les premiers (les corticaux) avec 70,85 % dominent très largement et dépassent d'un tiers les seconds (les non corticaux) qui ne comptent que 29,15 % de cette classe de produits (Figure 3).

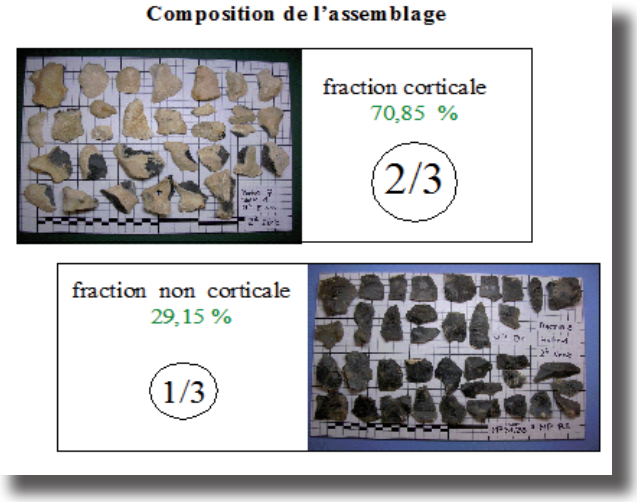


Figure 3 - Représentation catégorielle de la production lithique.

3. Synthèse de l'analyse du materiel

Suivant l'approche méthodologique menée, deux niveaux d'analyses ont été retenus permettant de proposer, l'un une attribution géologique, l'autre une provenance gîtologique :

3.1. Premier niveau d'analyse : géologique

L'étude macroscopique et microscopique du matériel a permis l'établissement d'un inventaire géologique des types de silicifications représentés dans l'assemblage. La figure 4 donne un aperçu de ces différentes catégories lithologiques :

Type A : Santonien et Campanien blond /brun
Type B : Santonien et Campanien gri/noir
Type C : Campanien épigénisé
Type D : Coniacien inférieur blond/brun
Type E : Coniacien inférieur gri/noir
Type G : Coniacien inférieur à pyrite
Type K : Santonien (calcédoine)
Type I : Maestrichtien (Bergeracois)
Type J : Tertiaire lacustre (calcédoine)

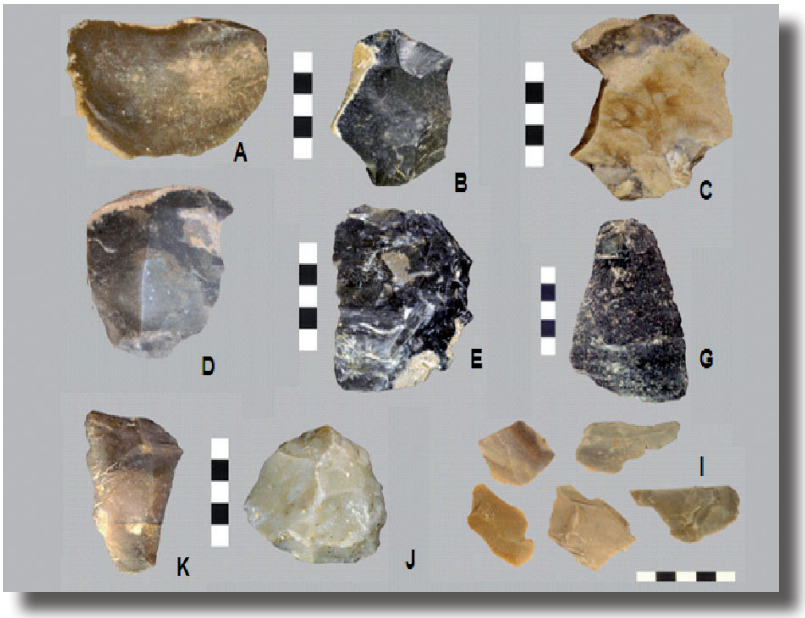
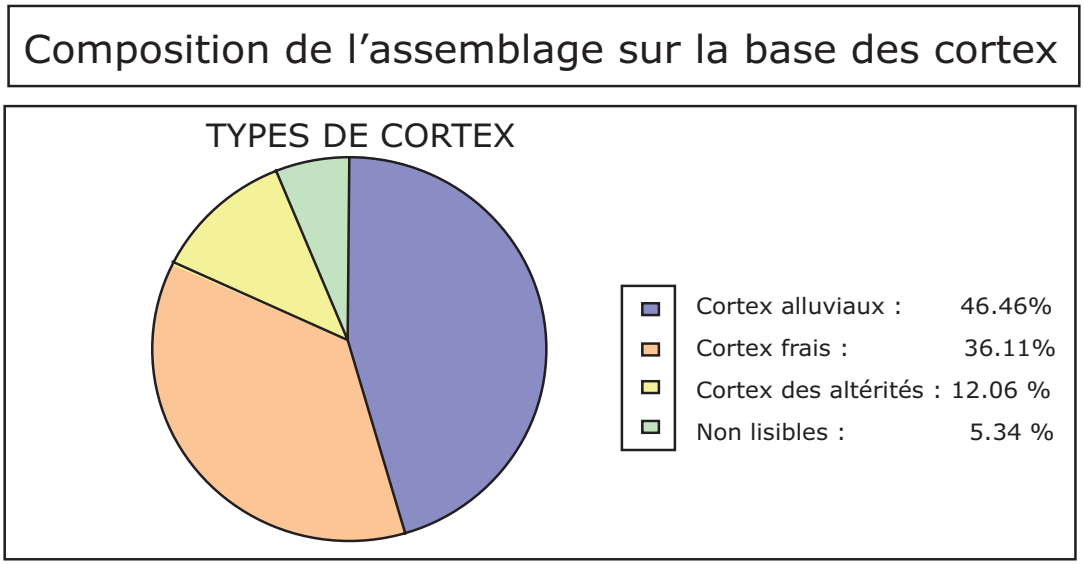


Figure 4 - Variétés lithologiques de l'assemblage.

3.2. Deuxième niveau d'analyse : gîtologique

L'examen des caractères physiques et texturaux des surfaces externes des artefacts nous a conduit, comme précédemment pour la géologie, à l'établissement d'un inventaire des états de surface du matériel. Comme l'indique le diagramme (Figure 5), à l'exclusion des 5,34 % d'inclassables (résultant de modifications anthropiques ou naturelles), le reste du matériel se répartit respectivement dans trois autres catégories de la manière suivante : les cortex alluviaux 46,46 %, les cortex frais 36,11 % et les cortex des altérites 12,06 %.



= 3 provenances gîtologiques différentes

Figure 5 - Représentation corticale de l'assemblage

3.3. Troisième niveau d'analyse : comparaison géologique et gîtologique des données

La confrontation des analyses menées sur l'assemblage permet de tester et de vérifier la validité des résultats obtenus selon les deux modes d'approche, qui convergent et se corroborent parfaitement, confirmant et accréditant ainsi la méthode employée (Figure 6). Les pourcentages obtenus indépendamment, d'une part sur la fraction corticale seule (en beige) et d'autre part sur la totalité des artefacts (en vert) indiquent une parfaite concordance de leur fréquence. Ce rapport entre les deux principaux groupes lithologiques est d'autant plus pertinent qu'il porte, selon les deux modes d'approche, sur un cumul de plus de 90 % de la production analysée.
Les autres catégories lithologiques, silex du Bergeracois et calcédoines tertiaires, correspondent aux matériaux d'origine allochtone. Elles sont représentées en petit nombre sous forme de produits, plus accessoirement de blocs, pas ou très peu corticaux, ce qui témoigne d'un stade avancé d'exploitation lors de leur introduction dans l'habitat.

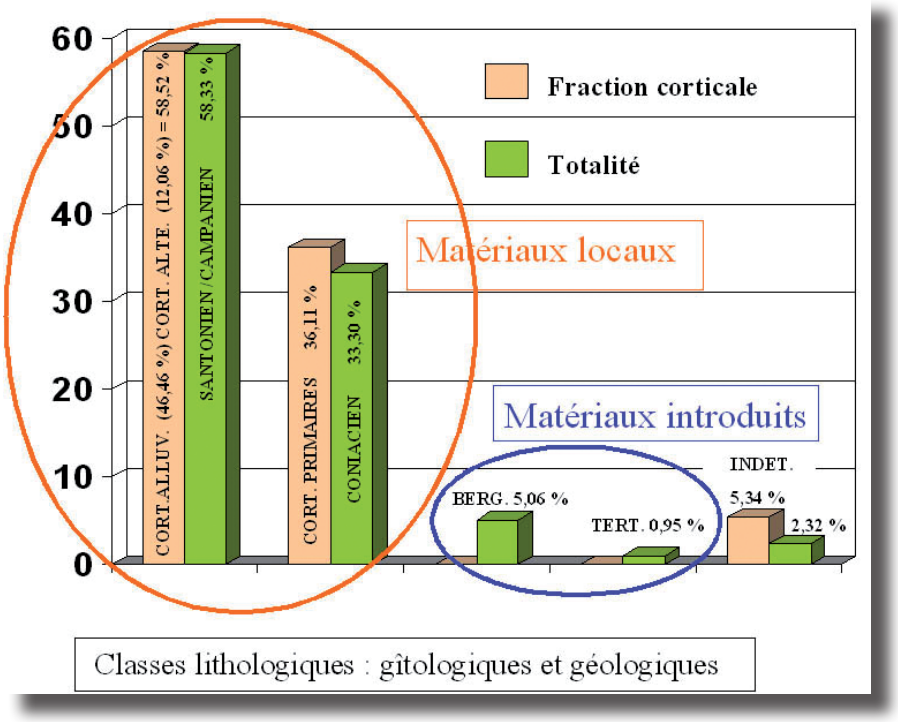


Figure 6 - Comparaison géologique et gîtologique des données.

3.4. Interpretation gîtologique et origine des materiaux

Au-delà de la méthode et du résultat de cette évaluation catégorielle des cortex, il s'agit bien de la mise en évidence de l'origine gîtologique du matériel collecté par l'Homme.

Pour illustrer la représentation de ces pourcentages nous pouvons dire, que pour leur approvisionnement principal les néandertaliens de l'Abri du Musée ont exploité les galets de silex (santoniens et campaniens majoritairement) des formations alluviales de la Vézère, qui, à l'époque existaient à seulement quelques dizaines ou centaines de mètres du site (Figure 7).

Gîtes : Les Cugnes et Pagenal (les Eyzies)

Formation : alluvions (Vézère)
Matériau : silex (+ calcéd. Séno.)
Géologie : Santonien et Campanien (Coniacien/gîte aval)

Terrasse des Cugnes (Les Eyzies)

Terrasse de Pagenal (Les Eyzies)

Figure 7 - Formations fluviatiles de la Vézère (terrasse de 70/73 m).

La deuxième source de matériaux exploitée provient des formations primaires du Coniacien inférieur des environs des Eyzies. Il s'agit de la formation en place la plus proche de l'habitat. Elle se localise tout autour des Eyzies à l'exception du Nord-Nord/Est où elle disparaît en amont du fait d'une discordance stratigraphique (Figure 8). Une autre provenance très probable de ces silicifications coniaciennes est à rechercher dans les dépôts à silex de la vallée de la Combe et du Moulinet (Figure 9). Les nodules y ont été prélevés au pied des formations où certains d'entre eux ont subi un premier traitement technique avant d'être acheminés sur quelques kilomètres jusqu'à l'abri du Musée.

Gîtes : La Rouquette (Les Eyzies)
Formation : primaire en place
Matériau : silex
Géologie : Coniacien inférieur

Figure 8 - *Formations primaires du Coniacien inférieur.*

Vallon de Carmensac (La Combe)

Gîtes : La Combe et Mendès
Formation : primaire en place
Matériau : silex
Géologie : Coniacien inférieur

Vallon du Moulinet (Mendès)

Figure 9 - *Formations primaires du Coniacien inférieur.*

Egalement proches de l'habitat et à des distances assez similaires de celles de la première source de matière première, les formations de versants et dépôts colluvionnés chargés d'éléments siliceux (surtout santoniens) provenant des plateaux ont fourni un matériau d'appoint (Figure 10). Ces nodules siliceux, plus ou moins corrodés et altérés par le transport et les agressions physico-chimiques sont de qualité très variable. Ils se rencontrent relativement fréquemment dans l'environnement.

Gîtes : Peyreblanque (Les Eyzies)
Formation : altérites
Matériau : silex (+ calcédoine Séno.)
Géologie : Santonien moyen et supérieur

Figure 10 - Altérites du Santonien.

A travers cette démarche nous avons pu évaluer de manière rationnelle les choix et/ou les possibilités d'acquisition des matériaux à l'époque de l'occupation de l'abri et, en fonction de cela, déterminer l'accessibilité aux matériaux ou aux dépôts concernés, mais aussi leur altitude, fréquence,... Cette approche nous a également amené à délimiter les zones envisageables ou probables de provenance des différentes catégories lithologiques formant l'assemblage.
Aussi, il nous a été permis, sur des critères «d'absence» et «de présence» de matériaux spécifiques, de préciser au sein d'un territoire théorique, la localisation et le degré de fréquentation de certaines zones par les moustériens[2].

Conclusion

Nous résumerons donc ainsi : le croisement des données peut dans certains cas permettre d'atteindre, au-delà des limites de nos connaissances, des domaines auxquels nous ne pensions pas pouvoir accéder. Certains biais nous donnent parfois l'opportunité de remédier à l'absence de documents, ou d'éléments et d'accéder à l'information de manière indirecte. C'est précisément ce cheminement que nous avons voulu considérer à travers l'exemple très synthétique présenté ici, sur la nécessité de la prise en compte et de l'intégration systématique des caractères discriminants, fondamentaux, et la place qui doit leur être donnée dans le processus analytique d'une série industrielle.

(1) - Nous les remercions tous deux pour leur accord quant à la mention faite ici des résultats inédits dont la publication est en cours. Ces remerciements s'adressent également à Jean-Paul Lhomme pour la cartographique des figures 2 et 11, à Philippe Jugie pour les clichés de la figure 4 et à Stéphane Madelaine pour la relecture du texte. Sauf mention contraire les photos, graphiques et autres illustrations sont de l'auteur.
Toute utilisation même partielle de ce travail inédit nécessite l'accord de l'auteur.

(2) - compte tenu de la thématique retenue, les aspects techno-économiques, menés en collaboration avec L. Bourguignon, n'ont pas été développés ici, mais seront intégrés à la publication à paraître.

Matières et cultures au Paléolithique moyen : un retour sur expérience

Jean-Paul RAYNAL[1] et Marie-Hélène MONCEL[2]
(1) - Université Bordeaux 1 sciences et technologies, UMR 5199 PACEA, IPGQ, Bât. B18, av. des Facultés, F-33405 Talence et Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Deutscher Platz 6, D-04103 Leipzig
jp.raynal@pacea.u-bordeaux1.fr
(2) - Département de Préhistoire, Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR 7194, 1, rue René Panhard, 75013, Paris, France, moncel@mnhn.fr

L'analyse des différences de comportement entre Néandertaliens et Hommes anatomiquement modernes repose aujourd'hui très largement sur les modalités d'occupation des espaces et la gestion des ressources. Parmi ces ressources, l'étude des matières premières lithiques occupe une place privilégiée dont les résultats, au-delà des expressions cartographiques au premier degré qui en constituent la trame, doivent entrer dans une réflexion plus franchement sociale et culturelle. Parmi les interrogations inhérentes à cet exercice, on reviendra notamment sur la signification des matériaux lointains importés, sur l'adéquation des parcours de territoires suggérés et sur la signification démographique et culturelle des espaces parcourus.

Pourquoi un retour sur expérience ? Une longue mise en oeuvre régionale (qui se compte en décennies) a précédé et accompagné la mise au point de la méthodologie pétroarchéologique et de nombreux allers-retours (terrain-collections et géologues-archéologues) ont été nécessaires pour tester la méthode désormais appliquée tant en domaine carbonaté (riche en silex) que non-carbonaté (moins riche en sources mais plus diversifié en processus de genèse des silex) (Fernandes 2006, Fernandes et Raynal 2006, 2007, 2010, Fernandes *et al.* 2006, 2007, 2008, Moncel et Fernandes, 2008). Outre la mise au point méthodologique et la révision approfondie des bases géologiques régionales, une prospection archéologique adaptée devait être réactivée, notamment pour recenser les localités ayant fait l'objet d'activités de mise en forme et de débitage de produits destinés à être exportés (ateliers *sensu stricto* ou sites d'activités associés aux gîtes de silex). La production de résultats comparables, puisqu'obtenus avec une méthodologie commune, permet désormais de reprendre la réflexion.

La pétroarchéologie du silex permet de répondre à plusieurs questions importantes désormais classiques pour la compréhension des processus d'exploitation des territoires paléolithiques. Où sont les gîtes des matières utilisées ? En quelle proportion ont ils été collectés? Quelles sont les distances parcourues *a minima* ? Mais les directions de parcours et les modes de circulation des hommes dans leur territoire exploité, en fonction de la topographie et du sens donné aux formes du relief et de manière plus générale aux lieux collectés, restent hors de portée de la connaissance. Sous quelle forme arrivent et/ou partent les matériaux (détermination des imports et/ou des emports ; caractérisation de chaînes opératoires complètes ou fractionnées) ? Pour des matériaux très particuliers (localisation/aspect), la caractérisation d'usages particuliers repose sur d'autres méthodes et reste très énigmatique, au-delà des simples aspects fonctionnels (tracéologie) ; rien n'ouvre vraiment de piste vers les aspects culturels néandertaliens liés aux matières.

Ces aspects, somme toute élémentaires, des activités de subsistance recouvrent en effet des processus plus complexes de cognition. S'il existe un niveau de cognition "immédiate", consacré à l'apprentissage par la transmission des savoirs et la mise en pratique de la connaissance approfondie des environnements et des ressources, il existe également, forcément, des processus de cognition "différée" qui se traduisent par l'existence de comportements spécifiques relatifs

aux matières qui échappent aux seules pratiques de subsistance et découlent de l'insertion des matières dans la structuration des mythes, dans les parcours initiatiques, dans la construction des paradigmes... encore faut-il accepter que les Néandertaliens aient disposé des facultés autorisant de telles réflexions... C'est pourtant vers cette sphère cognitive (Wynn 2003, Burke 2010) que doivent maintenant s'orienter les investigations pétroarchéologiques, même si les fils conducteurs sont difficiles à mettre en évidence. Une piste réside sans doute dans l'appréciation plus précise de la répartition saisonnière des activités au sein d'un territoire et donc dans la définition de ce dernier.

Les travaux récents dans le sud-est du Massif central, entre Velay et vallée du Rhône, ont apporté des éléments originaux qui conduisent à envisager des modèles de parcours et de résidence différents de ceux classiquement identifiés dans d'autres régions européennes (Daujeard et Moncel 2010). Comment interpréter ces résultats ? Dans un modèle de type "circulating", des groupes mobiles pratiqueraient des occupations saisonnières de durée différentes selon les activités et les saisons, les matières donnant une idée de la taille du territoire parcouru et exploité. Dans un modèle de type «logistic», en revanche, on distinguerait camps de base et sites spécialisés. Que signifie donc la mobilité des pièces ? De quelle circulation s'agit-il : d'objets échangés (de valeur utiliaire ou symbolique ?) ou d'objets mobiles transportés par les hommes ? Les différents matériaux indiquent-ils des étapes dans un parcours du territoire, que cela soit une étape dans un site d'habitat ou sur un gîe pour préparer les pièces ? Le besoin de combiner stratégies de subsistance et gestion des matériaux (types et distances) implique que soit dans chaque cas bien défini les notions de «local», «semi-local» et «lointain» qui varie selon les régions et leur richesse en silex.

Deux exemples ardéchois appuient ces réflexions.

Dans le site de Payre (Fernandes *et al.*, 2010) (figure 1, A), l'étude pétroarchéologique indique une circulation nord-sud sur la rive droite du Rhône, l'importation de quelques pièces en matières relativement lointaines (60 km) et un approvisionnement massif dans des gîtes variés à faible distance (5 à 30 km) et en diverses autres roches locales. En position d'accès facile au domaine méso-montagnard par les hautes vallées des affluents de rive droite du Rhône, le site est considéré comme un camp de chasse saisonnier (Daujeard et Moncel, 2010). Les matériaux les plus lointains n'ont pas fait l'objet d'une préparation spécifique et ont été travaillé de la même manière que les silex locaux.

Dans l'abri des Pécheurs (Fernandes *et al..*, 2008, 2010) (figure 1, B), on observe un usage massif du quartz local. Les apports de silex se font sous forme d'éclats bruts et retouchés de taille variée et les nucléus sont rares. La retouche des pièces en silex est attestée sous forme de micro-éclats. Ces objets participent donc activement à l'occupation et bougent de site en site (notion de «tool kit»). Si les matières indiquent l'exploitation d'un vaste périmètre tourné vers l'Est, le site est néanmoins situé à proximité du domaine méso-montagnard facilement accessible par les hautes vallées du Chassezac et de l'Ardèche. Il est considéré comme une halte très brève (Daujeard et Moncel, 2010).

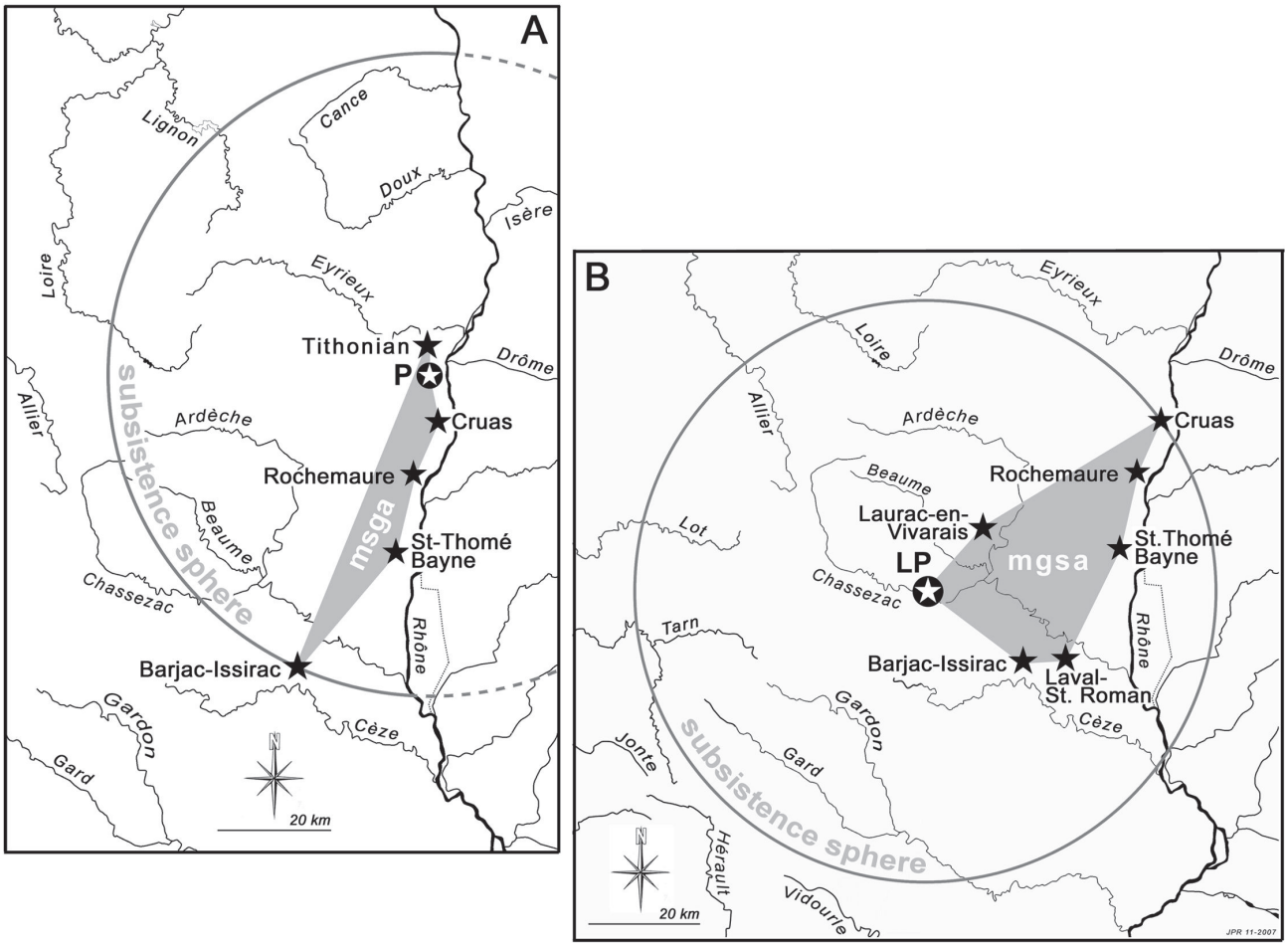


Figure1 – Les territoires minimums exploités, tels qu'ils sont perçus à travers les matières premières et les domaines potentiels de subsistence pour les sites du Paléolithique moyen ancien de Payre (A) et du Moustérien de l'abri des Pêcheurs (B) (d'après Fernandes et al, 2008, 2010)

Derrière les mots, subsistent les difficultés d'estimation des distances réelles parcourues, de la mise en évidence des itinéraires suivis, de la durée réelle des occupations (que signifie court ?), de la signification réelle de la mobilité des objets (au-delà du seul principe de qualité de la matière) etc. Dans la grotte de Sainte-Anne I, en Velay, territoire de moyenne montagne (figure 2) les objets en silex utilisés par les Néandertaliens révèlent un spectre relativement large de ressources locales (rayon de 1 à 17 km), régionales (rayon de 17 à 46 km) mais aussi nettement plus lointaines (Fernandes et Raynal, 2007). Les plus éloignées, proviennent principalement de gîtes d'extraction, de mise en forme et de débitage, qui bornent apparemment l'espace parcouru. Ce «bornage» délimite-t-il réellement ce que nous appréhendons comme un territoire saisonnier dans sa globalité, résultat de déplacements rayonnants autour d'un camp de base saisonnier ? Est-il au contraire le résultat d'une vision cumulée de points d'entrée pour des parcours d'origines et de tracés différents dans un espace saisonnier d'exploitation où la grotte ne représente qu'une étape connue ? Différents parcours au sein d'un espace signifie-t-il différents moments de la vie d'un même groupe ou bien le même espace fut-il partagés par des groupes humains différents ?

Les travaux récents ont montré que les espaces minimum de subsistance des différents gisements, établies sur la base des géo-espaces effectivement parcourus d'après la répartition des sources collectées de géo-matières, suggéraient la possibilité de recouvrements d'espaces exploités et donc permettaient de se poser légitimement les questions de la pluralité culturelle dans un même espace ou *a contrario*, de la complémentarité (saisonnière ?) de territoires d'exploitation pour un même petit groupe humain démographiquement stable, sans division des tâches (Bocquet-Appel, 1986 ; Bocquet-Appel et Arsuaga, 1999 ; Kuhn et Stiner, 2006).

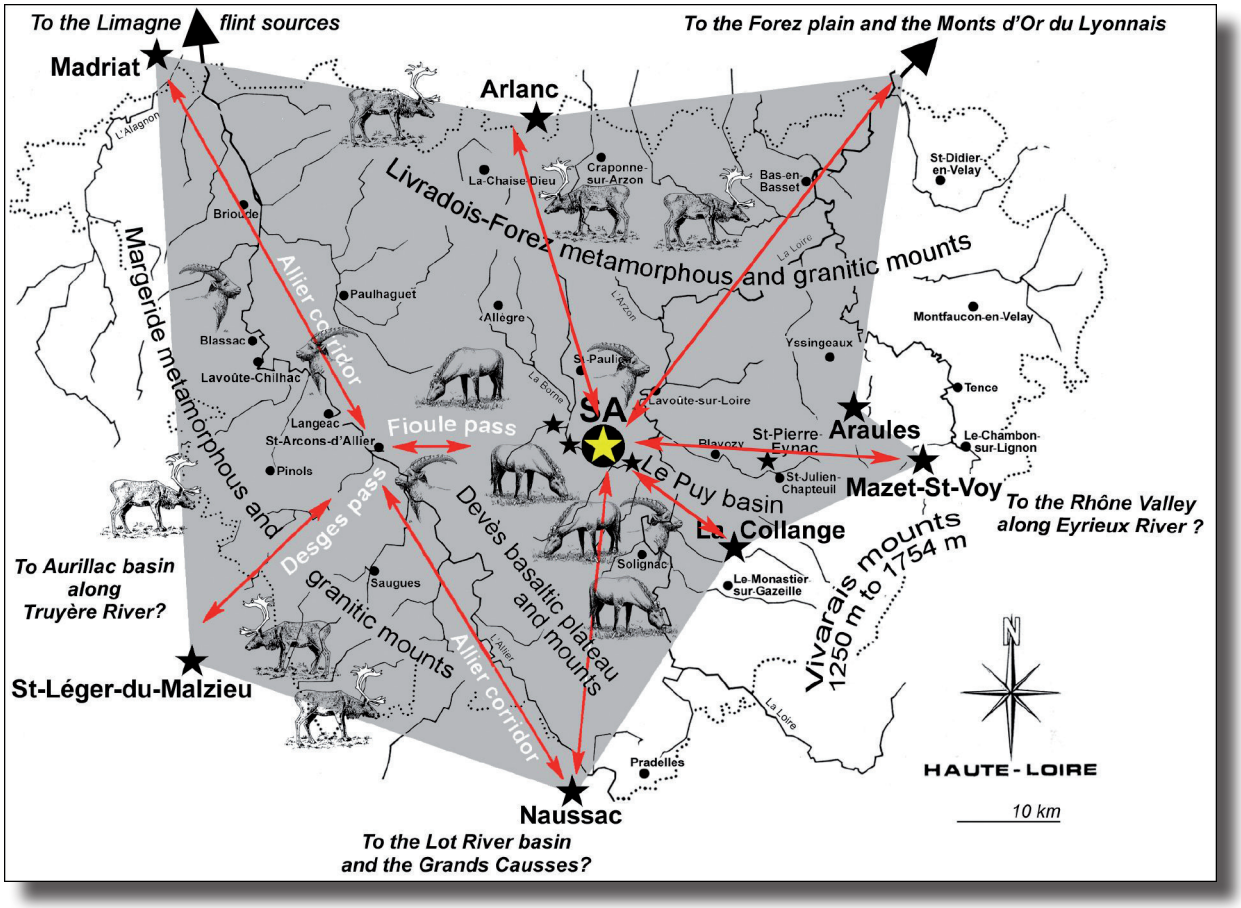


Figure 2 – Itinéraires potentiels au sein d'un domaine minimum de subsistance borné par les sources de matières premières avec preuves de transformation sur place (étoiles) pour les occupations du Paléolithique moyen ancien del'unité J1 de la grotte de Sainte-Anne I (Polignac, Haute-Loire) (d'après Fernandes et al., 2008, modifié).

La résolution insuffisante des données, même produites par les fouilles les plus récentes, laisse présager que notre vision ramenée dans une unité de temps artificielle, recouvre en fait l'existence de parcours multiples sur des parties d'un territoire (ethnique, symbolique ?) forcément plus vaste que les espaces circonscrits par la seule distribution géographique des plus lointaines sources de matières ; la possibilité d'échanges de matières ou d'objets entre groupe contemporains, au sein d'un espace topo-culturel partagé, par exemple lors de regroupements (échanges génétiques inévitables et indispensables entre de petits groupes), ajoute à la complexité. Une certaine dimension paléo-démographique est ainsi perceptible, avec l'aide de l'archéozoologie par exemple (Daujeard et Moncel, 2010). Enfin, considérant le tracé des espaces minimum de subsistance, on observe une récurrence d'exploitation des géo-ressources, partagée par les Néandertaliens jusqu'aux tous derniers Moustériens (figure 3) et cette pérénité, bien qu'adaptative, a très certainement une signification autre que simplement géo-déterministe (perception de l'espace, gestion temporelle, transmission des savoirs).

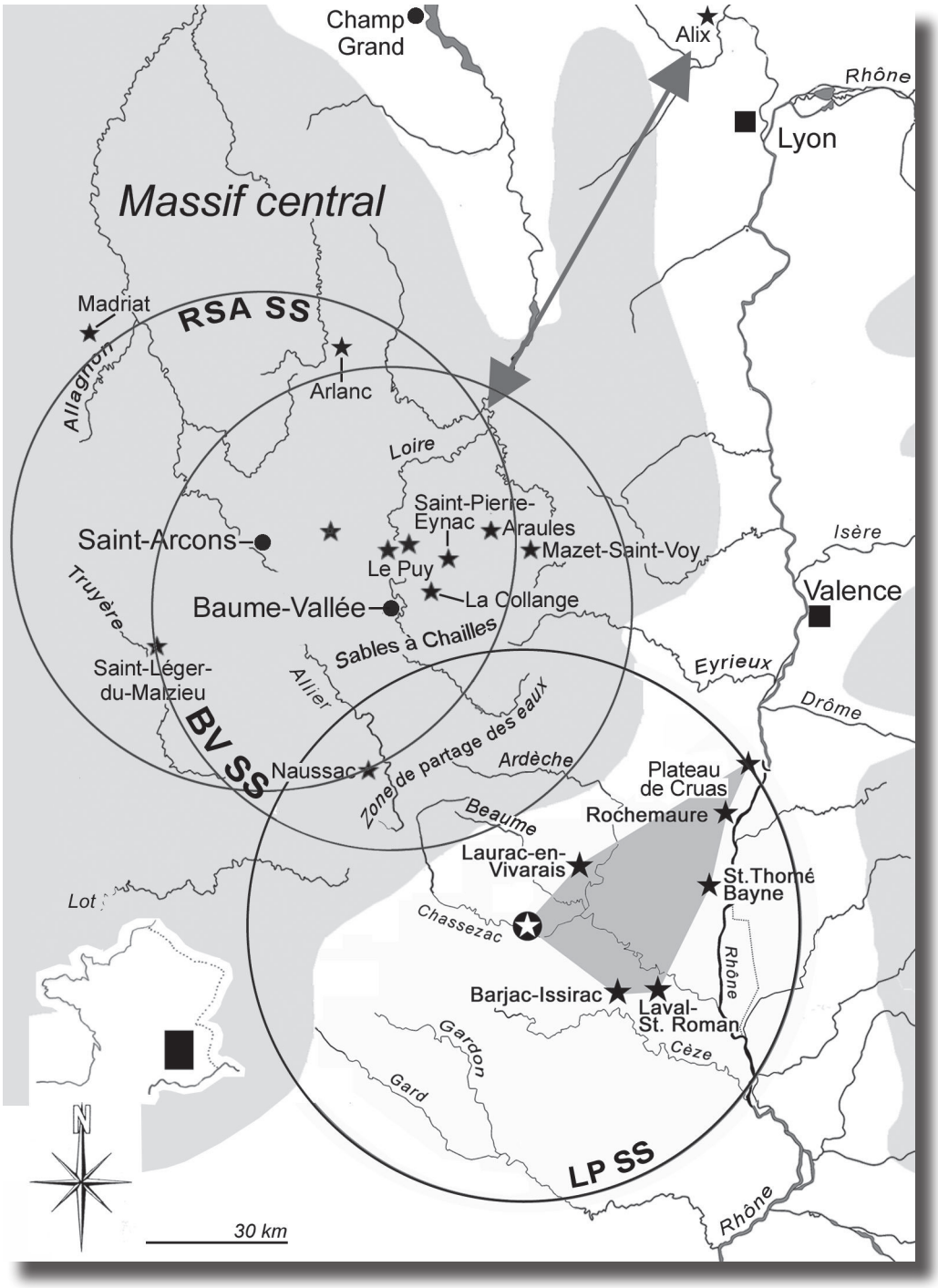


Figure 3 – Recouvrement des aires de subsistance des occupants de l'unité inférieure de Moustérien charentien (80 ka) de Baume-Vallée à Solignac-sur-Loire), du Moustérien récent de l'abri du Rond à Saint-Arcons (Haute-Loire),et du Moustérien de l'abri des Pêcheurs (d'après Fernandes et al., 2008, 2010, modifié).

Outre les facteurs limitant des interprétations que sont les biais de préservation et les processus de formation des sites (palimpsestes, pièces migrantes inter-couches, difficultés pour apprécier la durée des occupations etc) il convient d'insister sur le rôle limitant de la topographie régionale (si il est possible de l'estimer en fonction des capacités physiques des Néandertaliens, de l'évolution des topographies et de l'anthropisation actuelle des paysages) mais de minimiser l'obstacle des cours d'eaux : le franchissement de l'Ardèche est attesté à l'Abri du Maras par la collecte de matières sur le plateau au sud de la rivière (import de plaquettes de silex tertiaires)... En revanche, les barrières montagneuses restent un facteur limitant en raison, par exemple, d'un fort enneigement saisonnier, à moins que ces zones de naissance des fleuves et rivières ne revêtent une toute autre signification : des raisons qui ont pu contraindre des aires de subsistance indépendantes, malgré leur recouvrement potentiel, et déterminer alors

des itinéraires de contournement. C'est pourquoi nous pensons qu'il est possible d'affiner nos interprétations de la mobilité et des itinéraires par la prise en considération des petites séries et des découvertes sporadiques, qui sont soit des pièces résiduelles de sites détruits, soit des pièces perdues lors de passages de un à quelques individus qui s'arrêtent, ou non, dans des endroits précis : leur localisation, la détermination des types d'objets (qui souvent des outils finis), l'origine lointaine ou locale des silex sont autant d'éléments à caractères hautement informatifs et à caractères cognitifs. Subsisteront cependant les questions de datation, qui ne sont pas les moindres.

BIBLIOGRAPHIE

BOCQUET-APPEL J. P. 1985 - Small populations: demography and paleoanthropological inferences. *Journal of Human Evolution* 14, p 683–691.

BOCQUET-APPEL J.P., ARSUAGA J.L. 1999 - Age distributions of hominid samples at Atapuerca (SH) and Krapina indicate accumulation by catastrophe, *Journal of Archaeological Science*, 26, p 327-338.

BURKE A. 2010 - Spatial abilities, cognition and the pattern of Neanderthal and modern human dispersals. *Quaternary International*, DOI 10.1016/j.quaint.2010.10.029.

DAUJEARD C., MONCEL M.H. 2010 - On Neanderthal subsistence strategies and land use: A regional focus on the Rhone Valley area in southeastern France, *Journal of Anthropological Archaeology* 29, p 368–391

FERNANDES P. 2006 - *Pétroarchéologie des matériaux siliceux utilisés au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : méthodologie et résultats préliminaires*. Mémoire de Diplôme de l'EHESS, Toulouse, 198 p.

FERNANDES P., RAYNAL J.P. 2006 - Pétroarchéologie du silex : un retour aux sources. *Comptes Rendus Palevol*, Volume 5, Numéro 6 (septembre 2006), Elsevier, Paris, p 829-837.

FERNANDES P., RAYNAL J.P. 2007 - Les matières premières siliceuse (hors roches tenaces) du niveau J1 de la grotte de Sainte-Anne 1 (Polignac, Haute-Loire). *in La grotte de Sainte-Anne 1. Le Paléolithique moyen de l'unité J1,* Les Dossiers de l'Archéo-Logis, n°4. p 59-98.

FERNANDES P., RAYNAL J.P., MONCEL M.H. 2006 - L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : premiers résultats pétroarchéologiques. *Comptes rendus Palevol*, Volume 5, Numéro 8 (décembre 2006), Elsevier, Paris, p 981-993.

FERNANDES P., RAYNAL J.P. 2010 - *in* : *Silex et territoires préhistoriques. Avancées des recherches dans le Midi de la France*. Les c@hiers de Géopré ® n°1. Publication électronique.

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*, Volume 6, n°,8 (décembre 2007) Elsevier, Masson SAS, Paris, p 557-568.

FERNANDES P., RAYNAL J.P., MONCEL M. H. 2008 - Middle Palaeolithic raw material gathering territories and human mobility in the southern Massif Central, France: first results from a petro-archaeological study on flint, *Journal of Archaeological Science* 35, p 2357-2370.

FERNANDES P., MONCEL M.H., LHOMME G. 2010 - Ressources minérales et comportements au Paléolithique moyen: Payre et l'Abri des Pêcheurs (Ardèche, France), *Rivista di Scienze Preistoriche* LVII, p 31-42.

KUHN S.L., STINER M.C. 2006 – What's a Mother to do ? *Current Anthropology*, 47-6, p 953-980.

MONCEL M.H et FERNANDES P. 2008 - Matières premières, type d'approvisionnement et traitement des roches. *in Le site de Payre – Occupations humaines dans la vallée du Rhône à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur*, ss la dir. de M.H. Moncel, Mémoire de la Société Préhistorique Française XLVI, p 155-170.

WYNN T. 2003 - Archaeology and cognitive evolution. *Behavioral and Brain Sciences* 25 (3), p 389-402.

Les matières siliceuses dans le Gers, au carrefour entre Pyrénées et Périgord ; état de la question, implications et enjeux

Foucher P., Millet D., Millet F., Séronie-Vivien M.-R., Séronie-Vivien M., Duclos G.

Cet article a pour objectif de fournir un panorama actualisé des ressources en matières premières siliceuses dans le bassin versant du système Adour-Arros-Baïse, au débouché du Plateau de Lannemezan, région qui correspond grosso modo à l'ouest du département du Gers et à ses zones limitrophes avec les Hautes-Pyrénées et les Landes. Après une présentation des gîtes déjà connus (silex de Courensan, silicifications de la Ténarèze, grès du Bas Armagnac…) et de leur contexte géomorphologique, sera évoqué la découverte récente de nouveaux gîtes alluvionnaires à silex à lépidorbitoïdes. Ces données seront croisées avec le réseau de sites paléolithiques afin de pouvoir esquisser une première approche de l'économie du silex dans ce territoire encore trop méconnu, mais qui s'avère riche en potentialités de découvertes. Enfin, nous élargirons notre point de vue géographique en évoquant la place qu'occupe cette région au sein des circuits d'échanges au Paléolithique supérieur, entre le Périgord et les Pyrénées.

Objectifs pour 2011

OBJECTIFS POUR 2011

Ces cinq années ont permis d'établir un inventaire des ressources minérales disponibles en Rhône-Alpes. Mais la masse de données ainsi recueillie impose encore un investissement lourd en analyses en laboratoire. Le projet en 2011 s'adaptera davantage aux besoins des archéologues professionnels et amateurs œuvrant dans les huit départements. L'objectif principal du programme sera : la finalisation de l'inventaire des lithothèques régionales (Dolomieu à Grenoble, Capra à Valence et le Musée D'Orgnac en Ardèche). Il faut poursuivre la démarche déjà engagée, en enrichissant, en valorisant et en pérennisant ces collections. Cette approche est essentielle si l'on veut consolider un contexte propice à la mise en évidence des circulations de silex dans la région.

Finalisation des inventaires descriptifs des lithothèques régionales

La confirmation récente du déménagement des collections de l'institut Dolomieu vers le nouveau campus de Grenoble ou le Musée Dauphinois a guidé notre projet pour l'année 2011. Ce déplacement ne comprend pas la lithothèque et ses responsables, les membres de l'Association AVDPA craignent qu'elle disparaisse physiquement avant même qu'elle ait été étudiée.

Cette lithothèque d'une richesse unique (les premières collectes datent des années soixante) rassemble des roches siliceuses provenant de l'Isère et de tous les autres départements de la région Rhône-Alpes. C'est un outil de référence indispensable pour déterminer la provenance des silex présents dans les sites archéologiques départementaux et régionaux.

Cette collection ne doit en aucun cas disparaitre. Elle est le résultat d'un grand nombre d'efforts personnels et collectifs émanant de professionnels et d'amateurs venus de disciplines et d'horizons divers. Face à l'urgence il a été décidé de commencer par l'étude, de la totalité des échantillons de cette collection selon le protocole présenter dans ce rapport

Dans un deuxième temps nous engagerons l'étude de la lithothèque du Centre d'Archéologie Préhistorique du Rhône aux Alpes, UMR 5138 CNRS La Maison du Drapier à Valence. A l'heure actuelle, cette collection est sous exploitée, inventaire incomplet et absence de caractérisation précise l'empêchent de remplir sa fonction de base de données utile à la résolution des problématiques de l'archéologie moderne. Enfin il faudra terminer l'étude déjà bien avancée des échantillons géologiques présents au Musée d'Orgnac.

Prospections

Comme les années précédentes il est prévu de poursuivre l'acquisition de données nouvelles. Un soin tout particulier sera porté aux secteurs les moins visités. En outre, de nouvelles erreurs dans la base de données des gîtes, nous oblige à un retour sur place avec un GPS afin de finaliser ce document fondamental.

Etudes des séries archéologiques

Il n'est pas question de disperser les moyens de diagnose du PCR face à la masse de données à gérer. Il a donc été décidé de faire une sélection des sites qui demandent une étude dans les plus brefs délais. Les sites sélectionnés pour l'année 2011 sont les suivants : Saint-Bauzile, l'abri du Maras (Ardèche), Maumuye (Drôme), Le Gournier (Drôme), La Grande-Rivoire (Isère). L'étude des collections de Maumuye débutera au premier trimestre 2011.

Base de données et Cartographie

Le travail de cartographie initié en 2009 pour rassembler les gîtes primaires et leurs zones respectives de diffusions naturelles dans une seule base comprenant des données texte et image pose encore de nombreux problèmes : la qualité des données, le choix de l'échelle, l'inadéquation… Dans ce contexte, il convient de faire œuvre de prudence et de rigueur méthodologique dans l'exploitation des données géoréférencées insuffisamment qualifiées. Il nous semble donc encore prématuré de présenter en 2011 des résultats sans passer par un travail de rédaction d'un thésaurus.

Conclusion

Le travail fédératif engagé par les membres du PCR a franchi une étape en œuvrant à l'harmonisation des méthodes de caractérisation à l'échelle internationale. Certes l'inventaire, l'étude et la valorisation des matières premières siliceuses en Rhône-Alpes restent nos préoccupations principales mais les problèmes récurrents qu'engendre l'étude de l'origine des silex nous poussent à prendre des responsabilités qui dépassent nos objectifs initiaux. Le réseau tissé avec la plupart des chercheurs impliqués dans les problématiques relatives aux roches siliceuse permet désormais d'impulser une dynamique de collaboration sur tout le sud de la France et le nord de l'Espagne. Déjà les informations circulent, les liens avec l'Aquitaine et la région Midi-Pyrénées sont forts, les contacts avec l'Inrap et des sociétés d'archéologie préventives nombreux, les équipes espagnoles de recherche (Tarragone, Barcelone) sont prêtes à engager de véritables collaborations. La proximité des questionnements pousse une majorité de chercheurs à faire le choix d'un protocole à minima commun. Il nous faut tous profiter de ces circonstances et «enfoncer le clou». La structuration de la pétroarchéologie située à l'interface de plusieurs champs disciplinaires dépendra du niveau d'harmonisation. L'année 2011 sera décisive, le travail engagé doit aboutir à la création d'un cadre méthodologique commun, facilitant l'émergence de normes descriptives reconnues, dans le cadre d'un programme collaboratif comme le P.C.R «Réseau de Lithothèques en Rhône-Alpes». Cette harmonisation des méthodes ne signifie par pour autant l'homogénéisation des outils et des protocoles. Elle doit tenir compte des pratiques existantes et des compétences acquises ; relier plutôt qu'imposer de façon unilatérale.

Annexe 1 : Lexique

Lexique : silex

Paul Fernandes [1], Michel Piboule[2], Jean-Paul Raynal[1]
(1) - UMR 5199 PACEA, Université Bordeaux 1, avenue des facultés, F-33405 Talence CEDEX
(2)- Prof. UJF Grenoble

Cet essai lexical regroupe une sélection des principaux mots et expressions utilisées ici. Il rappelle les significations usuelles ; celles-ci ont parfois été précisées, voire légèrement modifiées pour être adaptées dans leur emploi à la pétroarchéologie en raison d'un déficit de terme. Cet essai repose sur la sélection bibliographique. Des indications étymologiques ont été données seulement lorsqu'elles peuvent faciliter la compréhension ou la mémorisation du mot. Quelques termes ou expressions en langue anglaise ont été inclus sans être traduits car d'usage assez fréquent en géologie sédimentaire. Enfin le genre de certains termes posant des problèmes a été introduit. La définition des périodes géologiques suit l'échelle stratigraphique internationale de la carte géologique française qui repose sur les travaux de G.S. Odin, (IUGS, 2000).

abrasion : processus mécanique d'usure de la surface des roches par frottement avec d'autres matériaux et par impacts multiples des grains transportés par l'eau, la glace, le vent ou la gravité.

abyssal (océanologie) : qualifie le milieu marin situé à une profondeur supérieure à 3000m.

aciculaire (minéralogie) : qualifie l'habitus d'un minéral en forme d'aiguille.

acide (chimie) : qui a la propriété de libérer des cation H^+.

acide (pétrographie) : en géologie, on dit qu'une roche est acide si elle renferme plus de 60 % de silice.

acide silicique (chimie) : SiO_4H_4 : l'acide silicique et ses polymères présentent la faculté de pouvoir se condenser pour former progressivement à partir des dimères et des trimères des molécules de silice hydratée amorphe.

acidité (chimie) : qui a la propriété de libérer des cation H+.

acidité (pédologie) : provient de la composition chimique de la roche mère et/ou de l'évolution du sol, liées à la présence d'ions H^+, Al^{3+} et Fe^{3+}.

Acritarche (paléontologie) : (signifie d'origine inconnue), le terme Acritarche a été introduit pour la première fois par W.R. Evitt en 1963. Les acritarches sont des microfossiles à paroi organique, c'est-à-dire des palynomorphes, auxquels il n'est pas possible d'attribuer une affinité biologique avec certitude. La grande majorité des acritarches sont trouvés dans des sédiments marins. Par ailleurs d'après leur morphologie, leur distribution, et leur composition, ils sont supposés être du phytoplancton. Certains sont probablement des kystes de dinoflagellés trop mal conservés pour être correctement identifiés, d'autres appartiennent sans aucun doute aux algues vertes. Leur classification est basée sur la forme des ornementations. On distingue d'après Ch.Downie, W.R. Evitt, Sarjeant, (1963) 14 sous-groupes.

acidolyse (pédologie) : hydrolyse des minéraux primaires par des solutions acides, sans intervention directe des matières organiques.

adonte (zoologie, paléontologie) : type de charnière dépourvue de dent de certains lamellibranches. Pour les ostracodes (G. Bignot, 2001) charnière avec une valve dont le bord cardinal est creusé par un sillon dans lequel s'encastre l'autre valve.

adsorption (chimie) : attachement d'un ion ou d'une molécule à une surface minérale lié aux activités à l'interface entre solvant, soluté et surface.

adventif (algologie) : portion de thalle qui se trouve en position inhabituelle par rapport à l'organisation de l'algue (B. de Reviers, 2003).

aérobie (biologie) : mode de vie des organismes qui vivent dans un milieu contenant de l'oxygène. S'oppose à anaérobie.

agrégat (pétrographie) : agglomération désordonnée de matière, **2)** (Séronie-vivien, 1987), masse composée de plusieurs grains, résultant de la cimentation de pellets, bioclastes, intraclastes ou minéraux.

albite (minéralogie) : tectosilicate de la famille des feldspaths plagioclases : de formule chimique $NaAlSi_3O_8$. Elle cristallise dans le système cristallin triclinique. Elle existe à l'état secondaire dans certaines dolomies et calcaires cristallins.

alcali (chimie) : substance dont le pH est supérieur à 7 dans le sol, **2)** chimie moderne, un alcali désigne les bases, les hydroxydes métalliques, ainsi que l'ammoniaque.

alcalin (géochimie) : qualifie les roches riches en métaux alcalins (Na, K,…), pauvres en chaux (CaO) et qui cristallisent des feldspaths alcalins (albite, feldspath potassique) plutôt que des plagioclases.

alcyonaires (zoologie) : anthozoaires coloniaux de la famille des cnidaires.

algal dust (pétrographie) : micro-clastes anguleux à subangleux de 1 à 5 µm de diamètre dérivé de la fragmentation d'éléments algaires.

algal mat (biologie) (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987) : tapis algaire, dépôts sédimentaires fins liés à l'activité des cyanophycées*, qui se forment dans la zone supralittorale de la plate-forme interne. **2)** Couche algaire filamenteuse d'origine marine ou d'eau douce dans laquelle les cyanobacteries sont omniprésentes. Elle se forme dans des environnements peu profonds, régulièrement déshydratés et exhondés. Les Stromatolites* marines dans la zone intertidale* peuvent se former de cette façon (voir la Baie des Requins pour un exemple actuel).

alios (pédologie) : terme gascon adopté par le monde scientifique. C'est un grès, formé à l'origine par l'accrétion d'un sable ou d'un matériel détritique plus grossier et cimenté par des oxydes de fer, d'aluminium, de manganèse et de matières organiques.

allitisation (pédologie): altération extrême des roches aluminosilicatées, en climat chaud, humide et drainé, aboutissant à l'élimination des bases et de la silice par hydrolyse et à la précipitation de l'alumine (Al_2O_3) sous forme de gibbsite ($AlOH_3$).

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

allochimique (géochimie, pétrographie) : transformation chimique au cours du métamorphisme qui modifient la composition originelle de la roche. Ce type de processus (métasomatose* hydrique) concerne le métamorphisme de contact, le métamorphisme général et les altérations hydrothermales. (ant. topochimique*).

allochromatique (pétrographie) : couleur liée à la présence d'une petite fraction d'une phase chromogènes. Pour les silex : ce pigment conditionne la couleur originelle. Participe de façon variable différents types de pigments : minéraux avec les sulfures et oxydes métalliques ; organiques avec carbone, matière organique, bitume,… ; éléments chimiques avec fer, manganèse, titane…

alluvial (géologie) : qualifie un dépôt détritique apporté par les eaux fluviatiles.

alluvions (géologie) : sédiments déposés par un cours d'eau, on distingue plusieurs types d'alluvions les alluvions fluviatiles, qui sont déposées par un fleuve ou une rivière - les alluvions fluvioglaciaires qui sont déposées par l'eau de fonte d'un glacier - les alluvions fluviomarines qui s'accumulent dans les estuaires.

altérite (pétrographie) : roche résiduelle, en place ou peu déplacée, issue de l'altération d'une roche mère (protolite). Cette altération entraîne une transformation et une réorganisation du matériau primaire. les structures, textures, compositions minéralogique et chimique sont affectées. L'eau est le principal acteur à l'origine des processus d'altération. Au plan des bilans géochimiques, elle conditionne les départs et les apports.

altération (pédologie) : dans un sens restreint, il exprime l'altération chimique des roches dans les conditions superficielles. Les processus d'altération sont à la base de la genèse et de l'évolution des sols et des roches altéritiques superficielles. Pour les transformations physiques ou mécaniques nous ne parlerons pas d'altération mais d'usure*.

altération (pétroarchéologie) : pour les roches siliceuses, l'altération est une modification de la nature minéralogique par transformation physico-chimique de ses constituants minéraux initiaux sous l'action de l'eau par des d'agents principalement météoriques, hydrothermaux, voire biologiques.

altération biochimique (pédologie) : sous les climats froids, l'altération est conditionnée à la présence d'humus qui favorise à la fois la complexolyse* (solubilisation ou amorphisation de certains minéraux) et sous climat plus tempéré l'acidolyse* (entraînant la formation d'argile).

altération géochimique (pédologie) : sous les climats chauds (méditerranéen, tropical et équatorial), argilisation et précipitation des oxydes caractérisent ce type d'altération. La perte de silice prédomine sous les climats les plus chauds et les plus humides. **2)** pour (P. Duchaufour, 5ème éd, 1997), sous climat méditerranéen, il s'agit d'une hydrolyse* totale en milieu neutre, dépourvue de matière organique. Les minéraux les plus solubles sont la silice et les bases ; ces constituants sont le plus souvent éliminés selon la qualité du drainage. Par contre, les oxy-hydroxydes d'aluminium et de fer, précipitent et s'accumulent dans les sols et/ou dans la porosité des roches sous-jacente. Les conditions climatiques, le facteur temps et la nature pétrographique et minéralogique de la roche sont les principaux paramètres de ce processus (Pedro, 1979). 3) pétroarchéologie, ces transformations conditionnent les caractères du silex.

altération météoritique (pédologie) : altération des sols ou des roches sous l'action des agents atmosphériques.

altérologie (pétroarchéologie) : (P. Fernandes, 2008), domaine de la pétrographie qui étudie la désagrégation et les transformations des matériaux siliceux soumis à l'altération et à l'usure. Elle établit les bilans physico-chimiques liés à l'évolution du matériaux. L'utilisation de ce terme est privilégiée sur celle du terme taphonomie qui se réfère plutôt à la paléontologie, au monde biologique après la mort.

alumine (chimie) : Oxyde d'aluminium, de formule Al_2O_3, à l'état naturel constitue une des phase principales de la bauxite et, à moyenne ou haute température le corindon. L'alumine est réputée inerte ou peu mobile, elle est souvent utilisée pour établir des bilans géochimiques d'altération.

alvéolaire (pétrographie) : qualifie une structure à petites cavités contiguës.

Alveolina : (Alvéolinidés) (paléontologie) : foraminifère benthique à test imperforé de grande taille (jusqu'à 10 cm) ; organisme en forme de grain d'avoine (fusiforme ou ellipsoïde) à petites cloisons transverses continues. Structure à spire enroulée sur elle même selon l'axe d'allongement, le dernier tour recouvre tous les autres, intérieurement les spires sont soutenues par des cloisons régulières. Les loges sont subdivisées en logettes par des cloisons longitudinales et rectilignes. Jurassique – Actuel, (A. Chavan et A. Cailleux, 1977).

amorphe (minéralogie) : définit un état de la matière dépourvu d'un réseau cristallin, caractérisé par l'absence d'arrangement des atomes. En minéralogie, ce terme n'a de sens qu'à condition de préciser l'échelle où l'on observe (G. Plaisance et A. Cailleux, 1958). Au microscope cet état est caractérisé par une isotropie* d'où l'absence de biréfringence*.

amorphisation (pédologie) : transformation du matériau dont les constituants minéraux sont, ou paraissent, non cristallisés. (Ex : fer amorphe, silice amorphe, gels divers,…) (Minéralogie) perte totale de périodicité de la structure cristalline dans les trois dimensions. L'ordre à grande distance de l'empilement atomique est perdu.

amphidonte (paléontologie) : type de charnière de la carapace de certains ostracodes, présentant un sillon encadré par deux dents et deux alvéoles.

anaérobie (biologie) : caractérise un organisme vivant dans un milieu dépourvu d'oxygène.

angstrom : (*Lar. 20e* Angstrœm, ou *unité d'*Angstrœm, 1920). Du nom du physicien suédois Anders Jonas Ångström (1814-1874) ; Å , unité de mesure utilisée en spectrométrie et en cristallographie pour définir les longueurs d'onde du rayonnement photoélectrique et les paramètres cristallographiques des minéraux (mailles, distances interréticulaires). Un Å $=10^{-7}$ mm et $1=10^{-4}$µm.

anhédral (minéralogie) :, minéral qui présente au microscope une forme quelconque (xénomorphe*), tributaire de la croissance des cristaux voisins. (ant.: euhédral et automorphe).

anhydrite (minéralogie) : sulfate de calcium anhydre ($CaSO_4$), orthorhombique, en cristaux tabulaires à trois clivages orthogonaux. En masse fibreuse ou granulaire dans les sédiments évaporitiques. Au contact prolongé avec l'eau, elle s'hydrate et donne du gypse.

anion (chimie) : ion négatif par excès d'un ou plusieurs électrons.

anisométrique (minéralogie) : s'applique à la texture d'une roche constituée d'éléments de tailles diverses.

anisotropie (minéralogie) : qualité d'un milieu dont certaines propriétés physiques (par ex. indice de réfraction) varient selon les différentes directions de l'espace. En optique cristalline elle concerne tous les systèmes cristallins à l'exception du système cubique et des substances amorphes. (ant. : isotrope).

ankérite (minéralogie) : carbonate ferreux, Ca (Fe, Mg, Mn) $(CO_3)_2$, rhomboédrique proche de la dolomite. L'ankérite participe à deux séries, une avec la dolomite CaMg $(CO_3)_2$), l'autre avec la kutnahorite Ca (Mn,Mg, Fe) $(CO_3)_2$), les deux séries minérales sont isotypes*.

anodonte (paléontologie) : charnière de certains organismes bivalves, dépourvue de dent (lamellibranches, ostracodes...).

antapex (paléontologie) : partie basale d'un dinoflagellé correspondant au pole antapical muni parfois d'un flagelle axial, ou d'une corne.

anthozoaires (zoologie et paléontologie) : appartient aux cnidaires. Les gorgones et les coraux actuels se rapportent aux anthozoaires.

apatite (minéralogie) : phosphate de calcium, $Ca_5(PO_4)_3(OH,Cl,F)$, système cristallin hexagonal, biréfringence faible, biaxe négatif. Le minéral présente un clivage imparfait et un éclat vitreux à résineux. Le radical OH peut être substituer en toute proportion par le chlore et ou le fluor ces substitution détermine la classification. On les classe en hydroxyapatites («Hap»), chlore-apatites («Cl-ap») et fluor-apatites («Fap») selon l'anion prévalent. Formule $Ca_5(PO_4)_3(OH,Cl,F)$. Les apatites *sstr* sont communes dans les roches magmatiques (fluorapatite, hydroxylapatite, selon l'anion prévalent). Les apatites hydrothermales ou métamorphiques sont fréquentes. Les apatites des roches sédimentaires ont une origine chimique et/ou biochimique. (eth. : *apato* en grec : trompeur , à multiples aspects).

apex (paléontologie) : partie sommitale d'une coquille ou d'un test. Chez les dinoflagellés l'apex correspond à la partie sommitale de la thèque* dite pole apical.

appareil flagellaire (paléontologie) : appareil locomoteur de certains organismes unicellulaires et des cellules mobiles.

appariement de formes (archéologie) : mise en correspondance de formes selon un esemble prédéfini de règles ou de critères.

aptychus (paléontologie) : fossile en arc de cercle généralement costulé ou ponctué que l'on rencontre seul ou par paire. On interprète ces restes comme des pièces operculaires d'Ammonoïdés.

aquifère (géologie) : désigne une nappe d'eau souterraine.

aragonite (minéralogie) : carbonate de calcium anhydre $CaCO_3$, polymorphe de la calcite, orthorhombique, en cristaux prismatiques. Dans l'aragonite peut se transformer en calcite au début de la diagenèse à basse température. Elle constitue de nombreuses coquilles d'invertébrés.

archéophyle (paléontologie) : ouverture des dinoflagellés. Elle permet, en partie, d'établir la classification de ces algues unicellulaires.

arénite (pétrographie) : (Duhnam, 1961 ; M. Slansky, 1992), roche sédimentaire, détritique meuble ou non, qui contient au moins 50% d'éléments figurés de 0,63mm à 2 mm. Cette terminologie descriptive peut être utilisée pou typer les silex dont la silicification respecte la granulométrie initiale du protolite.

argile (minéralogie) : groupe de phyllosilicates alumino-silicatés hydratés généralement monocliniques ou tricliniques. Pour leur détermination les techniques diffractomètriques sont obligatoires. Les structures cristallographiques sont constituées de 2 ou 3 feuillets à coordinations octaédriques ou tétraédriques. Les empilements des feuillets et leurs espacements interfoliaires sont variables selon les phases minérales. Ces structures sont dépendantes des substitutions du Fe et Mg sur l'aluminium octaédrique, de l'incorporation de potassium ou d'éléments alcalino-terreux et de l'effectif des ions OH. Les minéraux principaux sont la kaolinite, l'illite, les smectites (montmorillonite et beidellite), la glauconie, les argiles interstratifiées (vermiculite, chlorite, berthiérite, palygorskite et sépiolite). Les argiles sont principalement formées par lors des altérations météoriques ou hydrothermales des silicates (feldspaths, biotite,…).

argile (pétrographie) : roche détritique fine dont la taille des grains est inférieure à 4 microns (classe des lutites) et constituée de plus de 50% de minéraux argileux.
argilisation (pétrographie) : altération d'un minéral ou d'une roche dominée par la néoformation d'argiles (ex. : kaolinisation d'un feldspath potassique,…).

arkose (pétrographie) : (du grec archaios, ancien, primitif ; Brongniart, 1823). Arénite de la famille des grès, dérivée du granite et des granitoïdes, riche en quartz, contenant au moins 25% des feldspaths potassiques résiduels et moins de 15% de ciment (à silice, calcite et minéraux argileux,…).

assemblage ou association minéralogique (pétrographie) : Ensemble des phases minérales constituant une roche (équiv. : composition minéralogique).(voir paragenèse).

athéqué (paléontologique) : dépourvu de thèque.

attapulgite (minéralogie) : argile fibreuse où le magnésium substitue de façon importante l'aluminium hexacoordonné, de formule (Si_4O_{10}) $(Mg,Al)_2$ (OH). $4H_2O$. Ce minéral est fréquent dans les sédiments des milieux confinés (milieux évaporitiques). Syn de palygorskite.

authigène (pétrographie) : minéral qui se forme dans le sédiment au cours de sa diagenèse. (ant. : allogène).

automorphe (minéralogie) : minéral présentant une forme cristalline déterminée par des faces de croissance planes. xénomorphe).

autotrophe (biologie) : organisme qui consomme exclusivement des substances minérales pour élaborer sa propre matière organique. (anti. : hétérotrophe).

autunite (minéralogie) : phosphate d'uranium : Ca $(UO_2)_2$ $(PO_4)_2$ -$10H_2O$, quadratique, en cristaux tabulaires ou en lamelles, jaune à éclat nacré.

aven (karstologie) : gouffre résultant de la dissolution des calcaires proches de la surface.

Avicenniacées (botanique) : famille de plantes dicotylédones qui comprend 11 espèces du genre *Avicennia*. Ce sont des petits arbres et arbustes présents dans les mangroves des côtes tropicales.

axe optique (minéralogie) : En optique cristalline l'axe optique est perpendiculaire à une section dans laquelle l'indice de réfraction est constant (section cyclique ou isotrope). Les minéraux quadratiques, hexagonaux ou rhomboédriques sont uniaxes. Les minéraux orthorhombiques, monocliniques ou tricliniques sont biaxes. (Ex. : quartz : rhomboèdrique et uniaxe). (voir indice de réfraction**, signe optique, ellipsoïde des indices*, isotrope*, anisotrope*).

axillaire (botanique) : sur une tige à l'aisselle d'un rameau latéral.

azoïque (géologie) : roche ou terrain dépourvus de restes d'organismes fossiles.

bahamites (sédimentologie) : (Beales, 1958) :calcaires littoraux de plateforme à grains accrétionnés. **2)** Pour J.J. Blanc (1965) : calcarénite hétérométrique à intraclastes. **3)** ce sont des ooïdes à cortex, dépourvus de structure concentrique ou radiaire, parfois assimilés aux pseudo-oolithes par l'école française. La nature cryptocristalline , sans texture nette des bahamites résulte probablement d'un processus diagénétique syn-sédimentaire (cf. B.H. Purser, 1980) (*lump*)

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

base (chimie) : est un accepteur d'ions H^+.

basique (géochimie) : s'applique à une roche dont SiO_2 < à 52,5% en poids. **2)** roche magmatique pauvre en SiO_2, dépourvue de quartz, riche en MgO, FeO, CaO (ex. basalte 47,5%< SiO_2<52.5%).

bassin endoreïque (géomorphologie) : se dit d'un bassin sédimentaire ou d'une région intracontinentale où convergent les réseaux hydrographiques.

bassin sédimentaire (géologie) : dépression en forme de cuvette, dans lequel s'empilent des sédiments pendant une longue période.(voir basin tectonique, graben).

bassin tectonique (géologie) : dépression tectonique subsidente limitée par des failles normales sub-parallèles de la croûte (fossé tectonique ou graben).

bathyal (océanologie) : milieu marin compris entre 200 et 3000m de profondeur.

bafflestone (pétrographie) (Embry et Klovan, 1971) : roche carbonatée récifale autochtone construite. Texture comportant des organismes fossiles dressés en position biologique (madrépores, rudistes) ou non (crinoïdes, algues) et dont la matrice est constituée de fines particules piégées dans les interstices.

benthique (biologie) : qualifie les organismes vivants sur le fond marin, Le terme est repris en géologie pour définir les écosystèmes fossiles et les paléomilieux à roches biogéniques.

biaxe (minéralogie) : cristaux possédant deux axes optiques. Ils appartiennent aux systèmes cristallins : orthorhombique, monoclinique et triclinique. La bissectrice de l'angle des deux axes correspond soit à l'indice Ng (biaxe positif), soit à l'indice Np (biaxe négatif) (voir ellipsoïde des indices).

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

bindstone (pétrographie) : (Embry, Klovan, 1971), roche carbonatée autochtone à texture partiellement construite par des organismes tabulaires encroûtants (ex. : tapis stromatolitiques, algaires à lithophyllum,…).

bimodal(e) (pétrographie) : qualifie un sédiment ou une texture de roche dont la taille des éléments figurés constituent deux populations granulométriques avec une distribution statistique à deux maxima.

biocénose (ou biocoenose) (biologie) (K. Mobius, 1877), (Walther, 1900) : association d'organismes d'un même biotope, ayant des relations d'interdépendance. Par extension en géologie, accumulation de tests de fossiles ayant vécu sur place (non remaniés). Pour les silex, fossilisés le plus souvent à la surface des joints. (anti.: thanatocénose).

bioclastes (pétrographie) : dans les roches sédimentaires, éléments fossiles fragmentés, déplacés ou non. Clastoïde formé pour l'essentiel d'un fossile d'origine animale ou végétale, entier ou à l'état de fragment. La taille d'un bioclaste est supérieure ou égale à 4µm.

bioclastique (pétrographie) : sédiment ou roche qui contient une part significative de bioclastes.

biofilm (biologie) : communauté de micro-organismes (bactéries, champignons, algues….), adhérant entre eux et sur une surface à l'aide d'une matrice adhésive protectrice formant un biofilm. Ils peuvent se développer sur n'importe quel type de substrat (minéral ou organique). Les biofilms peuvent résister aux conditions de fossilisation. (ex. : *voiles algaires*)

biogénique (pétrographie) : roche d'origine biologique .

bioherme (géologie) : (Cumings, 1932) Partie circonscrite de récif fossile calcaire strictement sous la forme de lentilles ou de dômes à accumulation verticale, non litée et intercalée dans la stratification d'une série sédimentaire. Les principaux organismes constructeurs (en position de vie) sont les madrépores, les algues, les rudistes et accessoirement les bryozoaires.

biohome (océanologie) : vaste entité biogéographique définie par ses caractéristiques climatiques et ses populations végétales et animales. Pour le domaine océanique : ce sont les paramètres contrôlant la dynamique de sa couche superficielle qui permettent de les définir.

bioindicateur (indicateur biologique) (paléoécologie) : taxon, population ou association de bioclastes dont la présence ou l'absence témoigne de la nature du milieu paléoenvironnemental .

bio-rhexistasie (géologie) (Erhart, 1955), théorie expliquant l'alternance sur les continents de périodes d'instabilité climatique (couvert végétal réduit = rhexistasie), avec érosion et transferts à l'état solide, avec des périodes de stabilité climatique (couvert végétal dense = biostasie), conduisant à la formation de séquences binaires où alternent une sédimentation détritique et une sédimentation biochimique (et/ou chimique).

biostrome (géologie) : partie de récif fossile étendu stratifié, constitué et partiellement construit par des organismes sédentaires (Cumings, 1932).

bioturbation (sédimentologie) : modifications apportées à la structure initiale d'un sédiment meuble par l'activité des organismes vivants pénécontemporaine de la sédimentation.

biozone (géologie) : division biostratigraphique fondée sur le contenu fossilifère, l'apparition ou la disparition d'un fossile stratigraphique ou l'association caractéristique d'espèces fossiles.

biréfringence (minéralogie) : En optique cristalline, propriété d'un cristal anisotrope transparent qui divise la lumière en deux rayons réfractés. Physiquement elle s'exprime par la différence des deux indices de réfraction extrêmes d'une section du cristal ($\triangle N = Ng' - Np'$).(*cf.* teintes de biréfringence)

bird eyes (sédimentologie) : cavités à sections sub-sphériques ou ovales déterminées par la présence de gaz piégé lors de la sédimentation et de la diagenèse précoce. Dans les roches ces cavités sont colmatées généralement par une calcite sparitique. Ces structures s'observent le plus souvent dans les dépôts intertidaux à supratidaux.

bivalve (anatomie) : qui présente deux valves.

bivalve (paléontologie) : mollusque à symétrie bilatérale, protégé par une coquille calcaire (calcite et aragonite) à deux valves et présentant chacune un crochet. Chez les bivalves le plan de symétrie passe généralement entre les deux valves. Syn. Lamellibranche*, Pélécypode.

boehmite (minéralogie) : hydroxyde d'aluminium, Al O(OH), orthorhombique. C'est l'un des constituants des bauxites, des latérites et certains paléosols.

botryoïdal(e) (pétrographie) : agrégat en forme de grappe de raisin. Les formes sphériques sont constituées de cristaux fibreux radiaires. Ce type de texture ou la structure est fréquent dans les roches concrétionnées notamment carbonatées, siliceuses ou ferrugineuses.

boxwork (pétrographie) : cavité laissée lors de la dissolution d'un minéral dans sa gangue non soluble et conservant sa forme originelle.

boundstone (pétrographie) : (Dunham, 1962) : biolithite : structure construite d'un calcaire récifal. Certaines roches siliceuses de remplacement conservent l'aspect *boundstone* d'origine.

brachiopode (paléontologie) (A. Hancock, 1859) : groupe zoologique (phonorozoaire) à organismes bivalves fixé, à symétrie bilatérale et présentant du coté dorsal un crochet perforé (foramen). A l'opposé des lamellibranches le plan de symétrie est perpendiculaire au plan d'accolement des deux valves. Le foramen permet le passage du pédoncule de fixation.

brèche (pétrographie) : roche consolidée formée pour 50% au moins d'éléments anguleux de dimension supérieure à 2mm (en deçà il s'agit d'une microbrèche). La brèche est dite monogénique lorsque qu'elle contient des éléments de même nature et polygénique dans le cas contraire.

Buliminidea (paléontologie) : Super Famille, Foraminifères à tests calcaires perforés ou microgranuleux, typiquement trochospiralés à ouvertures virgulines. Ils comprennent les familles suivantes : *Buliminidae, Cassidulinidae, Ellipsoidinidae, Nonionidae, Chilostomellidae, Heterohelicidae.*

Buliminidae (paléontologie) : Famille de foraminifères trochospiralés, passant à une forme bisériée et unisériée. Elle comprend les sous-familles suivantes : *Bolivininae* et *Turrilininae*…

cacholong (joaillerie, minéralogie) (*cach : fleuve des Calmucks de Bucarie & cholon : pierre dans la langue des Calmucks d'après Brongniard, 1807)*. Terme russe employé pour désigner des types d'opales laiteuses. En minéralogie il désigne une calcédoine blanche. Repris par les préhistoriens pour décrire une type de patine blanche : surface blanc-lait, mate à l'intérieur, happant à la langue, parfois porcelanée. Terme source de confusion, à éviter.

calcaire (pétrographie) : roche sédimentaire carbonatée, composée de carbonate de calcium (calcite, $CaCO_3$). La roche peut contenir également de la silice, des argiles, de la dolomite, de l'aragonite ou de la sidérite. Sa dureté est faible. Elle fait effervescence à froid sous l'action d'un acide dilué.

calcaire construit (pétrographie) : calcaire constitué de squelettes d'organismes coloniaux fixés, sur le fond et capable d'édifier des récifs (biohermes ou biostromes). Syn. calcaire récifal.

calcaire coquillier (pétrographie) : calcaire qui contient de nombreuses coquilles.

calcaire dolomitique (pétrographie) : calcaire magnésien contenant au moins 50% de dolomite (CaMg $(CO_3)_2$). L'origine de la dolomite dans ce type de calcaire est variée : primaire et diagenétique, néogène et de remplacement.

calcaire graveleux (pétrographie) : calcaire grenu, granuleux formé par l'agglomération de grains carbonatés discernables à l'œil nu.

calcaire grumeleux (pétrographie) : à texture d'origine secondaire qui correspond aux *pseudo-allochems* de R.L Folk. A texture primaire à amas de pellets.

calcaire lithographique (pétrographie) : calcaire homogène à grain très fin (micrite). Une majorité des calcaires de ce type est caractéristique de dépôts à l'intérieur de lagons.

calcaire siliceux (pétrographie) : calcaire partiellement imprégné ou remplacé par une ou plusieurs phases siliceuses et contenant de 10 à 50% de silice.

calcarénite (pétrographie) : roche sédimentaire dérivée d'une arénite calcaire, à ciment carbonaté microcristallin ou sparitique.

calcédoine (pétrographie) : Roche siliceuse constituée généralement des formes fibreuses et/ou microcristallines du quartz . Généralement d'un blanc laiteux elle comporte de nombreuses variétés : calcédoine zonée (agate, onyx), calcédoine rouge (cornaline), calcédoine verte (chrysoprase), brune (sardoine), verte et rouge (héliotrope). Selon Lacroix (1900-1913) ce terme doit être réservé à une roche. Le terme calcédonite* doit être strictement utilisé pour désigner une variété fibreuse du quartz. Ses occurrences sont principalement filoniennes et hydrothermales.

calcédonite (minéralogie) : polymorphe (?) prismatique trigonal du quartz non reconnu par l'Association Internationale de Minéralogie (IMA) et sa commission (CNMNC). Terme utilisé pour désigner l'habitus microcristallin fibreux d'une variété de quartz (F. Arbey, 1980). Pour C.W. Correns et G. Nagelschmit, (1933), la calcédonite représente une association de cristallites de quartz alternant avec de fines couches d'opale. Chaque fibre est constituée de cristallites à axe c perpendiculaires à l'allongement de la fibre ; les axes peuvent tourner autour de la fibre, ce qui entraîne une variation de sa biréfringence. Pour G. Millot (1963) les propriétés de la calcédonite sont assez différentes de celles du quartz par la densité plus faible (de 2.57 à 2.64), la teneur en eau (de 0.5 à 2%) et les indices de réfraction légèrement plus bas (1.53 à 1.54). Ses autres propriétés optiques de reconnaissance sont une biaxie positive et un allongement négatif.

calcédonite à enroulement (minéralogie) : cette variété, dite aussi torsadée, possède une biréfringence variable le long d'une même fibre, qui se traduit sur une section en éventail par l'existence de zones d'extinctions dentelées.

calcite (minéralogie) : carbonate de calcium, $CaCO_3$, prismatique trigonal, d'habitus automorphes en rhomboèdre, scalénoédres ou xémomorphe granulaire massif ou fibreux. Sous le microscope elle est incolore ou faiblement colorée en brun (LPNA). Sa biréfringence est élevée (teintes du 3ème ordre). Elle est le principal constituant des roches sédimentaires calcaires et de certaines roches métamorphiques (marbre, cipolin,…). La calcite est l'un des polymorphes du carbonate de calcium.

calcrete : (géologie) (G. W. Lamplugh, 1902) : en français calcrète ou croûte calcaire, terme regroupant différents types d'accumulations calcaires en couches individualisées continues à la surface et dans les formations superficielles (Vogt, 1984).

calpionnelles (paléontologie) : (Th. Lorenz, 1901), Protozoaire fossiles en forme d'urne, du groupe des Infusoires ciliées, à rapprocher des Tintinnoïdiens actuels très certainement pélagiques. (G. Bignot, 2001). Leur coque calcitique fibro-radiée, de petite taille (45 à 150 mm) est appelée lorica. On en connaît 15 genres et une quarantaine d'espèces. Leur distinction est fondée sur l'aspect en section axiale de l'ouverture et du col. Elles apparaissent brusquement à la fin du Jurassique, manquent à l'hauterivien et réapparaissent au Barrémien pour définitivement disparaître à la fin de l'Albien. Ce sont d'excellents fossiles stratigraphiques.

canalicule (pétrographie) : petit canal irrégulier dans une roche généralement issu de la dissolution. Il facilit la circulation des solutions et la dissolution de la matrice ainsi que le dépôt de particules transportées et des minéraux tardifs à ses parois.

canalicule (paléontologie) : petit canal, petit conduit. (ex. : vide central de certains spicules).

capillarité : mécanisme lié à la tension superficielle lorsque l'eau s'insinue dans les interstices d'une roche.

carbonates (minéralogie) : famille de minéraux caractérisés par l'ion $(CO_3)^{2-}$; trois d'entre eux sont abondants : la calcite, l'aragonite et la dolomite.

catagenèse (pétrographie) : (Fersman, 1922), diagenèse tardive d'une roche sédimentaire, loin des conditions qui lui ont donné naissance ; une étape de la postgenèse, postgenèse pré-dépositionnelle et post-dépositionnelle. (cf. Dunoyer de Segonzac)

cation (chimie) : ion à charge électrique positive par défaut d'un ou plusieurs électrons.

cérithe *(Cerithium)* (paléontologie) : Gastéropode commun des milieux marins littoraux, à coquille turriculée (Tertiaire - Actuel).

cespiteux (paléontologie) : chez les algues, se dit d'un thalle dont plusieurs axes principaux (tiges), sont issus en touffe de la même base. S'oppose donc à l'état où la base n'engendre qu'une seule tige (B. de Riviers, 2000).

chaille Ethym. 1er tiers XIVe s. *caille* «pierre» (interprétation de T.-L. et de *FEW* t. 2, p. 95b), 1491 «construction de pierre dure» (*Bulletin archéol. Touraine*, t. 5, p. 207) ; Terme d'acception variable et souvent contradictoire. Terme source de confusion, à éviter.

chaîne évolutive (pétroarchéologie) : ensemble des processus affectant un silex au cours de son histoire (diagenèse, post-genèse et catagénèses pré et post-dépositionnelles).

Chara (botanique) : genre du groupe des charophytes.

characées ou charophycées : famille incluant plusieurs groupes d'algues vertes dont les charophytes.

charophytes (botanique) groupe de végétaux appartenant aux algues vertes et vivant dans les eaux douces ou saumâtres. Elles sont composées d'un axe portant des rameaux à la naissance desquels fructifient des oogones. Ces derniers sont appelés gyrogonites à l'état fossile.

chert (pétrographie) : terme anglais d'acception trop large à utiliser en français pour designer des silicifications en nodules ou bancs aux limites floues dans des roches sédimentaires marines ou lacustres.

Chitinozoaire (paléontologie) : animaux à test chitineux uniquement fossiles, connus du Cambriens au Dévonien dans les milieux marins ouverts. De forme cylindrique, fermée d'un coté (pole aboral), en forme de bouteille, avec épaulement, flexure et collerette formant le tube oral (Combaz et al, 1967). Ils sont de taille millimétrique à infra millimétrique et pourraient s'apparenter à des protistes ou seraient des parties de Métazoaires. Leur classification n'étant pas encore établie avec certitude. Certains genres semblent avoir vécu en colonie.

Chlamys (zoologie) : Lamellibranche de la famille des Pectinidés à deux valves convexes costées.

choc (pétroarchéologie) : résulte d'une action mécanique de surface des objets (blocs, galets, grains, particules,…) lors d'un transport alluvial, colluvial, gravitaire,… Acquisition de discontinuités mécaniques liées à une incursion thermique. L'examen de la localisation des différents stigmates de choc, de leur intensité, de leur chronologie (et de la nature des lustrés associés), permet la distinction des différents faciès gîtologiques.

choc punctiforme (pétroarchéologie) : stigmate de forme circulaire, plus ou moins profond, le plus souvent caractéristique des objets colluvionnaires.

chlorite (minéralogie) : phyllosilicate hydraté ferromagnésien monoclinique (pseudo-hexagonal). Les chlorites peuvent être classées avec les minéraux argileux.

Chrysophycée (botanique) : groupe des algues dorées proche des phaeophycées.

circalittorale (océanologie) : (M. Slansky, 1992), étage marin inférieur du plateau continental, situé sous la zone infralittorale, entre 40 m et 200 m de profondeur. Cette zone est peu éclairée et la vie algaire y est limitée à sa partie supérieure. 2) (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), de la zone aphotique au bord du talus.

ciment (pétrographie) : dans les calcaires : matériel à l'origine précipité, remplissant les espaces intergranulaires et liant les éléments figurés de la roche. Il résulte d'une précipitation chimique ou biochimique. Il est constitué de cristaux à taille supérieure à 10µm (pseudomorphose de la sparite), en dessous de 8µm on parle de matrice.

cimentation (pétrographie) : dans les calcaires : action liée au nourrissage et aux néoformations, processus qui soude les éléments figurés. Processus de la diagénèse du sédiment qui lie les particules à l'aide d'un matériel apporté par circulation d'eau à travers la porosité et rend ainsi la roche compacte. Le matériel peut être issu de la dissolution d'une partie du sédiment.

circulation océanique (océanologie) : ensemble des courants des eaux océaniques superficielles et profondes s'effectuant selon un circuit global qui peuvent être considéré comme constant sur une échelle séculaire.

circulation profonde (océanologie) : circulation liée au mécanisme de formation des eaux profondes dans les régions boréales. Les eaux denses et froides formées en surface plongent et envahissent les bassins profonds des océans. Elles chemineraient à des profondeurs supérieures à 4 000 m, sous la forme de courants, le long des bords occidentaux des continents.

classes cristallines ou classes de symétrie (minéralogie) : A. Bavrais (1866), E. Mallard (1879), et G. Friedel (1926). Ces classes sont définies par leurs éléments de symétrie (présence ou absence d'un centre de symétrie, d'axes de symétrie,….). Les 7 systèmes cristallins du règne minéral (cubique, quadratique, hexagonal, rhomboédrique, orthorhombique, monoclinique et triclinique) sont divisés en 32 classes cristallines, chacune présentant ainsi des éléments de symétrie propres.

claste (pétrographie) : fragment lithique d'origine minérale ou organique entrant dans la texture d'une roche sédimentaire.

clastique (pétrographie) : qualifie une roche ou une texture constituée de débris de roches, de minéraux ou de fossiles.

clinoptilolite (minéralogie) : tectosilicate de la famille des zéolites. Il s'agit d'un aluminosilicate de néformation, hypersiliseux à rapport Si /Al élevé.

Cnidaires : (zoologie) : embranchement du règne animal qui comprend les Hydrozoaires, les Scyphozoaires, les Anthozoaires. Dans les Anthozoaires on distingue les Alcyonaires et les Zoanthaires qui comprennent les Hexacoralliaires et les Tabulés. Le terme de coraux comprend l'ensemble des cnidaires constructeurs.

Coccolithe(s) (paléontologie) : pièces microscopiques discoïdes de 2 à 100 µm, calcitiques s'imbriquant à la surface du test (coccosphère) des Coccolithophoridés d'une carapace sphérique appelée appartenant à des végétaux unicellulaires (algues flagellées). Leur forme sert de base à leur classification. On rappelle que la craie leur doit son origine.

Coccolithophoridé (pétrographie) : algues haptophytes unicellulaires à tests sphériques et deux flagelles et un haptonème (flagelle creux). Elles sont recouvertes de coccolithes. Elles vivent en haute mer et peuvent être très abondantes au large de certains estuaires.

coccosphère (pétrographie) : enveloppe de forme sphérique des coccolithophoridés.

Codiacées (botanique) : Famille d'algues vertes marines.

colloïde(s) (sédimentologie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005) : particules très fines (de l'ordre du micromètre), substances diverses restant suspendues dans l'eau en fonction de la tension superficielle, de la viscosité et de la charge électrique des particules. Des modifications d'ordre physico-chimiques entraînent la floculation puis la précipitation.

colluvion (géologie) : (Plaisance et Cailleux,1958 ; Foucault et Raoult ,1995), dépôt détritique de bas de pente n'ayant généralement subi qu'un déplacement limité, suivant le profil transversal de la vallée.

columelle (zoologie) : axe d'enroulement des coquilles de gastéropodes.

columnaire (pétrographie) : désigne la forme d'un minéral, d'un claste, ou des dépôts dont l'aspect allongé rappelle celle d'une colonnette.

compacité (pétrographie) : rapport du volume d'un matériaux solide comportant des vides, des interstices, à son volume total. C'est l'inverse de la porosité.

compaction (géologie) : ensemble des phénomènes physico-chimiques qui accompagnent l'enfouissement d'un sédiment, conduisant à un état compact avec déshydratation, déformation et dissolution de certains des éléments au cours de la diagenèse tardive. Le taux de compaction dépend de la nature du sédiment, de la profondeur et de la température.

Complexolyse (acido-complexolyse) (chimie) : altération pédologique aboutissant à une solubilisation ou amorphisation partielle ou totale des minéraux. 2) (P. Duchaufour, 5ème éd, 1997), c'est le type d'altération des milieux très acides à faibles activités biologique sous climat tempéré.

concassage (pétroarchéologie) : fragmentation d'objets lithiques consécutive d'une série de chocs entre eux lors de leur déplacement hors d'un réseau hydrographique. La diminution de taille des objets s'accompagne d'enlèvements et des marques profondes, plus ou moins semi-convexes et conchoïdales dans le cas des silex.

conchoïdale (pétroarchéologie) : cassure franche à surface lisse et courbe d'une roche ou d'un minéral. On note la présence d'un bulbe de percussion (conchoïde) et d'ondulations concentriques qui correspondent au déplacement de l'onde de choc dans le solide. Ce type de cassure caractérise les roches homogènes à grain fin.

concrétion (pédologie, pétrographie) : dépôt nodulaire ou tubulaire dans un sol ou une roche issu de l'accumulation de matière d'origine chimique (oxydes de fer, silice,…) ou biochimique (algues calcaires,…).

conglomérat (pétrographie) : roche sédimentaire détritique (issue de l'érosion et du transport d'autres roches) composée d'éléments arrondis ou subanguleux discernables liés entre eux par un ciment naturel. Pour être considérés comme discernables, les morceaux doivent mesurer plus de 2 mm (en dessous de cette taille, on aurait affaire à un microconglomérat).
conné (géologie) : eau de formation d'une roche piégée et préservée.

construit (pétrographie) : se dit des calcaires biogéniques édifiés par des organismes constructeurs (coraux, rudistes, algues,…).

convergence (paléontologie) : ressemblance de deux taxons sans lien de parenté.

convoluted-bed (sédimentologie) : forme classique de *slumping* à rebroussements et plis. **2)** (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), convolution «contournement d'un banc, généralement finement lité, alors qu'il est encore plastique est gorgé d'eau». Ces structures fréquentes dans les séries turbiditiques permettent de déterminer la polarité des couches sédimentaires qui les contiennent.

cortex (pétroarchéologie) (L. Thoinot, 1896) : enveloppe externe d'un matériaux noduleux s'individualisant par son aspect à la fois de la nature de la roche encaissante et de celle du nodule. **2)** (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), le cortex des silex est généralement composé d'opale CT. **3)** Pour les rognons de silex le cortex est caractérisé par une enveloppe siliceuse d'épaisseur variable, finement poreuse et minéralogiquement différenciée. Ses compositions minéralogique et chimique sont le plus souvent distinctes de celles du cœur du silex et proches de celles de la roche encaissante.

cortex crayeux (pétroarchéologie) : faciès cortical, blanc et pulvérulent, à forte perméabilité (Plaisance et Cailleux, 1958).

couche (géologie) : terme minier : partie exploitable d'un massif sédimentaire délimitée par deux strates stériles : le toit (au-dessus) et le mur (au-dessous). **2)** Plus petite unité dans la suite lithostratigraphique. On l'applique le plus souvent à des lits homogènes, épais de quelques centimètres à quelques mètres.

courants de marée (océanologie) : courants engendrés par la marée, de période et d'amplitude dépendant du régime de celle-ci.

courants de turbidité (sédimentologie) : courants de gravité, dus à l'écoulement d'une eau dont la densité est augmentée par les sédiments qu'elle contient en suspension. II s'agit souvent d'avalanches boueuses (pouvant atteindre des vitesses de 50 km/h ou plus), déclenchées sur les pentes de la marge continentale. (voir turbidites*).

craie (pétrographie) : roche sédimentaire marine calcaire, constituée pour la plus grande part de coccolithes.

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

cristal (minéralogie) : Solide dont la structure atomique est ordonnée et périodique dans toutes les directions de l'espace.

cristallin(e) (minéralogie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), qui se rapporte aux cristaux et à l'état solide les caractérisant. La morphologie (ou faciès cristallin) constitue l'un des moyens de diagnose. **2)** se dit des roches formées de cristaux.

cristallisation (ou cristallogenèse) (pétrographie) : mécanisme de formation d'un cristal à partir d'une solution, d'un bain magmatique ou d'un matériel solide. La cristallisation implique deux stades successifs avec la nucléation (ou germination) qui implique pour un cristal l'apparition d'un germe (nucléus) suivie d'une croissance qui implique l'adjonction progressive d'atomes ou de molécules à la surface du germe puis du cristal à partir de la solution, du bain magmatique ou de l'environnement solide immédiat. La formation du cristal est contrôlée par différents facteurs physico-chimiques : température, pression, sursaturation et activités des éléments chimiques participants,…

cristallite (pétrographie) : cristaux de la taille du micron.

cristallochimie (minéralogie) : discipline qui étudie les relations existant entre la composition chimique d'un solide cristallisé, l'arrangement géométrique et les forces de liaisons entre les atomes constituant son réseau.

cristallographie (minéralogie) : étude des structures cristallines, des propriétés et des formes des cristaux.

cristobalite (minéralogie) : Tectosilicates de la famille de la silice, de formule SiO_2, quadratique pseudocubique, uniaxe négatif. Densité 2.2, réfringence inférieure à celle du quartz, biréfringence très faible, formant un réseau distordu du fait de la petite taille des cristallites, apparaît aux rayons X avec la tridymite comme un constituant de l'opale CT. Sa solubilité est supérieure à celle du quartz. On la trouve dans les roches volcaniques acides de haute et de basse température, dans certains grès et certaines silicifications pédogénétiques.

critères de polarité (géologie) : éléments qui indiquent pour une série sédimentaire, une state ou un objet sa position avec le haut et le bas. Il existe de nombreux critères (le *gradded-bedding*, les vides colmatés, les remplissages des tests, la position originelle des organismes sessiles, polarités biologiques des édifices construits (récifs à polypiers, rudistes,…), position des épibioses.

Crétacé (géologie) : dernière période de l'ère secondaire comprise entre 135 et 65Ma.

cryoclastie (géologie, pétroarchéologie) : action mécanique du gel sur les roches. Il s'agit de mécanismes qui conduisent les roches poreuses ou diaclasées contenant de l'eau à se fissurer et à se fragmenter sous l'effet de l'augmentation de volume de la glace et de l'alternance répétée gel-dégel. Syn. gélifraction et gélivation

cryptocristallin(e) (pétrographie) : désigne une roche ou une texture à cristaux très fins (~1µm) indiscernables au microscope.

cubique (minéralogie) : système cristallin dont le prisme est un parallélépipède à 6 faces carrées égales (cube).

cuirasse (pédologie, géologie) : croûte dure, horizon superficiel ou supérieur d'un profil pédologique lié à l'accumulation ou à la précipitation d'éléments chimiques que l'on observe généralement sous climat semi-aride. On a décrit des concentrations de matière alumineuse (bauxite), ferrugineuse (latérite, ferricrète), siliceuse (silcrète), calcaire (calcrète).

cupules (pétroarchéologie) : résultat d'une action thermique, par détachement d'un éclat subcirculaire. On peut distinguer les cupules de gel des cupules liées à des écarts thermiques, ces dernières ont un fond lisse.

cuticule (botanique, zoologie) : désigne la couche superficielle protectrice de certains organes végétaux. Couche externe dure et imperméable des carapaces de certains arthropodes où elle constitue la peau de l'exosquelette (ou squelette externe). Chez les mollusque : équivalent à périostracum.

cycle (géologie) : périodicité dans le temps dans l'accomplissement de phénomènes ou d'événements géologiques avec retours répétitifs dans le temps à un état initial proche du précédent.(ex : cycle quotidien des marées, cycle saisonnier des varves*, cycle annuel des cernes de croissance des bois, ccles climatiques et paléoclimatiques, cycles astronomiques de Milankovitch,…*cf. infra*)

cycle d'érosion (géologie) : la notion de cycle d'érosion correspond à une conception de l'évolution du relief selon un enchaînement rigoureux et irréversible de morphologies indépendantes. Davis discerne plusieurs stades caractérisés par des caractéristiques temporaires de reliefs avec : un stade initial, de jeunesse, de maturité, de vieillesse et de sénilité.

cycle eustatique (géologie) : désigne un intervalle de temps géologique caractérisé par une montée et une descente du niveau océanique global. On distingue 4 ordres de cycles eustatiques selon leurs durées (Mégacycle, Supercycle, Cycle et Paracycle incluant les cycles d'ordre 4 et 5).

cycle orogénique (géologie): la notion de cycle orogénique correspond au temps pendant lequel se prépare, se développe, s'achève et s'érode une chaîne de montagnes.

cycle sédimentaire (géologie) : toute série de formations marines qui, dans une région donnée, est encadrée entre deux régressions. **2)** (G. Millot, 1957), on peut distinguer deux types de cycles – a) le type général, après une phase orogénique se forment des dépôts détritique grossiers puis de plus en plus fins, (la séquence positive classique). b) le cycle biorhexistasique de Erhart qui comprend un dépôt des substances dissoutes de la phase de la latérisation (carbonates, silices et sels) et la destruction du couvert végétal entraînant le dépôt des éléments de la phase résiduelle (fer, argiles kaoliniques…).

cyclothème (géologie) : séquence lithologique locale, ensemble des couches formant un cycle sédimentaire, qui forme une unité pouvant se répéter stratigraphiquement sur plusieurs étages et faisant l'objet de variations latérales.

Cypridacés (paléontologie) : genre d'Ostracodes inféodés au milieu lacustre.

Dasycladacées (ou Dasycladophycées) (botanique) : Famille d'algues vertes marines

décapage (pétroarchéologie): enlèvement par différents mécanismes (physiques ou chimiques) des irrégularités et saillies de la surface d'un échantillon.

déchaussement (pétroarchéologie) : action mécanique ou «mécanico-chimique» qui retire la matrice ou le ciment qui entoure un grain. Cette séparation est à l'origine non seulement des déplacements de grains dans le réseau des pores superficiels mais aussi à l'origine de l'altération ultérieure des grains notamment par l'accroissement des surfaces sur lesquelles les actions chimiques vont s'exercer.

dédolomitisation (pétrographie) : remplacement de la dolomite par une autre phase minérale (silice, calcite,…), au cours de la diagenèse ou d'une altération post-génétique.

Démosponges, ***Demospogea***, (paléontologie) : Eponges présentent dans tous les environnements aquatiques (lacustre, marin, polaire, tropical, abyssal profond,…). Leur squelette est formé de deux composants : des spicules* siliceux (les desmes) et du collagène. Les spicules sont très solidement articulés les uns aux autres. Ils sont monoaxones ou triaxones à canal médullaire formant un triangle au croisement des axes. Cette classe est fréquentes dans les mers chaudes relativement peu profondes.

dendrite (géologie). Dépôt minéral en forme de feuilles ou d'arborescences ramifiées, **2)** (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), le plus souvent constitué d'oxyde de fer et/ou de manganèse.

déprotonation (chimie) : libération d'un proton à la faveur d'une réaction de double échange d'un oxygène par un hydrogène sur une liaison covalente métal-oxygène et qui aboutit à la décomposition d'une molécule d'eau avec séparation du groupe hydroxyle OH^- fixé par le métal et de l'ion hydrogène. Ce type de réaction est fondamental dans la formation - à partir du complexe silanol à pH croissant - de la liaison siloxane =Si-O-Si= lors de la polymérisation des minéraux de la silice (Chenevoy et Piboule., 2007, p.82). (ant. protonation).

desmodonte (zoologie): type de charnière d'ostracode.

desquamation (pétroarchéologie) : érosion par élimination superficielle de lamelles ou de pellicules de roche.

désorption (chimie) : détachement d'un ion ou d'une molécule d'une surface minérale lié à l'action d'un solvant.

dessication (pétroarchéologie) : perte de l'eau d'un corps (ici du silex) par extraction à sa surface et évaporation. Une évaporation intense provoque la pénétration de l'air dans la porosité de l'échantillon et peut contribuer rapidement à son opacification. Dans les matériaux meubles la dessiccation peut conduire à une rétraction et à la formation de fissures polygonales.

dextre (zoologie) : sens d'enroulement vers la droite d'un organisme à test hélicoïdal ou spiralé. (ant. senestre)

détritique (géologie, pétroarchéologie) qualifie classiquement une roche meuble ou consolidée constituée de débris de roches préexistantes. En pétroarchéologie : phase détritique : durée (ou stade) pendant laquelle s'accomplissent les processus mécaniques, thermiques, chimiques… postérieurs à la mise à l'affleurement.

diachronisme (géologie) (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), «fait, pour une roche ou une formation, de se présenter sous le même faciès, tout en étant d'âges différents selon les endroits».

diaclase (géologie) : fissure de terrain dépourvue de déplacement.

diadochie (minéralogie) : processus de substitution des atomes entre-eux sur un même site cristallographique. La diadochie implique une relative équivalence des rayons ioniques et des charges identiques.

diagenèse (pétrographie) : le terme diagenèse crée par C. Von Gumbel (1868) est utilisé au sens préconisé par Dunoyer de Segonzac (1969) et modifié comme suit pour le silex : ensemble de processus précoces, évolués ou tardifs, entraînant la lithification, actifs jusqu'à la réduction des sources de silice disponibles ou à la mise en place de conditions de lessivage et d'oxydation qui sont celle de l'altération superficielle (Krumbein, 1942). Elle comprend de ce fait tous les changements postérieurs à la silicification principale intervenant dans les mêmes conditions d'enfouissement (Twenhofel, 1932). La diagenèse a pour effet non seulement la modification de la matrice minérale par le biais des dissolutions et néogenèses minérales, mais aussi la diminution de la quantité de matière organique initiale déposée. Pustovalov (1942) propose en critiquant le terme diagenèse (trop imprécis pour lui) de faire une distinction entre la diagenèse précoce et la diagenèse tardive (de maturation ou évoluée). Par la suite de nombreux auteurs (Maliva et Siever, 1988 ; Knauth, 1994 ; Rice et al., 1995 ;…) ont défini le modèle de la maturation.

diagenèse siliceuse précoce (pétrographie) : (G.R. Heath et Moberly, 1971 ; Garisson et al, 1975, F . Fröhlich, 1981), il s'agit d'un modèle génétique différent du modèle généralement admis pour la silicification, basé sur le fait que l'angle de liaison moyen des motifs SiO4 d'origine biologique (antérieures à la silicification), est plus proche de celui du quartz que de ceux de la cristobalite ou de la tridymite (Vieillard, 1986). La recristallisation en opale CT devient dans ce cas impossible, elle n'est plus une étape dans la diagenèse siliceuse mais un processus géométriquement indépendant, différent de celui qui conduit à la calcédoine ou au quartz. Ces derniers relèveraient donc, d'une cristallisation directe, synsédimentaire à partir de solutions différentes. La calcédoine remplace la calcite, au préalable dissoute, et non l'opale, et l'opale CT cristallise entre les grains de calcite qu'elle cimente. Cette théorie ne semble pas prendre en compte la totalité des capacités évolutives des phases siliceuses les moins stables. La vision de ces relations purement géométriques et légèrement diachronique nous semble trop statique. Rien n'empêche la calcédoine de remplacer l'opale CT au préalablement dissoute. Nos observations ont permis de noter une disparition récurrente de l'opale CT au bénéfice de la calcédoine et/ou du quartz dans les silex les plus évolués. Il s'ensuit que la conversion opale CT/ calcédoine n'est pas en contradiction avec la totalité des faits observés. Ce qui n'empêche pas que calcédoine et quartz puissent cristalliser dans certains cas de façon directe (Umeda, 2003).

diagenèse de maturation (pétrographie) : selon ce modèle - généralement admis -, les silicifications sédimentaires proviendraient d'une lente maturation diagénétique de dépôts biosiliceux d'origines différentes selon les périodes géologiques. Les verres de silice des organismes siliceux recristalliseraient en opale CT. Une deuxième évolution diagénétique conduirait vers une recristallisation de l'opale CT en calcédoine et enfin de la calcédoine en microquartz. Nous avons non seulement observé de nombreuses fois des parties de cette évolution. Il semblerait que l'évolution finale conduise vers des textures riches en mégaquartz, (P. Fernandes et M. Piboule, 2008).

diastème (géologie) : joint d'érosion plat qui correspond à une lacune de sédimentation.

diatomées (zoologie, paléontologie) : groupe d'algues unicellulaires chlorophylliennes planctoniques ou benthiques. Ce sont les Bacillariophycées. On les rencontre aussi bien en eau douce que marine. Leur accumulation dans certains sédiments a donné naissance aux diatomites. Seuls les frustules (coque ou lorica*) se conservent. Leur systématique repose sur la forme des frustules et leurs ornementations. On distingue les diatomées centrales (à valves rondes ou polygonales et à symétrie radiale des pores), les pennales (à valves elliptiques disposition bilatérale des pores).

diatomite (pétrographie) : roche sédimentaire siliceuse biogènique, constituée principalement de frustules (opale) de diatomées plus ou moins fragmentés. Autres noms : tripoli, kieselguhr, randanite,….

dimère (chimie) : molécule qui résulte de la combinaison de deux molécules identiques.

Dinoflagellés ou Péridiens, *Dinophyta* ou dinophytes, sont des eucaryotes unicellulaires biflagellées. C'est à C.G. Erhenberg (Leipzig, 1838) que l'on doit les premières observations de dinoflagellés fossiles sur des silex du Crétacé. Leur étude longtemps abandonnée fut reprise par G. Deflandre à partir de 1934. Chez beaucoup d'espèces, la cellule est protégée par une thèque constituée de plaques rigides de cellulose incrustée de silice. La classification proposée par W.R. Evitt (1967) est basée sur la position de l'archéophyle et le nombre de plaques ; celle Wall et Dale (1968) repose sur les contours du kyste, la présence et l'ornementation des cornes, la position et la forme de l'archéophyle (ouverture), la tabulation ou disposition des thèques. (P. Bourrelly, 1970) les plaques de la thèque, constituent un caractère systématique utilisable. Un système de numérotation est appliqué, toute les plaques sont numérotées de 1 à n, en partant du sillon équatorial et en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

dinosporine (géologie) : substance contenue dans la paroi des kystes de dinophytes, résistante à l'acide et assurant leur conservation.

discordance stratigraphique (géologie) : contact anormal entre deux couches géologiques dont la plus récente repose sur des couches érodées antérieurement à son dépôt.

dismicrite (pétrographie) : roche le plus souvent calcaire qui montre une texture mixte où se juxtaposent des plages micritiques et des plages recristallisées sparitiques.

dissolution (géologie) : processus physico-chimique entraînant la mise en solution dans l'eau d'éléments chimiques appartenant à un solide. On distingue la dissolution congruente (homogène) et incongruente (sélective) (Cojan et Renard, 2003). Le phénomène provoque une décomposition totale du minéral ce qui le distingue de l'hydrolyse partielle qui entraîne la formation d'une phase secondaire moins soluble. La dissolution de la silice comme celle du quartz est sensible au pH et conjointement à la concentration en alcalins de la solution. L'effet catalytique des ions alcalins sur la dissolution dépasse l'effet inhibiteur de l'augmentation de la polymérisation de surface à pH croissant (M.Chenevoy, P. Piboule, 2007). Pour les silex elle est généralement créatrice d'une porosité secondaire. La solubilité de la plupart des silex dépend de leur texture (plus ou moins ordonnée), de la température, de la qualité des solutions plus ou moins basiques, de la valeur du pH et de la présence d'ions acides (Wannesson, 1962). La silice est dissoute sous forme d'acide orthosilicique.

dolomie (pétrographie) : roche sédimentaire carbonatée contenant 50% ou plus de carbonate dont la moitié au moins sous forme de dolomite, carbonate de calcium et magnésium, $CaMg(CO3)_2$. On distingue : - les dolomies primaires caractérisées par un grain très fin, un fin litage, l'absence de fossiles et une association notable avec les milieux évaporitiques, - les dolomies secondaires provenant du remplacement partiel ou total de la calcite par de la dolomite.

dolomitisation (pétrographie) épigénie d'un calcaire en dolomie, précoce ou tardive.

dolomite (minéralogie) : Il s'agit d'un carbonate anhydre : $CaMg(CO3)_2$, système cristallin rhombohédrique. Ce minéral est la phase principale de la dolomie. La substitution du magnésium de la dolomite par Fe^{2+} conduit à l'ankérite $CaFe\ (CO3)_2$ et par le manganèse à la kutnahorite $CaMn(CO3)_2$. La morphologie des cristaux est la plus souvent rhomboédrique, prismatique, octaédrique ou tabulaire.

druse (minéralogie) : cavité tapissée de minéraux (Plaisance et Cailleux, 1958) – géode.

dureté (minéralogie) : résistance offerte par un minéral à la rayure. L'échelle de Mohs classe les duretés relatives par rapport à celles de 10 phases de référence (10 diamant, 9 corindon,.. 7 quartz,…1 talc).

eau (chimie) : agent majeur de l'altération, est une molécule dont la liaison O-H est polarisée. Elle se comporte comme un dipôle dont la force d'attraction vis à vis d'un ion détermine sa solubilité. La force d'attraction dépend du potentiel ionique (PI), PI= charge / rayon ionique.

eau interstitielle (géologie) : eau incluse dans les sédiments superficiels jouant un rôle fondamental à l'interface eau-sédiment. La teneur des sédiments marins superficiels en eau interstitielle dépend de leur nature. Elle est faible pour les sables mais représente jusqu'à 2,5 fois le poids des argiles superficielles. Elle décroît rapidement par compaction dans les premiers mètres du sédiment. Milieu de transition entre le sédiment et l'eau de mer, l'eau interstitielle est enrichie en nombreux composés minéraux et organiques. Elle assure, par migration et diffusion, la remise en solution dans l'eau de mer de certains éléments chimiques.

écailleuse (pétrographie) : texture tuilée constituée de cristaux plats disposés en écailles.

échelle de Mohs (minéralogie) : échelle des duretés* minérales définie par Frédéric Mohs (1773-1839). De 1 pour le talc à 10 pour le diamant.

éclat (pétroarchéologie, minéralogie) : fragment de silex détaché brutalement d'un bloc, à surface inférieure plane portant parfois un bulbe de percussion. **2)** perception visuelle de la manière dont un minéral réfléchit la lumière (exemples éclat métallique, vitreux, résineux, nacré, terreux).

écaillage (du silex) (pétroarchéologie) : il s'agit d'une exfoliation de la surface du silex en galet ou en bloc. Elle s'exprime au cours du gel lors du développement de la glace dans le matériau sous la forme de feuillets parallèles qui s'enracinent dans le réseau de porosité superficiel.

éclatement (cryoclastie) (géologie) : consécutif de l'augmentation du volume de l'eau interstitielle lors du gel.

édaphique (écologie) (1924 Gatin), qui a rapport avec la nature d'un sol ou d'un substrat rocheux.

Eh (chimie) : potentiel d'oxydation ou d'oxydoréduction. Il est utilisé - au même titre que le pH - pour évaluer ou comparer les conditions d'équilibres des minéraux.

éléments figurés (pétrographie) : éléments visibles dans la matrice ou le ciment d'une roche sédimentaire. Sa taille minimale a été fixée par M. Slansky à 4 µm.

éluviation (pédologie, géochimie) : lessivage par l'eau des substances solubles ou colloïdales d'un sol. (ant. : illuvial ou accumulation).

endoclaste : (Folk, 1959) désigne un claste dont la composition est semblable à celle des sédiments encaissants.

endolithe (écologie) : désigne un organisme qui se développe à l'intérieur d'une roche (exemple des cyanobactéries qui perforent certains calcaires).

entroque (paléontologie) : article de crinoïde

Éocène (géologie) : deuxième époque géologique du tertiaire. Cette époque s'étend de 53 à 34 ma.

épave algaire (sédimentologie) : algue sessile détachée de son substrat et rejetée sur le rivage (laisse de mer) ; elle s'oppose aux algues en place.

épibiose (écologie, biologie) : ensemble des organismes (épibiontes) vivant fixés sur un substrat minéral ou biologique. Les épibiontes fixés : sur un animal sont dits épizoaires, sur un support végétal sont dits épiphytes ; sur un support rocheux : épilithes.

épiderme (végétal) (botanique) : désigne chez les végétaux la couche cellulaire la plus superficielle.

épigenèse (pétrographie) : remplacement d'un minéral par un autre. Elle est caractérisée par une conservation très précise de la texture originelle, ce qui l'oppose à la diagenèse, à la fois mécanisme initial de solidification et modificateur des structures héritées. **2)** (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), «processus de remplacement au sein d'une roche, d'un minéral par un autre. C'est un phénomène secondaire à opposer à la diagenèse qui est le processus initial de le consolidation». Ces auteurs font donc de l'épigenèse un processus tardif. **4)** (P. Fernandes, 2006), en règle générale, le phénomène est lent et permet soit la conservation de la forme initiale de l'élément pétrographique concerné soit une modification totale de la matrice (même siliceuse), conduisant toujours vers des phases minérales mieux organisées et plus stables.

épilithe (écologie) : désigne un organisme qui se développe sur les roches.

épithalle (botanique) : désigne chez les algues rouges encroûtantes, les cellules recouvrant le périthalle.

épitaxie (minéralogie) : phénomène de croissance orientée, l'un par rapport à l'autre, de deux cristaux appartenant à deux espèces minérales différentes mais possédant un certain nombre d'éléments de symétrie communs dans leurs réseaux cristallins (exemple rutile et hématite, calcite- opale CT).

espèce : groupe d'êtres vivants pouvant se reproduire entre eux (interfécondité) et dont la descendance est fertile. L'espèce est l'entité fondamentale des classifications, qui réunit les êtres vivants présentant un ensemble de caractéristiques morphologiques, anatomiques, physiologiques, biochimiques et génétiques, communes. Les espèces sont regroupées en genres et divisées en sous-ensembles dénommés variétés, races, souches ou populations. Le recensement des espèces et de leur biodiversité relève de la systématique, leur nomenclature de la taxinomie. **2)** le concept d'espèce en paléontologie est différent car il fait abstraction des critères biologiques du vivant (reproduction, fécondité,…) ; l'espèce regroupe tous les individus ayant en commun un certain nombre de caractères morphologiques, anatomiques,… identiques. Leur analyse permet d'étudier leurs variations en particulier dans le temps et d'aborder les processus évolutifs. Cette démarche présente un inconvénient, car dans la perspective temporelle, on voit les espèces se transformer le long de lignées pour lesquelles les coupures sont arbitraires. Ce fait complique énormément la classification, au point que certains auteurs nient l'objectivité du concept d'espèce en paléontologie (B.H. Burma, 1948). En fait la difficulté est plus théorique que pratique car il est toujours plus facile de trouver une discontinuité qu'une continuité entre deux formes successives. La grande différence avec les néozoologistes est dans les données d'observations utilisables.

espèce minérale (phase minérale) (minéralogie) : entité fondamentale des classifications, qui réunit les minéraux présentant un ensemble de caractères communs. La notion repose sur deux entités complémentaires qui sont la composition chimique et la structure cristalline. Cette définition n'est pas totalement rigide : des individus d'une même espèce peuvent posséder soit une composition chimique légèrement différente soit par une morphologie ou un couleur particulière, il s'agit alors de variétés.
estran (océnologie) : portion du littoral située entre la limite des hautes et celle des basses mers (zone médiolittorale). La bande supérieure de l'estran la plus fréquemment émergée est une zone de sursalure sous climat aride et une zone de dessalure sous climat humide.

euhédral (pétrographie) minéral dont la forme est définie par des faces planes et dont la croissance n'a pas été inhibée par les grains adjacents.

euphotique (zone) (écologie, biologie) : zone marine superficielle suffisamment éclairée pour que la vie végétale, conditionnée par la photosynthèse puisse s'y développer. Elle est de l'ordre de 80 m d'épaisseur. Syn photique.

eustatisme (géologie) : variation de l'ensemble du niveau des mers, entraînant des transgressions et des régressions.

eutrophisation (écologie) : détérioration d'un écosystème aquatique à haut niveau de nutriments par la perte de l'oxygène dissous dans l'eau. Les conséquences sont variables et nombreuses avec la prolifération des algues planctoniques et de certains types de zooplancton (bloom planctonique),… et conduisent à de profondes modifications physico-chimiques de l'eau, une forte réduction du nombre d'espèces, voire la disparition la disparition de certaines d'entre-elles.

évaporites (pétrographique) : roches sédimentaires issues de la précipitation chimique à partir de substances dissoutes dans de solutions marines ou continentales par évaporation. Elles se forment dans les milieux confinés : dans les bassins sédimentaires fermés à la suite d'une régression marine, dans les dépressions côtières (lagunes, chotts,..) ou dans les bassins endoreïques (lacs salins, sebkraa,…). Les chlorures, les sulfates, les carbonates hydratés alcalins et les borates en sont les principales familles minérales . Appelées également «roches salines», on regroupe avec certaines dolomies et argiles néoformées sous les conditions extrêmes des milieux évaporitiques.

évolué (pétroarchéologie) : qualifié un silex, altéré ou non, extrait de sa roche-mère,.

évolute (zoologie) : qualifie une coquille dont les tours ne se recouvrent pas.

exoclaste : (Grabau, 1917) claste dont la composition diffère de celle des sédiments encaissants.

exoscopie (pétroarchéologie) (L. le Ribault, 1973) : étude au microscope de la surface des échantillons, habituellement réservée à la morphoscopie des grains de quartz. Nous préconisons ici d'en étendre l'emploi aux roches siliceuses en positions primaire et secondaire.

extraclaste (pétrographie) : fragment d'une roche inclus dans un sédiment ou une roche et issus soit d'un sédiment plus ancien, soit d'un sédiment transporté. Les extraclastes ont une nature différente de celle du sédiment ou de la roche qui les contient.

face cristalline (minéralogie) : face plane limitant un cristal automorphe. Chaque face cristalline est indexée à l'aide de chiffres (indices de Miller).

faces de glissement (minéralogie)surfaces planes apparaissant dans le réseau cristallin d'un minéral suite à une déformation cisaillante.

faciès minéral (pétrographie) : terme désignant la zone de stabilité d'un minéral dans laquelle une roche peut être présente. La zone de stabilité correspond à un champ de conditions physiques (pression, température, pressions partielles : P_{H2O},P_{CO2}) et chimiques.

faciès sédimentaire (pétrographie) : ensemble de caractères lithologiques et paléontologiques permettant de définir une roche sédimentaire ou un milieu de sédimentation.

façonnement (pétroarchéologie) : ensemble des aspects résultant d'une modification de la surface antérieure sous l'effet d'actions mécaniques(Tricart & Cailleux, 1962).

faille (géologie) : fracture de terrain le long d'une surface avec déplacement relatif des deux compartiments.

famille : au sein d'une classification du vivant : groupe naturel inférieur à l'ordre et supérieur au genre.

famille radioactive (ou chaîne radioactive) (physique) : suite des descendants d'un nuclide radioactif (^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, …. ; ex :^{238}U->^{234}Th->^{234}Pa->^{234}U->^{230}Th->^{226}Ra->^{222}Rn->^{218}Po->214Pb->^{214}Bi->^{214}Po->^{210}Pb->^{210}Bi->^{210}Po->^{206}Pb).

fente (géologie) : résulte de rupture d'un matériau solide soumis à une contrainte mécanique. Par exemple : pour le gel : fente en coin et fente de glace : fissure rectiligne affectant un sédiment soumis au gel.

feldspaths (minéralogie) : aluminosilicates monocliniques ou tricliniques du groupe des tectosilicates comprenant les feldspaths alcalins (Albite et orthose) et les felspaths calcosodiques ou plagioclases (solution solide albite-anorthite). Ce sont des minéraux essentiels de la plupart des roches magmatiques et métamorphiques.

fibreux (minéralogie) : habitus d'un minéral aciculaire fin. Le minéral présente un aspect en faisceaux de fibres (ex : fibrolite : variété de sillimanite fibreuse).

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

Fissure (géologie) : forme plus réduite qu'une fente, rectiligne ou en virgule, associée à l'action thermique ou mécanique (racines de chocs en surface, dessiccation, tectonique,…).

flint (pétrographie) : littéralement «silex» (anglais) ; (Eley et Von Bitter, 1989) forme cryptocristalline de silex, de même composition que les cherts (quartz, calcédoine, opale). Ce terme est généralement réservé aux accumulations siliceuses issues de la craie. **2)** désigne les nodules siliceux noirs de la craie, (Dana's Manual, S Cornelius et J.R. Hurlbut, 1959).

floastone (Pétrographie) : (A.F Embry et J.E Kolvan 1971), texture de calcaire périrécifal comportant de gros bioclastes (>2mm), dispersés dans une matrice.

floculation (géologie) : agglomération lâche des particules.

Flow cast *(sole mark)* (sédimentologie) : traces mécaniques, rainures d'érosion dues à des micro-ravinements de sédiments hydroplastiques (ex. : sables,…).

fluorapatite (minéralogie) : fluophosphate de calcium du groupe des apatites, de formule [$Ca_5(PO_4)_3F$] du système hexagonal, à cristaux prismatiques, tabulaires, globulaires ou granulaires. Le fluor est souvent substitué par du chlore ou un radical hydroxyl ; le terme de fluoroapatite est utilisé lorsque F > Cl + OH. La fluorapatite est un constituant accessoire des roches ignées.

Flute cast *(sole mark)* (sédimentologie) : traces mécaniques à la base des bancs. Ce sont des figures de courants autour d'un objet posé sur le fond, dues à des courants turbides des *slumpings* . Il s'agit de renflements allongés est orientés vers l'aval (A.H. Bouma et A. Brouwer, 1964).

flysch (sédimentologie, pétrographie) : mot dialectal de la Suisse allemande désignant des terrains qui glissent (introduit en géologie par B. Studer, 1827). Formation sédimentaire marine de nature détritique terrigène composées essentiellement de turbidites*. 2) (S. Dzulynski et G Smith, 1964), les flyschs constituent un cas particulier de turbidites lié aux domaines orogéniques.

Flyschoïde (sédimentologie, pétrographie) : formation détritique granoclassée, rythmique à aspect de flysch.

fond matriciel : (Meyer, 1981) (pédologie) : matrice incluant l'ensemble des éléments dans lequel s'exprime la pédogenèse.

foramen (zoologie) : orifice de la valve ventrale des brachiopodes laissant passe le pédoncule de fixation **2)** ouverture qui fait communiquer les loges entre elles chez les Foraminifères. Les files de foramens sont appelées stolons.

foraminifères (zoologie, paléontologie) : ils forment le groupe le plus important de microfossiles, tant par leur nombre que leur abondance dans les roches carbonatées et siliceuses. L'ordre est connu depuis le Cambrien. Ils regroupent des êtres unicellulaires caractérisés par le test (formation endosquelettique secrétée ou construite par cimentation). La plupart sont marins, certains se sont adaptés aux eaux saumâtres, la famille qui vit en eau douce est inconnue à l'état fossile. La composition du test est le premier critère de distinction. Ces protozoaires pélagiques ou benthiques possèdent différents types de tests - organiques, agglutinés (débris emprunté au milieu et soudé par un ciment chitinoïde, secrété par l'animal), calcaire, calcitique ou plus rarement arogonitique et même siliceux, eux aussi entièrement secrétés par l'animal. Selon la disposition des cristaux du test on distingue les tests porcelanés des tests hyalins. Les autres critères de classification les plus utilisés sont les suivants : morphologie des loges, agencement des loges, type d'ouverture, forme et orientation des tests. Ainsi on peut distinguer les tests uniloculaires des tests pluriloculaires. Ce type de classification fondée sur la morphologie du test (F. Robaszynski et M. Caron, 1979) ; (A.R. Loeblich et H. Tappan, 1964) ne permet pas de cerner toute la variabilité intraspécifique et conduit à la pulvérisation des genres et des espèces. On doit reconnaître qu'une espèce possède plusieurs dénominations. Si une nouvelle classification se met en place avec les premières analyses des séquences de gènes de l'ARN ribosomique pour les espèces actuelles le problème de la classification des espèces fossiles reste évident. Néanmoins, les foraminifères sont d'excellents marqueurs biostratigraphiques. Ils sont utilisés en géologie pour la datation des roches sédimentaires. L'analyse de la composition isotopique du carbone et de l'oxygène de leur squelette dans les couches sédimentaires océaniques permet de reconstituer la température de la surface de la mer (espèces pélagiques) et l'âge des eaux profondes (espèces benthiques) à l'époque où ils vivaient.

formule chimique (chimie) : elle présente sous une forme symbolique abrégée, les proportions, en nombres d'atomes, des différents éléments qui entrent dans la composition du minéral. La convention veut qu'on aligne les symboles chimiques des éléments présents, affectés d'un nombre placé en indice qui indique les proportions relatives de chacun d'eux. L'absence de nombre correspond à 1. Dans l'exemple du quartz, la formule SiO_2 indique qu'il y a deux fois plus d'atomes d'oxygène que de silicium. De même, la formule de la calcite, $CaCO_3$, montre que pour cinq atomes dont un de calcium, un de carbone et trois d'oxygène. La présence de certains atomes entre parenthèses correspond à un site où les atomes peuvent se substituer en toutes proportion dans le minéral. Le remplacement est à l'origine des cristaux mixtes, on parle de série isomorphe ou de solutions solides. Par souci de clarté, nous plaçons les groupes anioniques entre parenthèses crochets. Parfois, un même élément peut apparaître deux fois dans une même formule chimique. C'est le cas de la muscovite (mica blanc), $KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$. Cela signifie que certains atomes d'Al se substituent aux atomes de Si à raison d'un atome sur quatre dans le groupe de tétraèdres $[AlSi_3O_{10}]$ alors que l'autre Al participe à l'édifice cristallin en qualité de cation en position hexacoordonnée dans un autre site structural.

framestone (pétrographie) (A.F Embry et J.E Kolvan 1971) : calcaire récifal constitué par l'ossature même des organismes coloniaux (coraux, stromatolithes, algaires, stromatopores, etc.).

francolite (minéralogie) : minéral phosphaté, habituel des dépôts phosphatés sédimentaires. Cette phase carbonate-fluorapatite a la formule suivante $(Ca\ Na\ Mg)_{10}\ (PO4)_{6-x}\ (CO3)_x\ Fy\ (F,OH)_2$.

frustule (botanique, paléontologie) : coque (ou thèque) siliceuse de la diatomée formée de deux valves finement ornées et emboîtées. Chaque valve comprend une plaque et un cingulum. L'hypovalve est emboîtée dans l'épivalve qui est plus grande, de façon que les cingulum de chevauchent en formant une ou plusieurs ceintures.

fusion (physique) : signifie le passage d'un corps de la phase solide à la phase liquide, la fusion est congruente lorsque le corps fond à température constante en donnant un liquide de même composition ou incongruente lorsque la composition du liquide est différente.

galet (géologie) : objet lithique arrondi par une usure mécanique dont la granulométrie est comprise entre 2 et 20cm

gaize (pétrographie) : roche sédimentaire siliceuse qui correspond à un grès fin, ou un calcaire riche en glauconie à nombreux spicules de spongiaires et quelques tests de radiolaires, diatomées,…. Elle est silicifiée avec de l'opale qui remplace la calcite. Ce matériau est connu dans le jurassique supérieur et le Crétacé du Bassin Parisien.

gas pit (sédimentologie) : traces liées aux sorties de bulles gazeuses à la surface d'un sédiment.

gel (physique, chimie) : corps (liquide semi-solide) provenant de la solidification de substances colloïdales (gel de silice : opale, gel de sulfure de fer : melnicovite, *etc*.). Souvent instables, les gels recristallisent fréquemment en minéraux cryptocristallins.

gélidisjonction (géologie) : elle correspond au remplacement de la glace lors du gel de l'eau des fissures. Elle conduit à la fragmentation de la roche au niveau des macro-fissures ; pour les microfissures elle produit de petits débris ou des cupules.

gélifraction (géologie) : fractionnement d'une roche sous l'action du cycle gel/dégel.

génomorphie (pétroarchéologie) : (le Ribault, 1971), ensemble des caractères morphologiques directement hérités de la genèse de l'échantillon étudié. La génomorphie représente l'héritage modifié par les facteurs évolutifs, après la séparation d'avec la roche mère.

genre : en systèmatique le genre est placé entre l'espèce et la famille. Plusieurs espèces proches appartiennent au même genre.

géode (pétrographie) : cavité dans une roche à parois tapissées de cristaux souvent automorphes.

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

gley (pédologie) : mot introduit dans le domaine sc. par le russe G.N. Visotskii en 1905 (*cf.* citat. de 1963 ds *NED Suppl.*), et formé sur l'ukrainien *hlej* «argile, limon». Horizon d'un sol situé dans la nappe phréatique ou soumis à un engorgement hydrique prolongé où les mécanismes de réduction l'emportent sur ceux d'oxydation. Cet horizon est caractérisé par un enrichissement en fer réduit et par des taches jaunes, vertes ou vert-bleuâtres, avec parfois prédominance des colorations grisâtres ou bleuâtres.

Globigérinidés (paléontologie) : groupe de foraminifères planctoniques à loges peu nombreuses, globuleuses ou carénées, à parois minces et perforées. La plupart sont trochospiralés ; certains sont bisériés ou planispiralés.

Globorotalia (paléontologie) : Globigérinidé caréné ou non dont l'ouverture est située en bordure de l'ombilic. Tertiaire à actuel.

Globotruncana (paléontologie) : Globigérinidé à loges enroulées et présentant une ou deux carènes ; proche des globigérines. Organismes pélagiques du crétacé supérieur.

globulaire (minéralogie) : qui a la forme d'un globe, d'une sphère.

goethite (minéralogie) : oxy-hydroxyde de fer trivalent, polymorphe α du composé FeO(OH), orthorhombique à cristaux tabulaires, prismes courts, aiguilles, lamelles ou en masse concrétionnée. Assez commune, la goethite se forme dans les sols riches en fer, par altération d'autres minéraux. On la trouve également sous forme de sédiments, ou directement formée par action hydrothermale. Elle est présente dans les milieux humides et laisse sa place à l'hématite* dans les milieux plus arides. Comme cette dernière elle a été utilisée comme pigment par les préhistoriques.

golfe de corrosion (pétrographie) : zone concave à la surface d'un cristal, qui est généralement due à sa dissolution.

graben (géologie) : (terme d'origine allemande signifiant *fossé*), c'est un fossé tectonique d'effondrement situé entre des failles normales de même direction. La formation d'un graben fait suite à une extension de la croûte continentale d'où la présence fréquente de phénomènes volcaniques.

graded bedding (sédimentologie, pétrographie) : granoclassement vertical progressif d'un banc sédimentaire avec en général les particules les plus grosses à la base et les plus fines au sommet (critère de polarité).

grain (pétrographie) : élément de petite taille d'une roche meuble ou consolidée.

grainstone (pétrographie) : crée par Dunham (1961) : accumulation d'éléments figurés jointifs dépourvue de matrice micritique (ex. : les textures oolithiques). Certains silex ont conservé l'aspect *grainstone* originel (pseudomorphose siliceuse).

granoclassement (sédimentologie, pétrographie) : classement des grains d'une roche, par taille croissante ou décroissante, lié à la vitesse des courants. Au granoclassement le plus courant s'oppose le granoclassement inverse où la taille des grains croît vers le haut.

granulaire (pétrographie) : texture composée d'agrégats de minéraux en grains sensiblement isométriques.

granule (pétrographie) : grain dans les roches sédimentaires détritiques (classe des rudites), de 2 à 5 mm.

granulométrie (pétrographie) : étude de la répartition des éléments figurés d'une roche selon leur taille et cette répartition elle même. On classe les roches sédimentaires en différentes catégories (Grabau, 1904 ; Folk, 1959 ; Dunham, 1961 ; Embry, Klovan, 1971). Nous avons adopté ici les classifications de Dunham et d'Embry et Colvan, qui utilise les termes de siltite, lutite (C.K Wenworth), arénite, rudite. La granulométrie est une fonction de l'hydrodynamisme du milieu et leur état énergétique.

graveleux (pétrographie) : une roche, le plus souvent calcaire, contenant au moins 10% de gravelles.

gravelle (pétrographie) : petits éléments arrondis à sub-arrondis le plus souvent calcaire présent dans la structure de la roche de même nature et dont la taille est comprise entre 0,5 à 4mm.

gravier (pétrographie) : élément dans roche sédimentaire détritique (classe des rudites) dont la taille est comprise entre 1mm à 30 mm.

grauwacke (pétrographie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), une roche sédimentaire détritique de la classe des arénites ; en général de teinte sombre, à ciment assez abondant (20% environ) d'origine marine, constituée de grains anguleux, de dimension comprise entre 60 µm et 2 mm. Cimentée par un liant argileux riche en chlorite, ce qui la pigmente souvent en vert. Elle est souvent abondante dans diverses séries du Paléozoïque. **2)** Syn. de graywacke, grès à ciment détritique argileux à matériel hétérométrique peu roulé à anguleux.

grenu(e) (pétrographie) : s'applique à une roche ou à une structure, qui offre un assemblage de cristaux visibles à l'œil nu.

grès (pétrographie) : arénite consolidée comportant au moins 75% de grains de quartz plus ou moins arrondis de 62 µm à 2 mm (de la classe des siltites à celle des arénites). Les variétés sont distinguées d'après le grain, la nature du ciment et la présence ou non d'éléments particuliers. On distingue trois grandes familles, les grès à ciment siliceux (grès siliceux, grès quartzeux, quartzites) ; les grès à ciment calcaire ; les grès calcarifères dont le ciment n'est qu'en partie calcaire.

grès quartzeux (pétrographie) : grès à ciment siliceux formé de quartz microcristallin.

grès quartzite (pétrographie) : grès dont les grains de quartz offrent des surcroissances de quartz néoformé.

grès siliceux (pétrographie) : grès à ciment siliceux parmi lesquels, on distingue les grès quartzeux, opalifères, calcédonieux,….

grèze (ou groize) (géologie) : dépôts de versants stabilisé à éléments anguleux, en lits inclinés alternativement grossiers et fins, résultant de la fragmentation par le gel des roches calcaires, lors des périodes froides du Quaternaire (voir modelé périglaciaire).

groove-cast (*sole marks*) (sédimentologie) : figures de base de banc formée par un objet déplacé par les courants, en creux, de forme allongée et orientée vers l'aval.

grumeau (pétrographie) : petite agglomération de particules dans sol ou structure plus grosse qu'un agrégat > à 0,2 mm (Frei). Petite rugosité de même taille qui apparaît sur une surface lisse.

grumeleuse (pétrographie) : structure des sols humifères riche en agrégats poreux irréguliers (grumeaux) plus ou moins jointifs.

groupe (minéralogie) : ensemble des minéraux ayant des édifices cristallins analogues.

Gryphaea (paléontologie) : genre de lamellibranche fossile proche des huîtres.

guillochage (pétroarchéologie) : ensemble de stries plus ou moins profondes qui se recoupent.

gypse (minéralogie) : sulfate de calcium hydraté monoclinique : $CaSO_4$ $2H_2O$, lié aux séquences évaporitiques.

hadal (océanologie) qualifie le milieu marin profond des grandes fosses océaniques et dont la bathymétrie est supérieure à 7000 m.

halite (minéralogie) : chlorure de sodium : NaCl cubique, montrant trois clivages parfait orthogonaux, lié aux roches sédimentaires évaporitiques.

halloysite (minéralogie) minéral argileux voisin de la kaolinite à feuillets de 10Å,

halmyrolyse (géologie) : altération chimique d'un matériau au contact avec l'eau de mer ambiante à basse température.

halocinèse (géologie) : (F. Trusheim, 1957), manifestations tectoniques liées aux formations sédimentaires évaporitiques.

haloclastie (géologie) : en milieu confiné : recristallisation de certains minéraux après évaporation et dont la croissance entraîne une fragmentation de la roche.

halophile (écologie, biologie) : un organisme qui préfèrent les milieux à fortes concentrations en sel. Les organismes halophiles sont dits extrémophiles. Ils appartiennent essentiellement aux domaines des *Archaea*, de bactéries ou de plantes. Les organismes halophiles sont caractéristiques des sources salées, des lacs et étangs salés, des marais salants, des sebkra, des sédiments marins côtiers,…

hardground (sédimentologie) : horizon sédimentaire marqué par un arrêt ou un fort ralentissement de la sédimentation. Il s'agit souvent d'horizons repères caractérisés par une surface encroûtée d'oxydes de fer et de manganèse, parfois accompagnée de glauconie et/ou de phosphates. On note la présence de joints corrodés, de traces de dissolution et de perforations de lithophages.

hardpan (pédologie, géologie) : terme général désignant un horizon superficiel ou supérieur du profil d'un sol rela- tivement induré. Souvent argileux, il résulte de la cimentation des particules du sol par des solutions diverses plus ou moins riches en silice, oxyde de fer, carbonates, matière organique,…(équiv. : *duricrust, caliche*,…)

hausmannite (minéralogie) : oxyde de manganèse (Mn_3O_4) de teinte brun-noir.

héliotrope (minéralogie) : calcédoine à fond verdâtre jaspé de veines rouges.

Hélix (zoologie) : genre de gastéropode terrestre pulmoné.

hématite (Minéralogie) : oxyde de fer, Fe_2O_3, rhomboédrique. On la trouve dans les roches magmatiques, métamorphiques, filoniennes et hydrothermales ainsi que dans certaines roches sédimentaires en particulier siliceuses.

hémiédrie (Minéralogie) : perte partielle des éléments de symétrie d'un cristal par rapport à ceux du système cristallin auquel il appartient. (ant. : holoèdrie).

hétérodonte (zoologie, paléontologie) : type de charnière de bivalve à dents peu nombreuses et différenciées.

Hétérométrie (Sédimentologie) : exprime l'hétérogénéité granulométrique des éléments figurés d'une texture. L'indice d'hétérométrie de Cailleux (1945), est destiné à évaluer numériquement l'hétérométrie d'une formation.
hétérotrophe (écologie) : organisme qui élabore sa propre substance organique non à partir de la matière minérale mais à partir d'autres substances organiques.

hexactine(s) (zoologie) : réseau de spicules triaxones (à trois axes perpendiculaires), dont les axes déterminent six branches formant un ensemble hexactine.

Hexactinellidés : classe Hexactinellida (zoologie, paléontologie) : groupe de spongiaires siliceux, comprenant les Lyssacines et les Dictyonines caractérisés par le fait que les ensembles hexactines sont les seuls types présents. Ce sont les éponges les plus profondes. Cette répartition est confirmée pour les éponges fossiles, ces mêmes groupes diminuent vers la zone néritique.

hexagonal (minéralogie) système cristallin à prisme droit hexagonal à six faces latérales rectangulaires égales et à deux bases hexagonales. angles $\alpha = \beta = 90°$, $\gamma = 120°$.

hiérarchie taxonomique : la classification zoologique repose sur l'établissement d'une échelle hiérarchique comportant un certain nombre de degrés. Les éléments fondamentaux de cette hiérarchie furent donnés par Linné en 1758. Cette échelle s'est montrée insuffisamment détaillée, et les chercheurs ont été amenés à rajouter des catégories intermédiaires. A titre d'exemple voici une partie du tableau (de Simpson, 1945), des catégories les plus utilisées : Famille – Genre – Sous-genre – Espèce.

holoédrique (minéralogie) : un cristal est holoédrique lorsqu'il possède la totalité des éléments de symétrie de son système cristallin.

homométrie (pétrographie) : tailles sensiblement égales pour l'ensemble des éléments figurés (grains, clastes,….) de la texture d'une roche. Ce calibrage exprime un bon classement granulométrique.

horizons (pédologiques) (pédologie) Cochet (1963), George (1970) : couches distinctes d'une couverture pédologique, sensiblement homogènes et appartenant au même stade d'évolution. L'horizon est distinct de la strate géologique. On distingue les horizons éluviaux, illuviaux et durcis (*hardpan*).

horst : (géologie), empr. à l'all. *Horst. :* désigne un compartiment tectonique limité par des failles normales parallèles dominant des compartiments abaissés et/ ou des grabens formés à la suite d'une extension crustale.

hyalin (minéralogie) : qui a l'apparence du verre.

hyalite (minéralogie) : opale incolore et transparente

hydratation (géologie) apport d'eau qui entraîne un relâchement ou une dislocation de la structure d'un minéral ou d'un matériau. C'est l'un des mécanismes initiateur de la dissolution, de l'hydrolyse et de l'altération.

Hydrobie (paléontologie) petit gastropode d'eau douce abondant à l'oligocène.

hydroclastie (géologie) : alternance hydratation/ dessiccation, conduisant à la fragmentation d'un matériau.

hydrologie : ensemble de disciplines (océanographie, potamologie, limnologie) qui étudient les propriétés physico-chimiques et mécaniques des eaux marines et continentales fluviatiles ou lacustres.

hydrolysat (géochimie) : produit résultant d'une hydrolyse, composé hydroxylé tel que : $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$, $Mn(OH)_4$, $Ti(OH)_4$, qui précipitent en général sur place et forment des concentrations résiduelles.

hydrolyse (Pétrographie et géochimie) : Pour un minéral silicaté, ce mécanisme est à l'origine de la dissociation d'une liaison métal oxygène suivie par l'insertion d'une molécule d'eau, en trois étapes : protonation – site vacant – déprotonation. Cette réaction chimique au cours de laquelle une molécule d'eau est utilisée pour permettre la rupture d'une liaison covalente en se dissociant en OH^- et H^+. Elle entraîne la destruction de certaines liaisons covalentes dans les minéraux et la modification de leurs structures cristallines. Ce mécanisme s'avère fondamental dans l'initiation des altérations. Lors de la pédogenèse il est dominant dans les sols à pH compris entre 5 et 9. Il y lieu de distinguer l'hydrolyse totale qui conduit à désilicification totale des matériaux de l'hydrolyse partielle

hydrothermalisme : (Géologie) : Ensemble des phénomènes qui se rapportent à la circulation d'eaux chaudes (supérieures à 100°c) minéralisées dans la croûte terrestre. Ils sont liés à des gradients géothermiques anormaux et à la tectonique particulièrement dans les domaines volcaniques, orogéniques et subsidents. Ils sont à l'origine d'importants transferts géochimiques (Métallogenèse, silicifications,…)

hydroxyde (Chimie) : c'est l'anion HO^- anciennement noté OH^- , cette première écriture montre que la charge négative est portée par l'oxygène. Chimiquement, c'est une base mais aussi un nucléophile. Son caractère basique se mesure par une constante d'équilibre tandis que sa nucléophilie se mesure par une constante de *vitesse*. Souvent combiné au fer l'anion HO^- est très répandus dans la nature. Parmi les oxydes de fer il contribue à la classification des hydroxydes, oxy-hydroxydes , ….

hydrozoaires (zoologie) : appartient à l'embranchement des cnidaires. Les hydres d'eau, les anémones de mer et les physalies en sont les principales espèces actuelles.

hypothalle (botanique): désigne chez les algues rouges, une ou plusieurs assises de filaments rampants à croissance apicale (aboutissant à la formation d'un encroûtement à croissance marginale à filaments dressés), lui même recouvert par l'épithalle.

Ichnologie (paléontogie, sédimentologie) : Etude des traces fossiles des roches sédimentaires.

ichnogenre (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), désigne les traces laissées dans un sédiment par des animeaux (pistes, habitats, déjections…). Par assimilation avec les classifications zoologiques ou botaniques on a crée des noms de genre (ichnogenre) et d'espèces (ichnoespèce) pour désigner des traces. **2)** A. Seilacher (*Trace Fossil Analysis,* 2007*)* Les ichnofossiles présentent des caractéristiques qui les rendent facilement identifiables et permettent sa classification comme parataxons ichnogenres et ichnoespèces. Les ichnotaxons sont des classes de pistes de fossiles regroupés suivant leurs propriétés communes géométrie, structure, taille, type de substrat et fonctionnalité. Les traces et les empreintes d'invertébrés marins constituent d'excellents indicateurs paléoécologiques. En effet, elles sont le résultat de l'activité de ces organismes, en liaison avec leur environnement spécifique (nature du substrat et conditions du milieu aquatique salinité, température, bathymétrie).

idiochromatique (minéralogie) : se dit d'un minéral dont la couleur résulte de sa composition chimique.

illite (minéralogie) : minéral argileux monocliniques à structure proche de celle des micas, de formule $(K,H_3O)_y(Al_4.Mg_4.Fe_4.Mg_6)(Si_{8-y}Al_y)O_{20}(OH)_4$ où y est inférieur à 2 et souvent compris entre 1 et 1,5. Ce minéral est issu de en particulier de l'hydrolyse partielle (bisiallitisation) du feldspath orthose.

illuviation (pédologie) (Forest, 1946) : apport de particules ou de matériel précipité issus d' horizons pédologiques sus-jacents lié à l'infiltration des eaux dans un sol. Ce transfert de matière peut être vertical ou latéral. Certains horizons pédologiques calcaires, siliceux,…. en dérivent. (ant.) : éluviation.

imbibition (pédologie et géologie) : remplissage partiel ou total par une solution de l'espace vide d'un sol ou d'une roche.

imbriquée (pétrographie) : se dit d'une texture où les grains de certains minéraux tabulaires ou en feuillets se recouvrent les uns les autres (syn. : tuilage).

impact cast (Géologie) : figure de charge en creux formée à la suite du choc d'un objet transporté par les courants (syn. : marque de frottement ou *prod cast*).

imprégnation colorée (pétroarchéologie) : pénétration d'une solution colorée à l'origine du dépôt d'un pigment dans une roche ou à la surface d'un minéral.

incertae sedis (taxonomie, paléontologie) : expression latine utilisée en systématique pour indiquer que la position d'un taxon est incertaine. **2)** (A. Foucault, J.F Raoult, 6ème ed. , 2005), se dit d'un fossile dont la place dans la classification est douteuse, ou dont on ignore s'il s'agit d'un reste d'être vivant.

inclusion (minéralogie) : substance solide, liquide ou d'une nature différente à celle du cristal hôte (ex. : inclusions fluides à eau + vapeur ; inclusions gazeuses à CO_2 des quartz,…).

indicateur stratigraphique (paléontologie, stratigraphie) : taxon ayant un rôle déterminant dans la chronologie des dépôts sédimentaires (cf. fossile stratigraphique), 2) niveau stratigraphique repère ayant des caractéristiques anomaliques et une répartition mondiale (ex. : anomalie KT à Ir)..
indice d'aplatissement (géologie) : (A. Cailleux et J. Tricart, 1963), (Wentworth,), examen morphométrique (mesure de la forme des grains de sables et des galets), fonction de la nature pétrographique de l'échantillon et de son usure.

indice de dissymétrie (A. Cailleux et J. Tricart, 1963), examen morphométrique (mesure de la forme des grains de sables et des galets), fonction de la nature pétrographique de l'échantillon et de son usure.

indice d'émoussé (A. Cailleux, 1947), examen morphoscopique (mesure de la forme des grains de sables et des galets), fonction de la nature pétrographique de l'échantillon et de son usure.

induration (géologie) : se dit d'un sédiment, d'une roche ou d'un sol durçi ou consolidé par la cimentation, la dessication, la pression ou la chaleur (voir : lithification, diagenèse).

infralittoral (océanologie) : zone euphotique du milieu marin côtier située en dessous du niveau des basses eaux jusqu'à environ 50 m de profondeur. Il s'agit d'une zone en permanence immergée et à forte instabilité environnementale.

infratidal (océanologie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), domaine situé au-dessous du niveau de la basse mer.

ionisé (chimie) : se dit des atomes porteurs d'une ou plusieurs charges électriques (ions). Ce sont des cations lorsque la charge est positive et des anions lorsqu'elle est négative.

intercristallin (pétrographie) : espace situé entre les cristaux de la texture d'une roche.

interface : surface séparant deux milieux de propriétés physiques différentes.

interfacial cast (géologie) : moulage à la limite de deux strates superposées.

interfluve (géomorphologie) : zone comprise entre deux talwegs voisins et comprenant deux versants appartenant à deux vallées différentes.

intergranulaire (pétrographie) : espace situé entre les éléments figurés d'un sédiment ou d'une roche.

interstratifié(e) (géologie, minéralogie) : Intercalé entre deux strates sédimentaires : se dit d'un sédiment qui se dispose entre deux couches sédimentaires. **2)** pour les argiles interstratifiées : ce terme s'applique à des structures cristallines constituées par l'alternance de feuillets de natures distinctes (ex. : illite-montmorillonite).

intertidal (océanologie) : zone littorale située entre les limites de la haute et basse mer.

Intraclaste(s) (pétrographie) : (Folk, 1959), éléments figurés pénécontemporains d'un sédiment ou d'une roche carbonatée, remanié sur place ou à faible distance, anguleux à arrondis (J.J. Blanc, 1968). Ce terme peut être utilisé pour qualifier certaines textures de silex épigénétiques.

intraformationnel (géologie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), à l'intérieur de la formation sédimentaire ; qui se produit au cours du dépôt d'une formation et aux dépends de celle-ci (Ex. : brèche intraformationnelle) (Syn. : synsédimentaire).

intramicrite (pétrographie) : (Folk, 1959 ; M. Slansky, 1992), calcaire constitué de plus de 50% de calcite et de plus de 10% d'intraclastes de même nature. (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), calcaire constitué d'intraclastes liés par un ciment finement cristallin.

intrasparite (pétrographie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), calcaire formé d'intraclastes liés par un ciment largement cristallin.
involute (zoologie) : qualifie une coquille enroulée dont le dernier tour recouvre entièrement ou presque les tours précédents.

involution (géologie) : (Sylvester ds *Comptes Rendus de l'Ac. des Sc.,* 1861, t. 52, p. 741), Structure dans des sédiments meubles avec des plis localisés accompagnés d'interpénétrations du matériel fin d'une couche dans une autre argileuse. Ce type de structure se forme sous climat périglaciaire à la suite du développement et de la fusion répétés de la glace dans les formations superficielles au dessus du permafrost. Une couche plus plastique comprimée entre deux couches gelées se déforme aux endroits de moindre résistance.

ion (chimie) : (1834 par le physicien anglais Faraday), atome ou groupe d'atomes électriquement chargé(s) à la suite d'une diminution ou d'une augmentation du nombre d'électrons. Selon le déficit ou l'excès de charges (1, 2 ou 3), l'ion est dit monovalent, bivalent ou trivalent. L'ion négatif est un anion; l'ion positif est un cation.

isochimique (ou topochimique) (géochimie) : Se dit du métamorphisme lorsque la composition chimique d'un matériau reste constante au cours de sa transformation (à l'exception notable de H_2O et du CO_2). Le terme peut être utilisé pour les transformations polymorphiques, certains ré-arrangements de textures,….

isogranulaire (ou isométrique)(pétrographie) : se dit de la texture d'une roche ou d'un sédiment où les grains, clastes,… sont de taille sensiblement égale.

isomorphe (minéralogie) : qualifie les minéraux qui ont la même structure cristalline mais des compositions chimiques différentes (ex.: calcite $CaCO_3$ et dolomite $CaMg(CO_3)_2$).

isopaque (ou isopache) (géologie) : Sur une carte, ligne indiquant l'ensemble des points d'égale épaisseur pour une même ensemble stratigraphique (unité stratigraphique, étage,…).

isopique : se dit de roches ou d'ensembles sédimentaires contemporains dont les faciès sont identiques ou très voisins.

jaspe : début XII e, (Benoit, *Voyage de St Brendan,* éd. E. G. R. Waters, 687), roche sédimentaire siliceuse cryptocristalline, constituée de calcédoine et de quartz opaque à légèrement translucide, contenant parfois des argiles, mais aussi des oxydes de fer responsables de la coloration. Les variétés les plus connus sont les radiolarites, lydiennes ou les phtanites. Dans la littérature anglo-saxonne il s'agit d'une variété de chert associée à des minerais de fer et contenant des impuretés d'oxydes de fer. Les teintes varient du rouge au brun, vert, jaune, gris-bleu, *etc*… Terme source de confusion, à éviter.

joint(s) (géologie) : : surface de discontinuité instaurée sans déplacement au sein d'une roche. Un joint de stratification est une surface de discontinuité limitant deux couches de même nature lithologique. Un joint tectonique ou joint de tension correspond à une fracture dépourvue de rejet.

Jurassique (géologie) : deuxième époque géologique du mésozoïque. Démarre à l'Hettangien vers 205 ma et s'achève au Tithonien vers135 ma.

kaolinite (minéralogie) (Larchevêque, *Fabric. industr. porcel.,* 1898 p. 22), minéral argileux, triclinique, de formule $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Minéral commun issu principalement de l'altération météorique ou hydrothermale des aluminosilicates (feldspaths principalement).

karst (géomorphologie, géologie)(1922, région de Croatie), plateau calcaire affecté par la circulation d'eaux souterraines qui dissolvent le carbonate de calcium. **2)** terme général, ayant des sens différents selon les disciplines et impliquant: modelé de surface, cavités naturelles, types de remplissages, drainage souterrain, ensemble des éléments structuraux formant un réseau souterrain dans un massif rocheux.

karstologie : discipline qui étudie les karst.

kérogène (pétrographie) : fraction organique fossile insoluble d'une roche sédimentaire

lacune de sédimentation (stratigraphie) : zone dépourvue de dépôts sédimentaires dans une série stratigraphique. Elle peut être liée à un arrêt de sédimentation, à une érosion ou un glissement de fond des sédiments meubles préexistants, à une phase d'émersion et d'érosion (souvent en réponse à une phase tectonique).

Lagenidea (paléontologie) : super famille, à formes planispiralées à déroulées, ou enroulées régulièrement autour d'un axe longitudinal, leur test calcaire est hyalin, très finement perforé, à ouverture périphérique ou terminale.

Lagenidae (paléontologie) : Lagénidés, famille, à enroulement planispiralé passant à des formes à loges rectilignes. Elle comprend les sous familles suivantes : *lenticulininae* et *Lageninae.* Les foraminifères de cette dernière sous famille à test uniloculin (genre typique : *Lagena*).

lagon (océanologie) : étendue d'eau marine au cœur d'un atoll ou situé entre une côte et un récif barrière.

lagune (océanologie) : étendue d'eau saumâtre située à l'arrière d'un cordon littoral en communication ou non avec la mer.

lahar (volcanologie) : terme indonésien, coulée boueuse à débris de roches volcaniques qui affecte souvent les pentes instables des volcans.

lamellaire (paléontologie) : agencement structural à fines couches superposées de natures différentes de certaines coquilles de lamellibranches et de certains tests de foraminifères.

lamellibranches (zoologie, paléontologie) : mollusques* à deux valves calcaires, pourvus de branchies et dont le plan de symétrie passe généralement entre les valves. La classification générale prend en compte le type de charnière (articulation des valves), la forme de l'empreinte palléale, les empreintes musculaires (effectif et tailles relatives). Une majorité de lamellibranches vit dans les sédiments meubles. Ils sont pourvus d'un pied fouisseur et, souvent de deux siphons rétractiles qui assurent la circulation de l'eau pour la respiration leur symétrie bilatérale (huitres, rudistes, ;…). Principalement marins, les lamellibranches ont pu s'adapter aux milieux fluviatiles, lacustres ou saumâtres. Syn. Bivalve, Pélécypode.

lamination (sédimentologie) : disposition des éléments d'un sédiment ou d'une roche en fines couches inframillimétriques ou lamines ; elles constituent une laminite.

laminite (pétrographie) : (A. Lombard, 1963), roche détritique à grain très fin et finement litée souvent associée aux turbidites des flysch et aux calcaires zonaires. Roche issue d'une sédimentation très faible et qui s'amortit lentement en tendant vers le zéro.

lapiaz ou lapiez (géomorphologie) : modelé karstique spécifique des roches carbonatées (calcaires ou dolomitiques) consécutif de la dissolution.

latérite (pétrographie) : (F ; Buchanan, 1807) sol rouge, riche en hydroxydes de fer et d'aluminium (sol ferralitique). Se développe sur des substratums granitiques ou métamorphiques sous climat tropical humide.

lehm (pétrographie) : argile silteuse correspondant généralement à la partie supérieure altérée et décarbonatée par lessivage des loess.

lépidocrocite (minéralogie) : oxyhydroxyde de fer, orthorhombique, de formule γFeO(OH), polymorphe de la goethite : αFeO(OH)). C'est un minéral voisin de la limonite FeO(OH).nH_20 avec laquelle elle est fréquemment associée.

Lépidocyclina (paléontologie) : foraminifère fossile des mers chaudes cénozoïques, pluriloculaire, discoïde, souvent de grande taille.

lessivage (pédologie, géologie) : entraînement par l'eau de percolation des substances dissoutes et des particules fines (argiles).

limnée (Zoologie, paléontologie) : gastéropode pulmoné des eaux douces lacustres.

limicole (Zoologie, paléontologie) : désigne un organisme vivant sur la boue.

limnique (Géologie) : s'applique aux bassins sédimentaires intracontinentaux.

limonite (Pétrographie, Minéralogie) : roche constituée d'hydroxydes de fer microcristallin ou amorphe qui contient en particulier de la goethite*, de la lépidocrocite*, plus des quantités mineures d'hématite, hydroxydes d'aluminium, silice colloïdale, minéraux argileux, phosphates, arséniates et composés organiques. La limonite se forme par altération superficielle de plusieurs minéraux de fer et parfois de la glauconie. 2) Minéral sédimentaire fondamental $FeO(OH).nH_20$.

litage (géologie) : A l'affleurement, structure d'une roche sédimentaire qui comporte une succession de niveaux de faible épaisseur (cm au dcm).

lithification (pétrographie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), processus de transformation d'un sédiment meuble en roche compactée et cimentée. Voir diagenèse*.

Lithistida (paléontologie) : spongiaires de la sous classe des démosponges, (Schmidt, 1870). Les démosponges sont caractérisées par de grandes spicules (mégasclères) et des petites (microsclères) qui forment un réseau squelettique cohérent.

lithoclaste (pétrographie) : fragment lithique inclus dans un sédiment ou une roche. Les extraclastes* sont des lithoclastes d'âge plus ancien et de nature distincte que le sédiment -ou la roche- qui les contient. Les intraclastes* sont du même âge et de nature différente.

lithographique (pétrographie) : qualifie un calcaire très fin et homogène.

lithophage (biologie) : organisme qui creuse les roches.

lituolidés (paléontologie) : famille de foraminifères agglutinés, multiloculaires dont l'enroulement est très variable : planispiralé à unisérié rectiligne ou annulaire, à parois souvent alvéolaires à loges subdivisées, à structures de plus en plus complexes : libres ou occupées par des cloisonnettes ou des piliers. Les ouvertures sont nombreuses. La forme du test est très variable : spiralé, operculiforme, fusiforme, discoïde, cylindrique ou conique. Carbonifère à actuel.

lixiviat (pédologie) : liquide chargé de constituants dissous et particulaires obtenu par lixiviation expérimentale à travers un ou plusieurs horizons d'un sol. Syn lixivium.

lixiviation (pédologie, géologie) : action naturelle de séparation, élimination sélective, ou dissolution par l'eau de percolation des ions les plus mobiles, dissous ou adsorbés par des particules fines, et présents dans un sol ou d'une roche.

load casts (géologie) : figure de charge induit par l'enfoncement d'une couche meuble supérieure dans un sédiment sous-jacent gorgé d'eau et soumis à un fluage.

loess (géologie) : (Besch, 1845), roche détritique argilo-calcaire et silteuse, à grain fin inférieur à 62,5 µm, meuble, non stratifiée, d'origine continentale et éolienne, déposée en domaine périglaciaire lors de périodes climatique à dominante sèche et froide.

log (géologie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed., 2005), anglicisme pour désigner une colonne stratigraphique qui résume de façon suggestive des données de terrain ou de sondage.

loge(s) (zoologie, paléontologie) : chambre(s) des tests minéralisés des foraminifères. Elles sont séparées par des cloisons (septes) et communiquent entre elles. Les parois présentent de nombreux pores (d'où le nom du groupe, du latin *foramen*) et d'où sont émis des filopodes servant à la locomotion et à la capture de nourriture. La loge initiale est le *proculus* ; les autres sont de taille croissante. La dernière communique avec l'extérieur. Dans le cas où le Protozoaire présente une seule série de loges le test est unisérié, s'il y en a plusieurs il est dit bi, tri ou multisérié.

lorica (paléontologie) : coque protectrice organique secrétée (carbonatée ou siliceuse) ou construite par agglutination de matériel étranger de certains organismes vivants ou fossiles (diatomées, loricifères, calpionelles, pithonellides,…), (voir thèque*)

lumachelle (pétrographie) : roche sédimentaire souvent peu cimentée, formée par l'accumulation de nombreuses coquilles entières ou brisées accumulées.

lumière polarisée non analysée ou LPNA (optique cristalline) : lumière dont les photons ne vibrent que dans un seul plan - dit plan de polarisation – et issue d'un polariseur. Au microscope polarisant l'utilisation de l'abréviation LPNA est préférable à celle de «lumière naturelle» qui est en fait issue d'un polariseur. L'examen microscopique en LPNA d'un minéral permet d'observer : sa transparence, sa teinte naturelle et son pléochroïsme éventuels et d'évaluer son indice moyen relatif à l'aide du Baume du Canada ou aux minéraux contigus (relief et frange de Becke).

lumière polarisée et analysée ou LPA (optique cristalline) : pour un microscope dont les deux polariseurs sont orientés perpendiculairement (nicols croisés), la lumière polarisée analysée (LPA) est issue du polariseur-analyseur (polariseur supérieur). Lorsqu'elle provient d'un minéral observé, dans certaines conditions, elle est caractérisée par des teintes (dites de polarisation) dépendant principalement de la biréfringence (β) du minéral et de son épaisseur. Une section anisotrope joue le rôle d'un polariseur. Si elle est placée entre nicols croisés, elle apporte un retard de la lumière qui, pour une épaisseur définie (30µ), est fonction de la biréfringence du minéral et de l'orientation cristallographique. La teinte de polarisation dépend de la biréfringence de la section considérée (β' = Ng'-Np'). L'expression, LPA, est préférable à celle de «lumière polarisée».

lustré (pétroarchéologie) : état de la surface polie d'un silex en réponse à des actions abrasives douces et répétées d'origines géologique variées (ex. : lustré de ruissellement, lustré de gélifluxion, lustré fluviatile, lustré éolien,…). L'examen de la localisation du poli, son intensité et la nature des stigmates associés permet d'identifier son milieu d'acquisition.

lussatine (minéralogie) : (Braitsch, 1957, F. Arbey, 1980), variété de la lussatite à allongement négatif.

lussatite (minéralogie) : (Mallard, 1890) : variété de silice fibro-lamellaire. Ce terme a été utilisé initialement pour décrire une variété fibreuse collomorphe de la cristobalite. Braitsch (1957) distingue la lussatite de la lussatine car leurs allongements différents. Il s'agit d'un tectosilicate, SiO_2, quadratique, à allongement positif. En diffractométrie de rayons X elle donne un spectre de cristobalite désordonnée (opale CT) ; certaines analyses tendent à la rapprocher d'une tridymite et/ou de cristobalite fibreuse. Au microscope polarisant son indice moyen est faible (1,45), son habitus est fibreux. La lussatite est un polymorphe de la silice connu dans les formations siliceuses en relation avec des évaporites (F. Arbey, 1980). Pour certains auteurs le minéral serait plutôt d'origine hydrothermale. Extrêmement rare, on la rencontre en France dans les calcaires bitumineux de Limagne dans la région où elle a été définie, plus rarement dans les silcrètes de la Comté (Puy-de-Dôme).

lutécine (ou lutécite) (minéralogie) : (Michel-Lévy et Munier- Chalmas, 1898 ; Le Chatelier, 1914), variété de silice fibreuse rencontrée dans certains silex. Minéral polymorphe du quartz, de formule SiO_2, caractérisée par une extinction oblique (Ng C= 30°). Pour certains auteurs la lutécite est synonyme de moganite.

Lituolidea (paléontologie) : super famille, ensemble de foraminifères fossiles agglutinés à formes sériées ou spiralées, à loges simples ou pourvues d'une structure interne. Elle comprend plusieurs familles dont les *Textulariidae, Orbitolinidae,…*

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

Lymnaea (ou limnée)(zoologie, paléontologie) : Genre de gastéropode pulmoné lacustre. Du jurassique à l'actuel.

lysocline (océanolographie) : niveau de profondeur à partir de laquelle la vitesse de solubilisation des carbonates augmente fortement dans les océans. Ce niveau de compensation des carbonates n'est pas constant dans le temps ni en profondeur dans le temps ni dans l'espace. Il dépend de la composition et de la température de l'eau de mer. La courbe de dissolution des carbonates en fonction de la profondeur est inverse à celle de la silice.

maar (géologie) : cratère dont le cône surbaissée s'est formé à la suite de nombreuses explosions superficielles ou profondes à caractère phréatique (cratère d'explosion). Le cratère est généralement rempli par un lac.

macle (minéralogie) : association de deux ou plusieurs cristaux d'une même espèce minérale dont les orientations cristallographiques respectives obéissent à des lois d'association précises. La surface d'association (ou plan d'accolement) des cristaux est définie selon la nomenclature de Miller. On distingue les macles simples par accolement (ex. macle de Carlsbad de l'orthose selon le plan 010) des macles par interpénétration (ex. macle en croix). La loi de maclage peut être répétitive et associer de nombreux individus (ex. macles polysynthétiques des plagioclases). L'acquisition d'une macle peut être consécutive de la nucléation et de la croissance du minéral : elle est primaire et syngénétique (ex. synmagmatique). Elle peut s'exprimer pour certains minéraux lorsque leurs réseaux cristallins sont soumis à des tensions (ex. macles mécaniques de la calcite). Pour le quartz α, les macles les plus connues sont celles : - du Dauphiné où deux cristaux sont interpénétrés ; - du Brésil où les axes ternaires des 2 individus interpénétrés droite/gauche sont confondus ;- du Japon (dite de la Gardette) moins fréquente mais facile à identifier avec deux cristaux en cœur faisant un angle de 84°33'.

macrocristallin(e) (pétrographie) : texture d'une roche formée en majorité de cristaux dont la taille est comprise entre 0,063 mm et 2 mm.

madréporaires (ou madrépores) (zoologie, paléontologie) : Polypiers,

maille cristalline (minéralogie) : c'est le plus petit volume parallélépipédique conservant toutes les propriétés géométriques, physiques et chimiques du cristal. Son contenu atomique est appelé motif. Les sommets de la maille sont les nœuds. La maille est définie par trois paramètres vectoriels de valeurs a_0, b_0, c_0 issus d'un même nœud et les trois angles α, β, γ.

mangrove : domaine intertidal (*salt marshes*) des zones tropicales occupé par des d'arbres ou d'arbustes adaptés (palétuviers) qui occupent la zone moyenne à supérieure de l'estran.

marne (pétrographie): mot d'origine gauloise, (*doc.* ds C. A. Bevans, *The old french vocabulary of Champagne,* 1287 p. 25). Roche sédimentaire argilo-carbonatée, tendre et peu plastique . Elle est composée en proportions variables d'argile et de carbonates (et parfois de sable, de glauconie….).

martelage (pétroarchéologie) : association de cônes de percussion, formant des protubérances, résultant des chocs au cours d'un transport turbulent fluviatile.

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

MEB : abréviation pour microscope électronique à balayage.

médiolittoral (océanologie) : zone de battement des marées dans le milieu marin côtier.

mégacristallin (pétrographie) : (M. Slansky, 1992), qualifie les textures des roches sédimentaires constituées en majorité de cristaux authigènes de taille > à 2 mm.

mégaquartz (pétrographie) : pour les roches sédimentaires siliceuses (silex, silcrètes,…) : quartz en cristaux polyédriques ou automorphes dont la taille est supérieure à 20µm. (anti. : microquartz).

mégaséquence (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), qui correspond à un arrangement ordonné de séquences. **2)** (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), « séquence sédimentaire dite du deuxième ordre, c'est à dire regroupant, selon un arrangement ordonné, des séquences sédimentaires de premier ordre (suite de niveaux stratifiés se succédant, selon un ordre déterminé).

mégasphère (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), chez les Foraminifères, première loge d'un individu de la génération sexuée ou gamonte.(opp. : microsphère pour un individu d'une génération asexuée).

mélobésiées (botanique, paléontologie) : famille d'algues rouges marines calcaires à structures encroutantes ; principaux genres (*Archaeolithothamnium* et *Lithothamnium*).

ménilite (pétrographie) : ancien terme pour définir le silex. Terme à éviter.

mérodonte (ou taxodonte) (zoologie, paléontologie) (G. Bignot, 2001) : Pour les ostracodes : type de charnière de leur carapace présentant un sillon encadré par deux dents et deux alvéoles.

mésocristallin(e) (pétrographie) (M. Slansky, 1992) : qualifie la texture d'une roche constituée en majorité de cristaux dont la taille est comprise entre 0,004 et 0,063 mm.

mésozoïque : (J. Phillips, 1818), ère géologique s'étendant de 250 à 65 ma, elle comprend le Trias, le Jurassique et le Crétacé. (syn. : ère secondaire)

métamorphisme (géologie): processus de transformation des matériaux soumis l'action de la température, de la pression, et d'un éventuel apport de substances chimiques. Chacun de ces facteurs peut agir indépendamment ou conjointement avec les autres.

métamorphisme de contact (ou thermométamorphisme) (géologie): métamorphisme qui s'exprime au contact des roches magmatiques intrusives chaudes lors de leur refroidissement.

métamorphisme dynamique (géologie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005), il est surtout lié aux contraintes qui se développent dans les grands accidents cassants où les roches acquièrent une schistosité et sont parfois broyées.

métamorphisme hydrothermal : il est lié à la circulation de fluides (eau surtout) à température élevée.

métaquartzite (pétrographie) : quartzite ayant subi le métamorphique.

métasomatose (géochimie) : processus physico-chimique à l'origine d'une modification de la composition chimique d'une roche originelle. Cette transformation chimique et minéralogique, souvent texturale, est consécutive de la circulation de fluides réactifs chauds dans le matériau rocheux. Par le biais de réactions ils induisent des apports ou des départs d'éléments chimiques (Na, K, Ca, Si, S, As, Cl, ...). Certaines roches métamorphiques et les altérites hydrothermales présentent des caractères allochimiques* révélateurs de transformations métasomatiques. Certains processus diagénétiques s'apparentent à une métasomatose.

métastable (chimie physique, minéralogie) : se dit d'un phase minérale qui est stable sous certaines conditions physico-chimiques différentes de celles de son champ de stabilité normal.

meulière (pétrographie) : 1545 *pierre de moullere* (Le Maçon, tr. *Decameron,* VIII, 3 ds Hug.); 1606 *pierre de molière* (Nicot, *s.v. meule*); 1676 *pierre de meulière* (Félibien) ; 1636 *pierre molière* (Monet, 557); 1764 *pierre meulière* (Valm.); roche siliceuse associée à des calcaires ou des marnes lacustres, massive ou bréchique et souvent alvéolaire. 2) (F. Ménillet, 1988), propose le schéma génétique suivant : des sédiments lacustres et/ou palustres subissent des diagenèses siliceuses puis sont soumis à une intense décarbonatation qui entraîne une redistribution de la silice.

mica (minéralogie) : silicate alumino-potassiques à structure en feuillets (phyllosilicates). Dans sa structure l'aluminium occupe une position tétraédrique et octaédrique (cas des micas blancs ou muscovite). Pour les micas noirs le fer et le magnésium occupent les sites octaédriques. Ces minéraux sont brillants, colorés ou non, très facilement clivables en lamelles fines, transparentes, flexibles, élastiques, résistantes à la chaleur et isolantes. Les micas sont présents dans les roches éruptives, métamorphiques et sédimentaires.

micrite (pétrographie) (Folk, 1959) : calcite microcristalline à cristaux isométriques inférieurs à 5 µm qui constitue une partie ou la totalité de la roche. Elle se forme soit par précipitation directe de l'eau de mer, soit par décomposition de l'aragonite ou de la calcite fixées par les organismes marins. Les dolomicrites présentent les mêmes caractères mais sont constituées de dolomite.

microbrèche (pétrographie) : (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005) : roche ou texture dont les éléments figurés anguleux sont de petite taille (moins de 2 mm).

microcodium (paléontologie) : structure énigmatique (dont les éléments seraient d'origine organique), constituée d'un ensemble en épis de petits prismes de calcaire (taille 1-2 mm). Elle pourrait résulter de la calcitisation d'un substrat calcaire émergé par des colonies cariantes d'organismes encore indéterminés. Il s'agit d'un «fossile» stratigraphique, car il indique le passage de la limite crétacé-tertiaire. C'est également un «fossile» de faciès puisqu'il existe dans des sols en milieu continental.

microcristallin(e) (pétrographie) : (M. Slansky, 1992), qualifie une roche, une texture constituée de cristaux de taille inférieure à 4 µm.

microfaciès (sédimentologie) : ensemble des caractères minéralogiques, pétrographiques et paléontologiques déterminés pour une roche sédimentaire à l'aide du microscope optique.

micromorphogenèse (pétroarchéologie) : naissance et évolution de la surface des grains de sables ou des galets.

micromorphologie (pétrographie) : technique permettant l'étude de l'organisation microscopique des sédiments meubles.

micropaléontologie (géologie) : étude des microfossiles pour laquelle on doit utiliser au moins une loupe binoculaire.

microsparite (pétrographie) : terme crée par Folk (1959) ; calcite en cristaux de grande taille (5 à 10 µm) issus de la recristallisation d'une micrite.

Miliolidea (paléontologie) : super famille, (Miliolinés, Miliolidés), groupe de Foraminifères pluriloculaires à tests porcelanés imperforés, qui compte des formes assez simples (Milioles), et des formes de grandes tailles (les Orbitolites, les Soritidés, et les Alvéolinidés).

minéraux lourds (sédimentologie) : ensemble des minéraux de forte densité (d > 2,87) figurant dans les roches sédimentaires détritiques. Sphène, zircon, rutile, anatase, grenat, ilménite, tourmaline,…. sont les phases les plus fréquentes.

miocène (géologie) : dernière division stratigraphique du tertiaire de 23,5 à 5,3 Ma.

miogypsina (paléontologie) : foraminifère benthique des mers chaudes, polyloculaire à test ovale (> à 1 mm), à loges équatoriales ogivales groupées autour d'une loge embryonnaire (*proculus)* excentrée. De l'Oligocène supérieur au Miocène inférieur.

miroir de faille (géologie) : surface de faille limitant deux compartiments de terrain. Elle peut porter des stries liées aux mouvements.

mode (pétrographie) : composition minéralogique d'une roche, exprimée en pourcentages volumétriques des différentes phases.

moganite (minéralogie) : phase découverte en 1976 aux îles Canaries, (O.W. Florke, J.B Jones et Schmincke, 1976) et décrite par (H. Graetsch et al, 1987). Tectosilicate de formule SiO_2, monoclinique. Elle est considérée comme un polymorphe du quartz. Son habitus est fibreux à allongement positif ; les fibres sont plus épaisses que celles de la calcédoine et souvent coudées. En 1994, l'Association Minéralogique Internationale (IMA) désapprouve sa définition de nouvelle espèce minérale. Depuis elle a été reconnue par sa propre commission des nouveaux minéraux (CNMNC).

molasse (géologie) : roche sédimentaire détritique terrigène à grains moyennement triés et à ciment calcaire. Ses formations se présentent en successions de bancs de type gréseux à conglomératiques, à stratifications obliques. Les molasses sont des sédiments marins peu profonds et même parfois continentaux. Ces dépôts de bassins sont issus de l'érosion de reliefs (chaîne de montagnes) situés en bordure ; ils sont considérés comme synorogéniques.

môle (géologie) : zone rigide de la croûte continentale entourée de formations plus souples.

mollisol (pédologie) : en français : partie supérieure d'un cryosol soumise au dégel pendant une brève saison chaude et qui se distingue du permafrost (pergelisol) sous-jacent gelé en permanence.

mollusque (zoologie) : animaux invertébrés, à symétrie bilatérale quelquefois altérée, dulçaquicoles, marins ou terrestres, dont le corps mou est souvent recouvert d'une coquille calcaire. Deux groupes présentent un intérêt stratigraphique et paléoécologique pour notre discipline (Bivalves* ou Lamellibranches*, Gastéropodes). La coquille carbonatée secrétée par le manteau, comprend de l'extérieur vers l'intérieur : une cuticule, une couche prismée, une couche interne lamelleuse.

monoclinal(e) (géologie) : structure géologique où les couches - non plissées - sont toutes inclinées dans le même sens sur de vastes étendues.

monoclinique (minéralogie) : système cristallin à prisme oblique, quatre faces latérales égales 2 à 2, deux bases rectangulaires et dont les angles $\alpha = \gamma = 90°$ et $\beta \neq 90°$. Ce système présente un seul plan de symétrie.

monogénique (pétrographie) (M. Slansky, 1992), qualifie une roche dont tous les éléments sont de même nature et de même origine. **2)** (A Foucault, J.F Raoult, 6ème ed, 2005) : se dit des roches sédimentaires détritiques - en particulier des conglomérats - dont les éléments sont de même nature. Ant., polygénique.

monoréfringence (minéralogie) : propriété optique des minéraux transparents qui ne possèdent qu'un seul indice de réfraction. Ils sont optiquement isotropes. (Opp., biréfringence, anisotropie optique).
Montien (ou Sélandien) (géologie) (G. Dewalque, 1868), étage du Paléocène. L'utilisation du terme Sélandien est à privilégier.

montmorillonite (minéralogie) : phyllosilicate argileux du groupe des smectites, de formule $(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$, monoclinique.

morphogenèse (sédimentologie, pétroarchéologie) : naissance et évolution des formes et surfaces des grains de sable ou de roches.

morphométrie (sédimentologie) (A. cailleux, 1947) : mesure des dimensions des grains de sable et des galets permettant de calculer les indices d'aplatissement, de dissymétrie et d'émoussé, autorisant la caractérisation des facteurs de transports et des milieux de résidence.

morphoscopie (sédimentologie, pétroarchéologie) (A. cailleux, 1947), examen à la loupe binoculaire de la forme des grains de sable. Cette méthode classique permet de reconnaître les origines des sables glaciaires, alluviaux, marins ou éoliens. Par contre elle ne permet pas le discerner la totalité de la chaîne évolutive*. De ce fait nous avons élargi la méthode à l'étude des modifications des surfaces des galets et des blocs des roches siliceuses. (voir exoscopie*).

morphostratigraphie (géologie) : stratigraphie basée non sur la superposition des couches mais sur l'étagement des formes.

mouillabilité (physique) : propriété de la surface d'un matériau permettant son recouvrement par un liquide et liée à la tension de la goutte du liquide. Un agent mouillant permet d'abaisser les tensions superficielles du liquide à son interface avec le solide.

moutonnée (surface) (géomorphologie, pétroarchéologie) : (G. Plaisance et A. Cailleux, 1958) : affleurement dont toutes les aspérités ont été atténuées par le passage des glaciers et polies au point d'être parfois luisantes. **2)**, (P. Fernandes, 2006) : surface à l'échelle centimétrique dont toutes les aspérités ont été régularisées par un agent abrasif et polies au point d'être ondulée et brillante.

mud crack *(ou mudcrack)* (géologie) : fissures de dessiccation dessinant un réseau polygonal de craquelures grossières à la surface d'un sédiment argileux ou fossilisées à la surface d'une roche sédimentaire.

mudstone (pétrographie) (Dunham, 1962) : roche carbonatée constituée de particules fines et contenant moins de 10% d'éléments figurés de taille supérieure à 20 microns dans la matrice*. Certains silex héritent de cette texture originelle. (*cf.* micrite)

mulls (pédologie) : formes d'humus forestiers aérés à forte activité biologique, à pH faible (5,5), habituellement 6 à 7.

mur (géologie) : terme utilisé par les mineurs qui indique la surface inférieure d'une formation ; couche stérile limitant vers le bas la couche exploitable. S'oppose à toit.

multiloculaire (zoologie) : chez les foraminifères : test composé d'une série de loges.

nannofossiles (paléontologie) : microfossiles de tailles micrométriques.

Np, Nm, Ng, (ou α, β, γ, ou N_X, N_Y, N_Z) (optique cristalline, minéralogie) : notations conventionnelles des trois indices de réfraction principaux d'un minéral.

néo-cortex post-dépositionnel (pétroarchéologie) : zone périphérique d'un silex issue de transformations physico-chimiques variées acquises dans un dépôt archéologique. Ces modifications pénétratives se développent à partir de sa surface après son abandon dans le site archéologique.

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

néoformé (pétrographie) : qualifie un minéral ayant pris naissance dans une roche préexistante. Pour cette phase minérale secondaire cette néoformation implique de nouvelles conditions physico-chimiques distinctes de celles qui ont présidées à l'assemblage de la roche antérieure.

néogenèse (pétrographie) : néoformation d'un ou plusieurs minéraux secondaires à partir des éléments chimiques liés à la décomposition de phases minérales antérieures.

néritique (océanologie, géologie) : lié à la zone marine comprise entre le littoral et le rebord du plateau continental. Ce terme est utilisé pour les roches détritiques carbonatées riches en débris d'organismes fossiles et déposées dans cette zone.

neutre (chimie) : solution dont le pH est de 7. (*cf* : acide*, base*, pH*).
nicol (pétrographie) : Du nom du physicien anglais William Nicol (vers 1768-1851) : pour un microscope optique : dispositif prismatique en calcite permettant d'obtenir une lumière polarisée. Pour la même fonction le terme de nicol est utilisé pour un dispositif à lame polaroïd. Le microscope polarisant est pourvu de deux nicols : l'un dit polariseur est situé sous la platine, l'autre – amovible – est appelé analyseur et situé au dessus de l'objectif. Les plans de polarisation des deux nicols sont orthogonaux.

nodule (géologie) (L. Cayeux, 1958) : cet auteur désigne pour les roches sédimentaires sous le nom de nodule des rognons de forme générale arrondie, lenticulaire, irrégulière, pleins, dispersés, ou concentrés et toujours ordonnés parallèlement à la stratification (ex. : cas des silex de la craie). **2)** (Perraud, 1963) : « concrétion que l'on rencontre dans certains terrains », masse globuleuse centimétrique à décimétrique se différenciant de la roche porteuse par sa composition ou sa structure (ex.: nodules siliceux ou phosphatés).

novaculite (pétrographie) : matériaux siliceux sédimentaires paléozoïques lités ayant subi le métamorphisme et caractérisés par des textures de recuit à jonctions triples (Keller et *al.*, 1977).

Nummulitidés (paléontologie) : foraminifères pluriloculaires benthiques de grandes tailles. Cénozoïque à actuel.

océanicité (océanologie) : terme crée par M.R . Séronie en 1972 (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987) qui désigne la nature de la communication entre la plate-forme et le milieu océanique ouvert, zone d'importantes circulations.

Oligocène (géologie) : seconde période de l'ère tertiaire (cénozoïque) s'étendant entre l'éocène et le miocène de 34Ma à 23Ma.

ombilic (zoologie, paléontologie) : ouverture ou dépression localisée à la base de la columelle de la coquille enroulée des certains gastéropodes; dépression située au centre des Ammonoïdés et de certains foraminifères enroulés.

ombilic (géomorphologie) : dépression fermée peu étendue. Les ombilics occupent en général la partie la plus resserrée des goulets de marée (*Géomorphol.* 1979). Ombilic (glaciaire) : dépression provoquée par le surcreusement d'une vallée glaciaire limitée à l'aval par un verrou.

oncoïde (géologie, paléontologie) : concrétion millimétrique à centimétrique, sphérique à sub-sphérique formée de couches concentriques carbonatées. (B. H. Purser, 1980), **2)** ces formes se différencient des ooïdes par leurs surfaces souvent concaves, la présence de couches laminaires irrégulières superposées et qui ne sont pas sphériques. (Erik Flügel, *Microfacies of carbonates rocks*, Berlin, Springer, 2004), **3)** les couches laminaires sont issues de l'accrétion de grains très fins sur la surface mucilagineuse d'un tapis algaire ou microbien recouvrant un débris (nucléus) et de la précipitation des carbonates la lors de la photosynthèse. Ce mode de formation est indissociable de celui des stromatolites. Actuellement, les scientifiques pensent que se sont majoritairement les cyanobactéries qui sont impliquées dans leur formation. Pour s'accroître et garder la régularité des formes des oncoïdes, l'implication de courants est nécessaire. On les trouve principalement dans des lacs et le domaine marin soumis à l'action des vagues ou des courants forts à des bathymétries de quelques mètres à 50m.

oncolite (géologie, paléontologie) : oncoïde formé par encroûtement algaire en milieu lacustre ou marin.

ooïde (sédimentologie, pétrographie) (A. L ; Hacquaert, 1932), petit objet de forme sphéroïdale et de nature généralement calcaire avec nucléus, (B. H. Purser, 1980). On peut subdiviser les ooïdes en trois groupes (oolithes, sphérulithes et bahamites). Ils possèdent un cortex à laminations concentriques plus ou moins évidente. Leurs diamètres n'excèdent que rarement 1 mm. La forme typiquement ovoïde est héritée de leur mobilité dans le milieu de formation. Les ooïdes marines se caractérisent par un classement granulométrique presque parfait associé à des stratifications entrecroisées.

oolites (sédimentologie, pétrographie) : petites sphères à nucléus (bioclaste ou lithoclaste) de 0,5 à 2 mm de diamètre caractérisées par la prédominance de laminations corticales concentriques d'origine primaire. (B. H. Purser, 1980). Elles peuvent être subdivisées en trois groupes selon la nature des laminations avec : – les oolithes de type α, la lamination tend à régulariser la morphologie du nucléus, il s'agit d'oolites provenant de milieux mains agités ; – les oolites de type β qui possèdent une lamination qui conserve plus ou moins la forme du nucléus, il s'agit d'oolites qui proviennent des milieux marins abrités et des milieux continentaux (grotte) ; – les oolites γ avec un cortex laminé qui tend à se développer asymétriquement sur un coté du nucléus, ces oolites se rencontrent en milieu lagunaire. La plupart de ces oolites semblent se formées par précipitation chimique (ou biochimique) du $CaCO_3$. Les oolithes actuelles présentent un micro-biofilm bactérien en surface, qui pourrait aider à la précipitation carbonatée. Il s'agirait alors de précipitation induite (par opposition à une précipitation contrôlée, comme dans le cas des tests d'animaux marins), sur le modèle des stromatolithes, mais sur une structure non fixée. La texture oolithique n'est pas exclusive des formations carbonatées : Bucher (1918) remarque que la chamosite, la silice, les phosphates etc…. peuvent former également des oolites.

opale (minéralogie) : silice amorphe hydratée souvent assimilée par sa composition à la famille du quartz, de formule $SiO_2.nH_2O$. Cette phase est généralement optiquement isotrope. Levin et Ott (1932) sont les premiers à montrer l'existence d'une réelle cristallinité de certaines opales. Trois types structuraux de silice hydratée ont été définis par Flörke (1955) avec les opales A, C et CT. Bien qu'elle soit encore (2009) considérée comme une espèce minérale pour des raisons historiques, l'opale n'est pas, pour certains auteurs, un minéral au sens strict du terme car elle est souvent composée de cristobalite, de tridymite et de silice amorphe. Les examens au microscope des lames de silex ou de cherts révèlent sur un fond matriciel ou le long de fissures la présence de sphères fortement réfringentes en lumière naturelle (indice de réfraction = 1,44 à 1,46) et isotrope en lumière polarisée.
opale A (minéralogie) : opale amorphe ; l'opale AN est un verre alors que l'opale AG est un gel.
opale C (minéralogie) : opale constituée de cristobalite α et comportant parfois des traces de tridymite. Cette phase n'est pas pour autant une véritable cristobalite, car une fois chauffée elle ne se transforme pas en cristobalite β.

opale CT (minéralogie) : terme donné par B.J. Jones et E.R. Segnit (1971) : variété d'opale, de formule $SiO_2.nH_2O$, généralement considérée comme un interstratifié cristobalite-tridymite de haute température. 2) (Wilson et al, 1974 ; Trauth et al, 1978) : considèrent que l'opale CT est un empilement désordonné de tridymite. 3) cette théorie est contesté par Graetsch (1994) Il s'agirait en fait d'une série de minéraux compris entre la cristobalite pure (opale C) et un interstratifié dans lequel la tridymite serait plus ou moins présente. Au microscope elle apparaît sous trois formes distinctes : - avec un aspect massif (Opale CTm) ; - avec un aspect fibreux à acicules constitués de globules et regroupées en sphérules d'une douzaine de microns (Opale CT_L, ou lussatite), (F. Fröhlich, 2006) ; - avec une structure en feuillets constitués de fibres enchevêtrées (opale CTp). L'opale CT_L est biréfringente alors que l'opale en feuillets est presque isotrope. Syngénétique, elle se développe sans remplacer la calcite (F. Fröhlich, 1981). Elle est liée à la rareté de la matière organique.

orbitolinidés (et orbitoline) (paléontologie), famille de foraminifères benthiques présentant une structure trochospiralée initiale, suivie d'un développement spiral. Le genre *Orbitolina* d'Orb. 1850 est conique, convexe d'un côté, planoconcave de l'autre. Les logettes sont distribuées selon une spirale à partir d'une loge embryonnaire apicale. Genre présent dans les faciès des plateformes carbonatées peu profondes du Barrémien au Cénomanien.

orbitolite (paléontologie) : foraminifère benthique, discoïdal, biconcave, à nombreuses et minuscules logettes en séries annulaires, ne dépasse pas 2 cm. Crétacé supérieur à actuel.

ordre (systématique) : Buffon,1779 : *Hist. nat. des oiseaux,* Paris, Imprimerie royale, p.215) : «division de la classification des êtres vivants» ; taxon (unité systématique) placé entre la classe et la famille. Il regroupe des familles présentant des caractéristiques communes ; les différents ordres étant regroupés dans une même classe et les différentes classes dans un embranchement.

orthorhombique (minéralogie) : système cristallin à prisme droit à bases rectangulaires et à faces latérales égales 2 à 2 (prisme de Miller), angles $\alpha = \beta = \gamma = 90°$.

orthoquartzite (pétrographie) : grès quartzeux ou quartzite sédimentaire dérivé d'un sable à la faveur d'une diagénèse siliceuse.

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

oxydation (chimie) : réaction de combinaison d'un élément avec l'oxygène pour former un oxyde ; libération d'électrons. **2)** Augmentation de la valence d'un cation ou diminution de celle d'un anion (Man.-Man. Méd. 1977), une oxydation n'est pas nécessairement liée à l'oxygène

packstone (pétrographie) : Dunham (1962) accumulation d'éléments figurés jointifs dans une matrice. Certains silex ont hérité cette texture originelle des calcaires dont ils dérivent..

palynoplancton (paléontologie) M. et M.R. Séronie-Vivien (1987) : ensemble des pollens, spores, organismes planctoniques à tests organiques (Dinoflagellés et Acritarches) constituant le résidu d'une roche attaquée à l'acide fluorhydrique et qui peut être étudié au microscope.

paragenèse (pétrologie) : dans une roche : sous-ensemble des minéraux contemporains ayant cristallisé à l'équilibre sous les mêmes conditions.

paralique (géologie) : s'applique aux bassins sédimentaires côtiers.

paramoudra (géologie) : la première mention de ce terme est due à Buckland (1817) : il s'agit de silex cylindriques de 30 cm de diamètre et dont la longueur dépasse le mètre. (syn. : potstone).

patine (pétroarchéologie) (1765, *Encyclopédie*), résultat de l'ensemble des transformations affectant la couleur ou la transparence d'origine. **2)** (L. Cayeux, 1929), terme utilisé par l'auteur pour décrire le cortex des silex. **3)** (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987), « partie externe du silex ayant subie une altération superficielle due aux agents atmosphériques ». Le processus est chimique et/ou biochimique, il est contrôlé en particulier par l'action de l'eau qui assiste les réactions à l'origine des transformations.

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

patine colorée (pétroarchéologie) : altération accompagnée d'une pigmentation du silex soumis à une chaîne de processus chimiques et/ou biochimiques contrôlés par l'eau. Ces processus génèrent des dissolutions, des incorporations chimiques et des transformations minéralogiques d'abord en surface, puis en zone endocorticale jusqu'au cœur du silex. Par apport chimique, ces processus déterminent des faciès colorés, souvent zonés et offrant une certaine brillance de la surface. Cette altération pénétrative entraîne une évolution texturale centripète du silex, elle est accompagnée du développement de sa porosité et d'un enrichissement fréquent en éléments pigmentant (Fe, Mn, Ti,…) apportés par l'eau.

patine post-dépositionnelle (pétroarchéologie) : consécutive d'une altération entraînant une opacification ou une coloration superficielle qui se développent de manière centripète. Cette patine dépend de la nature et de l'hygrométrie du dépôt archéologique. Elle est principalement observable sur les faces taillées des artéfacts.

patine pré-dépositionnelle (pétroarchéologie) : résultat d'une altération entraînant une opacification ou une coloration, plus ou moins superficielle qui se développe de manière centripète à partir de l'émersion et avant l'abandon dans le dépôt du site archéologique. Elle est principalement discernable sur la face naturelle des artéfacts.

pédogenèse (pédologie) : processus qui conduit à la formation de sols à partir d'une roche mère.

pélagique (biologie) (du grec *pélagos* : haute mer) : Qualifie les organismes qui flottent (plancton) ou qui nagent (necton) en pleine mer. Le terme est repris en géologie pour définir des paléomilieux à sédiments riches en fossiles de haute mer. (ant.: benthique).

pellets (pétrographie) : dans les calcaires : petits agrégats micritiques ovoïdes de 40 à 100 µm, peu compacts, dépourvus de structure interne et initialement riches en matières organiques. Les pelotes fécales correspondent à une catégorie de pellets définis comme coprolites fossiles d'invertébrés de petite taille (mollusques, vers, crustacés). Leur accumulation est particulièrement efficace pour la préservation de la matière organique dans les sédiments.

pélite (pétrographie) : roche détritique composée d'argiles et de fines particules de quartz dont le diamètre est inférieur à 20 microns.

pellicule (pétrographie, pétroarchéologie) : surface néogène de certaines roches ayant subi une altération.

périthalle (botanique) : chez les algues rouges encroûtantes : filaments dressés émis par l'hypothalle.

pléochroïsme (minéralogie) : propriété de certains minéraux colorés anisotropes d'absorber de façon différentielle la lumière transmise selon les directions cristallographiques. Au microscope cette propriété s'exprime en lumière naturelle : la couleur du grain varie selon son orientation. (Ex. : biotite, tourmaline, hornblende,…). (syn. : polychroïsme).

pente continentale (océanologie) : marge continentale correspondant en partie à la zone bathyale et dont la bathymétrie va de 200 à 4000 m. Elle domine la plaine abyssale océanique.

pépérite (pétrographie) : formations pyroclastiques de l'Oligocène de la Limagne auvergnate. Il s'agit d'un mélange de fragments laviques vitreux arrondis et d'un matériel sédimentaire calcaire formant le liant. Ces matériaux paraissent issus d'éruptions phréatomagmatiques lorsque des laves entrent en contact avec un aquifère.

perméabilité (géologie) : propriété d'une roche ou d'une formation à être traversée par un fluide hydrique ou gazeux. Cette aptitude dépend de la nature des matériaux et de la taille de leurs vides : la perméabilité en petit est contrôlée par des pores de petite taille interconnectés ; la perméabilité en grand est contrôlée par des éléments structuraux qui facilitent des circulations rapides tels que diaclases, failles, réseaux karstiques

pH (chimie) (abrév. de potentiel d'hydrogène) : Søren Sørensen (1909) introduit une échelle pour exprimer l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) dans l'eau. Le pH exprime l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25°C, une solution dont le pH est inférieure à 7 est acide; supérieure à 7 est basique et égale à 7 est neutre.

phénomorphie (sédimentologie, pétroarchéologie) (Le Ribault, 1971) : ensemble des caractères morphologiques acquis d'un grain, déterminés par les différents facteurs évolutifs exploitant la morphologie génétique.

pithonellidés (paléontologie) (G. Bignot, 2001) : microfossiles à lorica* ovoïdes ou sphériques avec une ouverture. La morphologie est proche de celles Calpionelles. Elle s'en distingue par la microstructure des parois. Au Mésozoïque, les Pithonellidés sont représentés par trois genres (*Cadosina, Phitonella, Bonetocardiella*). Leur association avec des Radiolaires et des Calpionelles semble indiquer un mode de vie planctonique.

photique (ou euphotique) (océanologie) : qualifie la zone marine pénétrée par la lumière et suffisamment éclairée pour permettre la photosynthèse et la vie végétale. Son épaisseur est variable et dépend de sa limpidité ; elle peut atteindre 80m. (ant. aphotique)

photosynthèse (biologie) : processus bioénergétique à caractère respiratoire qui permet aux végétaux chlorophylliens d'exploiter l'énergie solaire en consommant du gaz carbonique de l'atmosphère et en libérant de l'oxygène. Ces échanges impliquant l'eau permettent de produire des glucides et de synthétiser des substances organiques variées.

phtanite (pétrographie): terme crée par R. Haüy (1801) pour désigner les roches sédimentaires siliceuses, cryptocristallines du carbonifère. Il s'agit d'un matériau riche en quartz de petite taille (inférieurs à 20 microns), d'origine chimique ou biochimique (présence possible de radiolaires), très riche en matière carbonée. A l'affleurement il se présente en lits centimétriques à décimétriques, découpés par la lithoclase en petits éléments parallélépipédiques. Ce terme a été employé en Bretagne dans le Briovérien (phtanites de Lamballe) et en Anjou (phtanites à radiolaires et graptolites). Il a été abusivement utilisé pour dénommer des accidents siliceux, des silexites, etc.. ; son utilisation est à éviter.

phyllosilicates (minéralogie) : famille des silicates hydroxylés à structure en feuillets parallèles. Chaque feuillet est constitué de tétraèdres répartis selon un motif hexagonal et pontés entre eux par trois oxygènes. Cette famille comprend les micas*, les chlorites* et les argiles*.

piedmont (géomorphologie) : région en pente douce située au pied d'une chaîne de montagnes et constituée de matériaux détritiques issus de l'érosion des reliefs voisins.

pisolite (pétrographie) : grande oolite de diamètre supérieur à 2 mm, généralement calcaire, à structure concentrique, issue de la précipitation directe ou induite par des algues (*cf*. oncolites).

planispiralé (zoologie, paléontologie) : type d'enroulement des loges de certains Foraminifères avec une série de loges disposées selon une spire plane. Les tests planispiralés possèdent deux faces identiques.

plateau continental (ou plate-forme continentale) (océanologie, géologie) : pour une marge continentale passive : zone immergée de la bordure d'un continent en pente douce vers l'océan, profonde de 200 m à 300 m au maximum et dominant la plaine abyssale. Elle se termine à sa bordure externe par le talus (ou pente) continental. Les critères biologiques permettent de distinguer deux zones (le domaine littoral et le domaine néritique). Les critères géomorphologiques conduisent à distinguer la plate-forme interne dans laquelle les circulations d'eau sont limitées de la plate-forme externe ou distale, plus profonde, ouverte sur le milieu océanique profond. (M. et M.R. Séronie-Vivien, 1987).

polissage (pétroarchéologie) : frottement modéré lors d'une action mécanique très douce conduisant à une surface dépourvue de rugosité.

polymérisation (chimie) : réaction de formation d'une chaîne moléculaire de grande taille à partir de molécules plus légères. La polymérisation de surface est une réaction reconnue dans la dissolution de la silice dépendante du pH : elle agit conjointement avec la déprotonisation et la sorption des alcalins (M.Chenevoy et P. Piboule, 2007).

polymorphe (chimie, minéralogie) : se dit d'une substance qui possède plusieurs structures cristallines différentes pour une composition chimique identique. **2)** minéral qui a la faculté de cristalliser dans des structures cristallines différentes sous des conditions physiques variées. Exemple, le carbonate de calcium $CaCO_3$ possède trois polymorphes, l'aragonite (orthorhombique), la calcite (rhomboèdrique) et un troisième rare la vatérite (hexagonal).

pore (pétrographie) : espace vide entre les grains d'une roche.

post-dépositionnel (pétroarchéologie) (ce terme est propre à notre protocole et ne s'utilise qu'au sens de l'unité archéologique considérée) : période de la chaîne évolutive comprenant tous les mécanismes altéro-détritiques actifs postérieurs à la collecte par l'homme régis par les conditions de sédimentation et de résidence dans le site archéologique.

post-genèse (pétroarchéologie) : ensemble des stades successifs actifs qui font suite la mise à l'affleurement du matériau (silex) et à son détachement de la roche mère et qui comprend ses déplacements, ses transports et ses résidences ultérieures jusqu'à sa collecte par l'homme.

Potamides (zoologie, paléontologie) : genre de gastéropodes d'eau douce ou saumâtre, connu depuis le Tertiaire.

pré-dépositionnel (pétroarchéologie) : (ce terme est propre à notre protocole et ne s'utilise qu'au sens de l'unité archéologique considérée) : c'est la période de la chaîne évolutive comprenant tous les phénomènes altéro-détritiques actifs postérieurs à la mise à l'affleurement et antérieurs à la collecte par l'homme préhistorique. (P. Fernandes, 2006).

précipitation (pétrographie) : mécanisme de cristallisation en milieu aqueux d'une phase minérale (les carbonates) . Ce solide se développe à la suite de la nucléation (apparition d'un germe cristallin). Dans les milieux étudiés la nucléation est généralement hétérogène particulièrement lorsqu'elle est contrôlée par une activité biologique. Dans ce cas on peut distinguer deux types de précipitations (minéralisations) bio-induite et bio-controlée.

précipitation contrôlée (pétrographie) (J. Livage, 2005) : dans ce processus, la formation de carbonate de calcium est rigoureusement contrôlée par la matière vivante.

précipitation induite (pétrographie) (J. Livage, 2005) : dans ce cas, l'organisme n'intervient pas directement sur la précipitation du carbonate de calcium.

pré-détritique (pétroarchéologie) : ce terme propre à notre protocole ne s'utilise qu'au sens d'une période précoce de la chaîne évolutive comprenant tous les processus d'altération qui peuvent transformer le silex et ses phases minérales avant sa mise à l'affleurement.

processus morphoclimatiques (géomorphologie) : ensemble des phénomènes d'érosion propres à un climat donné et aboutissant à modeler telle ou telle forme de relief (Géologie de la préhistoire, 2002).

proloculus (*proloculum*) (zoologie, paléontologie) : loge initiale des foraminifères,. parfois les premières loges sont regoupées pour former une nucléoconque.

protubérance (pétroarchéologie) : saillie en bosse d'un galet attestant un martelage intense à la surface des néocortex de type alluvial ancien.

pseudocalcédonite (minéralogie) : variété fibreuse du quartz à allongement négatif (Lacroix, 1910).

pseudomorphose (pétrographie) : phénomène de néoformation d'une ou plusieurs phases qui remplacent un minéral préexistant clairement identifiable par sa habitus hérité (forme palimpseste). Cette néoformation peut être d'origine métamorphisme, diagenétique ou liée à une altération.

pseudo-nodules (géologie) (Macar, 1948), structure primaire en « miches » des séries sédimentaires présentant une zonation concentrique. Il s'agit de figures de tassements verticaux de sédiments sableux s'enfonçant dans un substratum argileux hydroplastique.

quadratique (minéralogie) : système cristallin à prisme droit, bases carrées et faces latérales rectangulaires équivalentes ; angles $\alpha = \beta = \gamma = 90°$. Syn tétragonal.

quartz (minéralogie) : tectosilicate de la famille des «minéraux de la silice», de formule SiO_2, rhomboédrique (trigonal). Comme pour tous les tectosilicates, sa structure est une charpente de tétraèdres SiO_4 où chaque atome d'oxygène est mis en commun avec un tétraèdre voisin. Transparent à translucide, l'indice de réfraction du quartz est faible (1,544 à 1,553) et utilisé - avec celui du baume du Canada - comme indice de référence en microscopie. Le quartz présente plusieurs polymorphes (cristoballite*, tridymite*, coesite,…).

quartz automorphes (minéralogie) : cristaux de quartz à formes cristallines définies dérivées du prisme hexagonal, limitées par des faces planes, souvent pyramidées aux deux extrémités. Dans les silex, cette morphologie atteste d'une croissance lente à partir de solutions pauvres en silice (<7ppm), sur des parois de cavités ou des fissures ouvertes, à la faveur d'une phase tardive de l'évolution diagénétique du matériau.

quartz cryptocristallin (pétrographie) : quartz constituant un assemblage textural fin de grains de taille micronique.

quartz fibreux (pétrographie) : le quartz présente plusieurs variétés à habitus fibreux : calcédonite, quartzine, pseudo-calcédonite, lussatite, lussatine, lutécite. Ces fibres sont bien connues depuis les travaux de Munier-Chalmas, Michel-Levy, Lacroix, Cayeux. (Millot et *al*., 1959), Ces formes de cristallisation prennent naissance à partir de solutions à teneurs en silice légèrement sursaturées (>7ppm) et qui contiennent des impuretés et des cations. Leurs présences - lors d'une croissance rapide – désorganisent l'architecture usuelle du quartz et contribuent à des édifices fibreux.

quartz microcristallin (pétrographie) : quartz constituant un assemblage textural de grains dont la taille est de 10 à 100 microns.

quartz xénomorphes (pétrographie) : cristaux de quartz à formes irrégulières, à bordures suturées ou lobées, et constituant les matrices cryptocristallines de certains silex. La forte densité de nucléation et la compétition de croissance des cristaux lors du remplacement des carbonates expliquent ce type de texture acquise lors de mécanismes de silicification par dissolution-cristallisation assistées par l'eau.

quartzine (minéralogie), variété de quartz fibreux des silex distincte de la calcédoine par son allongement positif (Michel-Lévy et Munier-Chalmas, 1890 ou 1892). Elle forme des agrégats de cristaux à morphologies variées (sphérolites, dendrites, fibres,…).

quartzite sédimentaire (n. m.) (pétrographie) : Variété de grés holoquartzeux où les grains de quartz détritiques hérités sont intimement soudés entre eux grâce à un liseré siliceux de surcroissance. (syn. Orthoquartzite*).

quartzolite (pétrographie) (L. Cayeux, 1929) : accident siliceux sédimentaire à structure proche des quartzites et constitué de quartz secondaires.

Quinqueloculina (zoologie, paléontologie) : espèce de Miliolidés, de la dimension d'un grain de blé, ovale, formée de deux parties convexes irrégulièrement élargies, la plus petite rentrant dans la plus grande. Le test est calcaire et criblé de pores ; il présente cinq loges. Jurassique à actuel ; espèce bien développée au Lutétien.

radiolaires (zoologie, paléontologie) (n. m.) : actinopodes unicellulaires à endosquelettes perforés siliceux (opale) contenant le noyau. L'endosquelette est à symétrie axiale (Nassellaire) ou sphérique (Spumellaire). Ses perforations laissent passer des pseudopodes rayonnants. Les radiolaires sont tous marins et pélagiques et vivent à toutes les bathymétries. En eau profonde leurs tests résistent bien à la dissolution et contribuent en grande partie aux boues marines abyssales.

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

radiole (zoologie, paléontologie) : piquant d'oursin.

rain print (sédimentologie) : petite marque cratériforme liée à l'impact d'une goutte de pluie sur un sédiment mou.

rayure (pétroarchéologie) : trace peu profonde allongée régulière à fond lisse. Les rayures sont généralement associées à d'autres stigmates d'abrasion de surface d'origines glaciaires, colluvionnaires, éoliennes,…

récif(s) (océanologie) : rochers à fleur d'eau ; masses construites par des madrépores dans les eaux chaudes peu profondes océaniques soit en bordure de côte (récif frangeant), soit plus au large (récif barrière). Ces récifs peuvent encercler une île ; sa lente submersion peut conduire à la formation d'un *atoll* (anneau récifal cernant un lagon).

recristallisation (pétrographie) : développement à l'état solide d'une nouvelle génération de cristaux dont la taille est généralement supérieure à celle des grains d'origine et dont la nature minéralogique peut être identique ou différente. La recristallisation d'un matériau fait suite à des changements de conditions physiques, physico-chimiques ou mécaniques.

réduction (chimie) : réaction chimique avec perte d'oxygène ou incorporation d'électrons.

réfraction (optique cristalline) : C'est la déflection d'un rayon de lumière lors de son passage d'un milieu transparent à un autre. Elle est liée au changement de vitesse de la lumière lors de ce changement de milieu. A la surface de séparation de deux milieux, le rayon lumineux (incident) change de direction et d'angle par rapport à la normale (rayon réfracté). L'angle de réfraction β dans le second milieu est lié à l'angle d'incidence α par la loi de Descartes où l'indice de réfraction n du second milieu est égal au rapport des sinus des deux angles : $n = \sin\alpha/\sin\beta$.

réfringence (optique cristalline) : pouvoir d'un milieu transparent de réfracter la lumière. Pour une longueur d'onde définie de la lumière, l'indice de réfringence n d'un minéral est le rapport de la vitesse de cette lumière incidente dans l'air par rapport à celle de la lumière réfractée dans le minéral.

relief (optique cristalline) : il est lié à la différence des indices de réfraction de deux milieux minéraux contigus. Au microscope en lumière naturelle (LPNA) le relief s'apprécie par l'examen de la limite les deux minéraux : elle est d'autant plus marquée et soutenue que l'écart des indices des deux minéraux est grand. Le minéral à plus fort indice apparaît légèrement plus élevé («en relief») que son voisin à indice plus faible.

remplacement (pétrographie) : épigénie* d'une phase par une autre.

réseau cristallin (minéralogie) : translation tripériodique - dans les trois directions de l'espace - de la maille cristalline élémentaire (réseau direct).

rhomboèdrique (minéralogie) : système cristallin à six faces losangiques égales, angles $\alpha = \beta = \gamma \neq 90° = 120°$.

rill marks (sédimentologie) : figures d'érosion par écoulement sur un sédiment boueux dessinant un réseau hiérarchisé à caractère arborescent, dendritique ou fractal.

ripple-marks (sédimentologie) : petites rides périodiques à allure de «vagues» à la surface d'un matériau meuble (sable, boue, neige,…). Ces rides traduisent des déplacements à caractères oscillatoires liés aux vents, courants, vagues, houles,… Les milieux de formation sont variés : dunes désertiques ou littorales, milieu littoral intertidal, fonds marins profonds,… ou relativement profond. Certaines ripple-marks auraient une origine séismique (travaux d'Oulianoff).

roche altérée (pétrographie) : roche soumise à l'action de l'eau et qui a subi des modifications minéralogiques, chimiques et texturales pouvant affecter sa cohésion.

roches biogènes (ou biogenétiques) (pétrographie) : (du grec *bios*, vie, et *genesis*, naissance) : roches ayant des origines animales, végétales ou liées à l'activité vitale. La matière organique peut évoluer en roches (charbons, schistes bitumineux, boghead, pétrole). L'activité vitale de certains organismes (coraux mais aussi mollusques comme les rudistes de l'ère secondaire ou les algues pour les stromatolithes) conduit, par extraction du calcium de l'eau de mer, au développement de coquilles ou d'encroûtements biogénétiques ; d'où de véritables constructions rocheuses (*récifs**) formant des amas irréguliers en dômes (*biohermes**) et assises litées (*biostromes**), ou de simples accumulations (*lumachelles**). Souvent associées à des roches détritiques à débris coquilliers (*biocalcarénites*). Ces roches d'origine animal ou végétale sont parfois siliceuses, avec les éponges (*spongolites*), les radiolaires (*radiolarites*), les diatomées (*diatomites*).

roches chimiques (pétrographie) : roches résultant de la précipitation physico-chimique ou biochimique d'ions en solution. *Ferrugineuses* (croûtes latéritiques, ciments ferrugineux). *Siliceuses* (silex, silcrètes). *Carbonatées* soit à carbonates de calcium (aragonite, calcite, calcaires lithographiques), soit des carbonates de Ca et Mg (dolomies primaires). *Salines* (sels déposés par évaporation : gypse, sel gemme ou halite, sels de potassium : sylvite et de magnésium : magnésite).

roches détritiques (pétrographie) : groupe des roches sédimentaires meubles ou consolidées, formées à partir de la désagrégation mécanique et/ou chimique d'un matériel préexistant et de l'association des particules qui en résultent . Leurs composants majeurs sont les débris de roches (lithoclastes) ou des minéraux : quartz, feldspaths, micas, argiles, carbonates. La nomenclature de ces matériaux est très variée. Ils peuvent être classés selon la taille des éléments : supérieure à 2 mm *rudites* ; de 0,063 à 2 mm : *arénites*; inférieure à 0,063 mm *lutites.* Ils peuvent être également classées selon les sources ou les origines des matériaux hérités (roches d'origine terrigènes, roches biodétritiques).

roche sédimentaire (pétrographie) : roche formée à la surface de la terre par la transformation de sédiments résultant de l'érosion de roches préexistantes (roches détritiques*), de l'activité biologique (roches biogènes*) ou chimique*.

Rotaliidea (*Rotalia, Rotaliinés*), Super Famille ou groupe de foraminifères à test calcaire hyalin radial perforé ou hyalin microgranuleux. L'enroulement typique est trochospiralé. L'ouverture est une fente à la base de la face septale. Les *rotaliinés* représentent près de la moitié des genres de Foraminifères, et comprend les familles ou les sous groupes suivants : *Discorbidae, Orbitoididae, Globorotaliidae, Nodosariidés*, *Rotaliidés* trochospiralés et une cinquantaine d'espèces planctoniques des Globigérinidés.

rudite (pétrographie) : (Duhnam, 1961) : roche sédimentaire, détritique meuble ou non, qui contient au moins 50% d'éléments figurés de plus de 2 mm. On peut utiliser cette terminologie descriptive lorsque la silicification respecte la granulométrie de la roche mère.

rudstone (pétrographie) : (A.F Embry et J.E Kolvan 1971) : calcaire périrécifal à gros débris jointifs (>2mm).

ruissellement (géologie) : il s'agit d'un écoulement diffus ou concentré d'eaux de pluie, de fusion, nivale ou glaciaire à la surface des versants. Le coefficient de ruissellement est fort dans les régions sèches et arides ou méditerranéennes. On observe toute une variété de formes de ruissellement allant du plus diffus - qui ne transporte que des particules de la taille d'un gravier- au plus concentré à capacité de transport plus importante (érosion en rigoles ou en ravines).

senestre (zoologie, paléontologie) : sens d'enroulement vers la gauche d'un organisme à test hélicoïdal ou spiralé. (ant. dextre)

s**équence lithologique** (stratigraphie) : succession de termes lithologiques formant une série continue (sans interruption importante autre que celle des joints de stratification). Si de telles séquences se répètent on a une série rythmique ; à l'inverse on a une série arythmique. L'ordre des séquences est positif lorsque le granoclassement vertical est décroissant et négatif dans la cas inverse (A. Lombard, 1956).

serpulite (pétrographie) : calcaire récifal constitué à nombreux tubes d'annélides coloniaux (ex. : serpules).

sphérulithes (pétrographie) : (B. H. Purser, 1980), type d'ooïde, souvent caractéristique des milieux continentaux ou lagunaires, à texture essentiellement radiaire qui traverse la lamination concentrique du cortex. Ce caractère suggère que la texture sphérulithique résulte principalement de la recristallisation diagénétique.

sidérolithique (géologie) : formation continentale caractérisée par l'abondance, la richesse en concrétions ferrugineuses et rapportée au paléocène.

Signe optique (minéralogie) : pour les minéraux uniaxes (quadratique, hexagonal, rhomboèdrique) : l'axe optique d'un minéral correspond à Ng (signe optique positif)(cas du quartz) ou à Np (signe optique négatif)(cas de l'apatite). Pour les minéraux biaxes (orthorhombique, monoclinique, triclinique) : le signe du minéral est déterminé par la bissectrice de l'angle de ses axes optiques : si cette bissectrice correspond à Ng le signe est positif (cas du gypse); si cette bissectrice correspond à Np le signe est négatif (cas de la fayalite). (*cf.* ellipsoïde des indices* et axes optiques*).

silcrète (pétrographie) (1902-1907 chez G.W. Lamplugh) : roche siliceuse issue de formations continentales superficielles ou sub-superficielles. Leur origine fait suite à un apport hydrique de silice et à son dépôt dans un sol (silcrète pédogénétique) ou dans une formation située au niveau phréatique (silcréte d'origine phréatique).

silex (pétrographie) (1556, R. Leblanc) : terme employé pour les accidents siliceux en milieu calcaire, d'origine biochimique formés initialement dans un sédiment marin, lacustre ou palustre lors de sa phase d'enfouissement ou à son interface eau/sédiment. Le silex est nettement dissociable de sa roche mère. La phase minérale majeure de la *médulla* détermine les variétés : silex à opale CT, silex à quartz microcristallin,…

silexite (pétrographie) (L. Cayeux, 1929) : Cayeux désigne sous ce terme toutes les silicifications des calcaires du Carbonifère. Les silexites se présentent dans ces calcaires en nodules et en lits intimement liés à la roche mère et sans cortex. Les silexites en veines obliques à la stratification sont très rares. La texture est souvent rugueuse et confère un éclat mat à luisant ou cireux distinct de celui des silex. La cassure est rarement conchoïdale et souvent écailleuse. Leur structure est souvent veinée de calcite. **2)** terme ambigu désignant à la fois les cherts, les phtanites, certaines silcrètes et des roches ignées (Streckeisen, 1966).

silice (chimie) (Guyton de Morveau, *Nomencl. chimique*, 1787, p. 63); 1844 *verres de silice* (Al. Brongniart, *Arts céram.*, t. 1, p. 175). C'est au chimiste suisse Marignac J.C. Galissard de, à qui l'on doit sa formule. Elle cristallise sous la forme d'une charpente à réseau de tétraédres SiO_4 pontés par leurs oxygènes (tectosilicate). Les trois polymorphes cristallisés sont le quartz, la tridymite et la cristobalite. Plusieurs espèces amorphes naturelles ou non complètent les minéraux de la silice avec les opales (silice hydratée) et les verres de silice artificiels.

Silicoflagellidés (ou silicophycées) (paléontologie) : protistes végétaux du groupe des Protophytes à tests siliceux (G. Deflandre, 1952). Leur squelette tubulaire, d'allure géométrique souvent étoilé est difficile à distinguer de ceux des Radiolaires. La taille varie de 10 à 150 µm. Il s'agit de formes marines planctoniques présentes dans les dépôts à Diatomées. Groupe en cours d'extinction qui apparaît à l'Aptien et qui est commun du crétacé supérieur au Miocène.

siltite (pétrographie) (Duhnam, 1961) : roche sédimentaire, détritique meuble ou non, qui contient au moins 50% d'éléments figurés de plus de 0,004 mm à 0,063 mm.

slumping *:* glissement sous marin de sédiments non consolidés et chargés d'eau sur une pente qui détermine des plis et des brèches intraformationnels. Ce type de formation parait lié à des instabilités gravitaires des dépôts des pentes et dont la mise en mouvement pourrait être parfois enclenchée par des séismes. Les formations à *slumpings* contiennent des *slump-sheets* (P. Kuenen, 1948, p.373) qui correspondent à des *slumping* très fluides, peu épais s'étendant en vastes nappes.

solifluxion (géologie) : processus gravitaire d'écoulement lent (0,5 à5 cm/an) à forte viscosité sur la pente d'un terrain chargé d'eau lors de son dégel superficiel.

sorption (chimie) : processus majeur de la précipitation de surface des éléments métalliques en solution à l'interface minéral – solution. L'eau, les ions complexes et la nature du substrat interviennent dans les mécanismes successifs du dépôt avec : l'adsorption de l'ion métallique complexe, sa déstabilisation à la faveur d'une réduction à l'interface (phase réductrice), la diffusion à la surface avec regroupement de quelques atomes (nucléus) de métal libéré (phase de nucléation) et l'accumulation du dépôt (stade de croissance).

sparite (pétrographie) (Folk, 1959) : roche sédimentaire carbonatée constituée de cristaux de calcite de taille supérieure à 10µm et associés à au moins 10% d'allochèmes. La sparite est également un ciment précipité secondairement en remplissage.

sphérulite (pétrographie) : ooïde dont le cortex montre une structure radiaire.

spicules et sclérites (zoologie, paléontologie) : organites siliceux ou carbonatés correspondant à des éléments endosquelettiques de petite taille supportant les tissus de certains invertébrés (Spongiaires, Échinodermes, Cnidaires,…). Les spicules des éponges constituent de fines aiguilles aux formes variées comprenant quatre types : les monoaxones à un seul canal, monoactine ou diactine ; les triaxones à trois axes perpendiculaires ; les tétraxones formées de quatre axes ; les hexactines à six branches. Certains spicules sont sphériques (dépourvus d'axe et de canal). Les sclérites des silicisponges peuvent être de grande taille (mégasclères), ou ne s'observer qu'au très fort grossissement (x200 à 300) (microsclères). Les sclérites des holothuries sont des plaques calcitiques fénestrées ou grillagées, circulaires ou ovales en formes de roues ou de disques. Certaines sont en forme d'ancre de marine.

Spongiaires (éponges) (zoologie, paléontologie) : métazoaire fixé, à paroi criblée de pores laissant passer l'eau dans une cavité centrale. La nature chimique du squelette des spongiaires permet une première classification. Certaines espèces sont uniquement formées de tissus mous et ne sont donc pas conservées (*Myxosponges*). D'autres possèdent un endosquelette rigide de nature siliceuse (silicisponges) ou calcaire (calcisponges) constitué de spicules* ou de sclérites. Les éponges calcaires fossiles sont rarement bien conservées et sont peu utilisées. Par contre les éponges siliceuses sont des fossiles mieux connus. Elles sont divisées en deux groupes : les Hexactinellides comprenant (les Lyssacines et les Dictyonines) et les Démosponges (*Tétracladina*) auxquelles on rattache *Lithistida*.

spores et pollens (botanique, paléontologie) : spores : éléments unicellulaires reproducteurs de certaines des plantes. Pollen La détermination prend en compte la forme générale, l'ornementation, la forme de l'ouverture, les sacs à air, le manchon externe). Les chartres de classification sont claires, ce qui facilite les identifications.

stratotype (géologie) : unité stratigraphique définie comme référence pour caractériser un étage. Son nom dérive en général de sa localité ou de sa région où on l'a identifié pour la première fois.

structure (géologie) : disposition des roches de l'échelle de l'échantillon à celle de l'affleurement. (ex. : structure litée, rubanée, stratifiée, plissée, prismée,…).

structure cristalline (minéralogie) : agencement des atomes à l'échelle de la maille cristalline*.

stylolite (géologie) (F. Kolden, 1828), joint irrégulier suturé en fines colonnettes interpénétrées. Les calcaires et marno-calcaires, les cipolins et les marbres peuvent offrir des joints stylolitiques. Ces joints sont souvent indépendants des plans de stratification. Les stylolites sont soulignés par liseré coloré qui s'individualise lors de la dissolution de la roche sous pression. Leur orientation permet de déterminer la direction de la compression.

subsidence (géologie) : enfoncement progressif du fond d'un bassin sédimentaire déterminé par la masse des sédiments accumulés ou contrôlé par une extension lithosphérique favorable à une telle accumulation.

sulfate (minéralogie) : groupe de minéraux anhydres orthorhombiques (barytine : SO_4Ba, anhydrite : SO_4Ca, célestine : SO_4Sr,….) ou hydratés (gypse : $SO_4Ca.2H_2O$,…). L'anhydrite et le gypse sont deux phases majeures des évaporites. On en retrouve les boxwork* dans les silex nectiques.

sulfures (minéralogie) : classe de plusieurs centaines d'espèces constituants le premier groupe des minéraux des minerais métalliques. Pour les roches siliceuses d'origine sédimentaire du type silex et silcrète, la pyrite (FeS_2) est la seule phase sulfurée notable. Accompagnée de débris organiques, sa présence atteste des conditions de formation réductrices. Son altération météorique ou dans les sols laisse à sa place des boxwork* cubiques.

surface de stratification (ou joint de stratification) (géologie) : surface limite au toit ou au mur d'une strate. Elle peut offrir les traces organiques (dont l'étude relève de l'ichnologie), des traces mécaniques ou *sole marks** (figures de courants, empreintes de charges contre le fond, glissement,…).

système cristallin (minéralogie) : l'inventaire des éléments de symétrie des espèces minérales a permis de les regrouper en 7 systèmes cristallins (cubique, quadratique, hexagonal, trigonal, orthorhombique, monoclinique et triclinique). Ils sont définis chacun par un polyèdre fondamental correspondant à sa forme la plus simple et possédant tous les éléments de symétrie du système.

thanatocénose (paléoécologie) (E. Wasmund, 1927): ensemble d'organismes transportés après leurs morts et regroupés dans un même milieu de sédimentation. Ces fossiles n'appartiennent pas obligatoirement à la même biocénose d'origine.

taphonomie (paléontologie, pétroarchéologie) : discipline de la paléoecologie qui étudie les processus de transformation mécaniques, biochimiques et physico-chimiques des organismes après leur mort. Ce terme est emprunté à la paléontologie par un grand nombre de pétroarchéologues : cette voie de la pétroarchéologie analyse les transformations post-diagénétiques des matériaux siliceux. Plutôt appliquée au monde minéral nous lui préférons le terme d'altérologie.

taxodonte (zoologie, paléontologie) : type de charnière à nombreuses dents égales des organismes bivalves (lamellibranches* et ostracodes*),

test (zoologie, paléontologie) : coque externe, exosquelette ou endosquelette mésodermique de nombreux invertébrés (Foraminifères*, Echinodermes*,…) . Cette coque est rigide, de nature chitineuse, carbonatée, siliceuse,… ou constituée de débris agglutinés. (cf. théque*, lorica*)

Textulariinés (paléontologie) (G. Bignot, 2001) : groupe de Foraminifères à test agglutinés, uniloculaires, globuleux, tubulaires, enroulés ou encore multiloculaires. Ce groupe comprend les Lituolidés et les Orbitolinidés

texture (pétrographie) : agencement à l'échelle microscopique des éléments constitutifs d'une roche. Pour les roches sédimentaires elle est dépendante des conditions initiales de sédimentation et des modifications diagénétiques postérieures.

thèque (paléontologie) : tunique fragile de nature cellulosique des Dinoflagellés* constituée de plaques polygonales (plaques thècales) ou enveloppe résistante des kystes des dinoflagellés fossiles (dinokystes) ou des hystrichosphères.

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

toit (géologie) : terme minier pour indiquer la surface supérieure d'une formation.

tool marks (sédimentologie) : trace d'impact d'un objet solide (galet, blocs, graviers,…) transporté par un courant sur un fond boueux. Cette figure préservée est observable en moulage dans la couche sus-jacente.

transect : ligne ou bande étroite qui traverse un milieu donné, le long de laquelle sont localisées des stations d'observation, de mesure ou d'échantillonnage qui permettent de faire l'analyse, le profil ou la cartographie de ce milieu.

travertin (pétrographie) : dépôt carbonaté de source en paysage calcaire.

tridymite (minéralogie) : tectosilicate de haute température de la famille de la silice et polymorphe du quartz, de formule SiO_2. Le cristal est généralement tabulaire ; il cristallise sous une forme α orthorhombique à basse température et sous une forme β hexagonale à haute température. Minéral de densité 2,2, biaxe positif, à allongement négatif, à réfringence inférieure à celle du quartz, biréfringence très faible. Cette phase apparaît aux rayons X avec la cristobalite comme constituant de l'opale CT. On la retrouve dans les laves acides et comme constituant accessoire de certains silex et cherts.

triclinique (minéralogie) : prisme oblique à quatre faces latérales égales 2 à 2 et 2 bases parallélogrammes équivalentes ; angles différents ($\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$).

trigonal (minéralogie) : *cf.* rhomboédrique*.

trochospiralé (paléontologie) : type de test de foraminifère à deux faces distinctes : l'une évolute (face spirale) et l'autre involute à l'ombilic.

tuffeau (pétrographie) : calcaire crayeux riche en débris organiques du crétacé supérieur.

turbidite (sédimentologie) (P.H. Kuenen, 1950) : unité sédimentaire peu épaisse déposée en une fois par un courant turbide. Elle est constituée de roches sédimentaires détritiques (arénites, grauwackes, pélites) meuble ou indurées. La séquence complète type (dite de Bouma) comprend de la base au sommet : un ensemble grossier granoclassé, un niveau gréseux fin et lité, une suite plus fine à rides ou figures convolutes, un dépôt silteux laminaire, un dépôt supérieur argileux. Cette séquence varie transversalement par rapport à la source des apports. La partie inférieure est plus développée dans le domaine proximal ; elle se réduit ou disparaît par perte de charge du courant dans le domaine distal. Cette séquence peut être incomplète en particulier pour sa partie supérieure meuble lors du dépôt et qui peut être «balayée» et érodée par le passage d'un nouveau courant turbide. Ces turbidites se déposent en aval des canyons sous-marins ou au pied de la pente continentale sur le fond océanique. Elles peuvent constituées des formations épaisses (flysch).

uniaxe (minéralogie) : en optique cristalline, minéral qui présente un seul axe optique. Les minéraux appartenant aux trois systèmes : quadratique , rhomboédrique et hexagonal sont tous uniaxes.

uniloculaire (paléontologie) : test qui ne possède qu'une seule loge, sphérique ou tubulaire.

urgonien (géologie) : (A d'Orbigny, 1847), faciès du crétacé inférieur, constitué d'épaisses masse de calcaires néritiques à rudistes correspondant à la plate-forme et s'opposant aux faciès marno- calcaires de la fosse vocontienne*.

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

vacuoles (pétrographie) : petits vides, de forme régulière, généralement reliés entre eux par des conduits, des canalicules, des espaces capillaires, des microcavités.

varve glaciaire (sédimentologie) : structure périodique finement litée d'un dépôt sédimentaire lacustre où alternent des lamines argileuses sombres et des lamines sablo-silteuses claires selon un rythme saisonnier. Les lamines claires - d'épaisseurs millimétriques - sont acquises au début de l'été à la fonte des neiges ; les lamines sombres - moins épaisses - sont déposées lentement en hiver à partir des particules en suspension. La période correspondant à une paire de lamines correspond à un cycle annuel. Le comptage des varves et les corrélations entre les dépôts lacustres périglaciaires à permis de mesurer de façon précise l'âge des dépôts quaternaires récents de Scandinavie. Par analogie de structure les termes de «varve» ou de «structures varvées» sont parfois utilisés pour des dépôts lacustres ou marins à caractère rythmique finement lités.

vocontien (géologie) : relatif aux sédiments relativement profonds du Crétacé inférieur dans le sud est de la France.

wackestone (pétrographie) : roche sédimentaire carbonatée constituée de plus de 10% d'éléments figurés non jointifs dans une matrice. Les textures héritées par de nombreux silex correspondent à ce type de calcaire.

xénomorphe (pétrographie) : forme quelconque d'un minéral dans une texture de roche magmatique ou métamorphique.(Ant. : automorphe).

Zoanthaires (zoologie) : Cnidaires dépourvus de squelette (ex. : anémone de mer).

zonalité (pétroarchéologie) : terme servant à la description des effets diagenétiques et postgénétiques. Sur une section, elle offre une succession de zones concentriques qui attestent de différences de pigmentation, de minéralogie, de textures,…. entre le centre d'un et la surface de l'échantillon.

Annexe 2 : Bibliographie

Bibliographie géologique

Vincent Delvigne [1] et Paul Fernandes [1]
(1) - UMR 5199 PACEA, Université Bordeaux 1, avenue des facultés, F-33405 Talence CEDEX

..A..

ACKERMAN R. 1964 - Lichens and the patination of chert in Alaska, American Antiquity 29, 386-387.

AFFOLTER J. 2001 - Seminaire sur le silex du Grand Pressigny (27-28 avril 2000), Bulletin des Amis du Musée de Préhistoire du Grand Pressigny 52, 18-20.

AIELLO I.W., HAGSTRUMB J.T. , PRINCIPI G., 2007 - Peri-equatorial paleolatitudes for Jurassic radiolarian cherts of Greece, Tectonophysics 448 (1-4), 33-48.

AKRIDGE D.G., BENOIT P.H., 2001 - Luminescence Properties of Chert and some Archaeological Applications, Journal of Archaeological Science 28, 143-151.

ALEXANDRE A., MEUNIER J.-D., COLIN F., KOUD J.-M. 1997 - Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes Geochimica Cosmochimica Acta 61 (3), 677-682.

ALVAREZ R., SPARKS D.L. 1985 - Polymerization of silicate anions in solutions at low concentrations, Nature 318, 649 - 651

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

ARMENTEROS I., BUSTILLO M.A.A., BLANCO J.A. 1995 - Pedogenic and groundwater processes in a closed Miocene basin (northern Spain), Sedimentary Geology 99 (1), 17-36.

ARNAUD-VANNEAU A., ARNAUD H. , COTILLON P. , FERRY, S. 1982 - Caractères et évolution des plate-formes carbonatées périvocontiennes au Crétacé inférieur (France, Sud-Est), Cretaceous research 3 (1-2), 3-18.

ASPINALL A., FEATHER S.W. 1972 - Neutron activation analysis of prehistoric flint mine products, Archaeometry 14 (1), 41-53.

ASTRUC L., JAUTÉE E. ,VARGIOLU R. , ZAHOUANI H. 2001 - La texture des matières premières siliceuses et son influence sur la nature et le développement des traces d'usures : apport de méthodes expérimentales. L'exemple des cherts de la formation de Lefkara (Chypre), In : Préhistoire et approche expérimentale, Montagnac : M. Mergoil (Ed.), pp. 213-232.

ATKINSON B. 1977 - Stress corrosion cracking of quartz: A note on the influence of chemical environment, Tectonophysics 77 (1-2), 1-11.

AUBRY M.P. 1972 - Recherches pétrographiques, stratigraphiques et paleo-sedimentologiques sur les craies de Haute Normandie, Thèse de 3ème cycle, Université Paris 6, p. 100.

AUBRY M.P., LAUTRIDOU J.P. 1974 - Relations entre propriétés physiques, gélivité et caractères microstructuraux dans les divers types de roches : craies, calcaires crayeux, calcaires sublithographiques et silex, Bulletin du Centre de Géomorphologie de Caen 19, 7-16.

AUBRY M.P. 1975 - Recherches sur la nanopétrographie des roches siliceuses, Bulletin Trimestriel de la Société Géologique de Normandie 62 (2), 7-34.

AUBRY M.P., DEWOLF Y. , MUXART T. 1975 - Altération des silex de la craie, étude expérimentale, première observation, Compte rendu de l'Académie des Sciences 280 D, 1509-1512.

AUFRERE L. 1937 - Introduction à l'étude industrielle de la silice en archéologie primitive., Bulletin de la Société Préhistorique Française 34 (3), 160-167.

AYMARD A. 1921. Contribution à l'étude du silex des terrains tertiaires des environs d'Aurillac, Compte Rendu de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences 44, 422-425.

AZAROUAL M., FOUILLAC C., MATRAY J.M. 1997 - Solubility of silica polymorphs in electrolyte solutions, II. Activity of aqueous silica and solid silica polymorphs in deep solutions from the sedimentary Paris Basin Chemical Geology 140 (3), 167-179.

..B..

BADIA D., NICOLAS J. 1975 - Etude, à l'aide de la microscopie électronique, du processus de kaolinisation par ressilicification de la bauxite de certains secteurs du synclinal du Val (Var) Compte rendu de l'Académie des Sciences 280 D, 1845-1848.

BADIA D., FRÖHLICH F. 1975 - Identification de la calcédoine par son spectre infrarouge, Compte rendu de l'Académie des Sciences 281 D.

BADIA D. 1977 - Sur l'origine de la patine noire des chailles roulées dans l'Eocène supérieur du Sud du bassin parisien, Compte Rendu Sommaire de la Société Géologique de France 21 (6), 320-321.

BALAKIREV V.G., TSIBONER L.I., KOVALENKO V.S. 1977 - Electron microscopy of cristobalyte trydimite opal, Akademii Nauk SSSR Doklady academy of sciences : earth Science section 233 (1-6), 136-138.

BARRIER P. 1995 - Expertise microfaciologique de silex d'intérêt archéologique, SRA Auvergne, rapport REIG n° 95-146.

BASSET H. 1954 - Silicification of rocks by surface waters, American Journal of Science T252, 733-735.

BATES T.F. 1949 - The electron microscope applied to geological research, Transactions of the New York academy of sciences 2, p 100 - 107.

BAUER J. 1964 - Etude sédimentologique comparée de quelques échantillons de craie et d'argile à silex à l'Ouest de Paris, Compte Rendu Sommaire de la Société Géologique de France 1964, 75-79.

BEHL R.J., SMITH B.M. 1992 - Silicification of deep-sea sediments and the oxygen isotope composition of diagenetic siliceous rocks from the western pacific, Pigafetta and east mariana basins, Proceedings of the ODP, scientific results 129, 81-117.

BEHL R.J., GARISSON R.E. 1994 -The origin of chert in the Monterey Formation of California (USA), In : Proceeding of the 29th international geological congress, Part C : siliceous Phosphate and glauconite sediments of the terrtiary and mesozoïc, Utrecht : Lijima, A. , Abed, A., Garisson, R. (Ed.), pp. 101-132.

BEKTAS F., TOPALB T., GONCUOGLUB M.C., TURANLI L. 2008 - Evaluation of the alkali reactivity of cherts from Turkey, Construction and Building Materials 22 (6), 1183-1190.

BENNETT P.C. , MELCER M.E., SIEGEL D.I., HASSET, J.P. 1988 - The dissolution of quartz in dilute aqueous solutions of organic acids at 25°C, Geochimica Cosmochimica Acta 52, 1521-1530.

BENNETT P.C., SIEGEL D.L. 1989 - Silica organic complexes and enhanced quartz dissolution in water by organic acids, In : Procedings 6th International Symposium on Water-Rock Interaction. Rotterdam : Miles (Ed.), pp. 69 - 72.

BENNETT P.C. 1991 - Quartz dissolution in organic-rich aqueous systems, Geochimica Cosmochimica Acta 55, 1781-1797.

BENSON L.V., TAYLOR H.E., PETERSON K.A., SHATTUCK B.D., RAMOTNIK C.A., STEIN J.R. 2008 - Development and evaluation of geochemical methods for the sourcing of archaeological maize, Journal of Archaeological Science 35, 912-921.

BERGER G., CADORE E., SCHOTT J., DOVE P.M. 1994 -Dissolution rate of quartz in lead and sodium electrolyte solutions between 25 and 300°C : Effect of the nature complexes and reaction affinity, Geochimica Cosmochimica Acta 58 (2), 541-551.

BERTHOIS L. 1950 - Methode d'étude des galets. Application à l'évolution des galets marins actuels, Revue de Géomorphologie Dynamique 1, 151-179.

BERTHOUILLE H. 1972 - a. Etude mathématique de phénomènes de thermoclastie et de cryoclastie, Bulletin du Centre de Géomorphologie de Caen 12, p. 40.

BERTHOUILLE H. 1972 - b. Marques de percussion en coup d'ongle sur les galets. Analyse mathématique du phénomène, Revue de Géomorphologie Dynamique 21 (3), 115-130.

BETTERMANN P., LEIN R. 1976 - a. Geochimical investigations to genesis of flint in santonian limestone formations from Lägerdorf (SW-Holstein/Germany), Neues Jahrbuch für Mineralogie, 26-26.

BETTERMANN P., ACKERMAND D. 1976 - b. Comparison flint chert, based on chimical data (and resulting a nomenclatoric proposal), Neues Jahrbuch für Mineralogie, 27-27.

BETTERMANN P. 1976 - c. Crystallite-size model for siliceous concretions, Neues Jahrbuch für Mineralogie, 26-27.

BIGGS D.L. 1957 Petrogaphy and origin of Illinois nodular cherts, Urbana : Illinois State Geological survey circular 245 (Ed.), 25 p.

BIGNOT G. 2001 - Introduction à la Micropaléontologie, Paris : G.B. (Ed.), p. 258.

BIROT P. 1962 - Contribution à l'étude de la désagrégation des roches, Centre de Documentation de l'Université de Paris, p. 232.

BLET M., BINDER D., GRATUZE B. 2000 - Essai de caractérisation de silex provençaux par analyse chimique élémentaire, Revue d'Archéométrie 24, 149-167.

BORRADAILE G.J., KISSIN S.A., STEWART, J.D. 1993 - Magnetic and optical methods for detecting the heat treatment of chert, Journal of Archaeological Science 20, 57-66.

BOUILLET G., CAILLEUX A. 1948 - L'indice d'émoussé des silex, Compte Rendu Sommaire de la Société Géologique de France, 166-167.

BOURCART J. 1934 - Sur l'origine de l'altération des quartz dans les roches sédimentaires, Compte Rendu Sommaire de la Société Géologique de France, 197-198.

BOYÉ M. 1960 - Morphométrie des galets de quartz en Guyane Française, Revue de Géomorphologie Dynamique, 11-27.

BRADY P.V., WALTHER J.V. 1990 - Kinetics of quartz dissolution at low temperatures, Chemical Geology 82, 253-264.

BRAJNIKOV B. 1937 - Recherches sur la formation appelée «Argiles à silex» dans le bassin de Paris, Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique 10 (1-2), 7-130.

Brantley S.L., Crane S.R. , Crerar D.A., Hellman R. ,Tallard R. 1986 - Dissolution at dislocation etch pits in quartz, Geochimica Cosmochimica Acta 50, 2349-2361.

BRANTLEY S.L. 1992 - The effect of fluid chemistry on quartz microcrack lifetimes, Earth and Planetary Science Letter 113, 145-156.

BRUIN M. 1972 - The use of non destructive activation analysis and pattern recognition in the study of flint artefacts, Archaeometry 14.

BULTEEL D., RAFAÏ N., DEGRUGILLIERS P., GARCIA-DIAZ E. 2004 - Petrography study on altered flint aggregate by alkali–silica reaction, Materials Characterization 53, 141-154.

BUNTE K., ABT S.R. 2001 - Sampling surface and subsurface particle size distributions in wadable gravel and cobble bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring, Rocky Mountain Research Station : United States Departement of Agriculture (Ed.), 429p.

BURRONI D., RANDOLPH E., DONAHUE R., POLLARD M. 2002 - The surface features of flint artefacts as a record of environmentals processes, Journal of Archaeological Science 29, 1277-1287.

BUSTILLO M.A. 1976 - Texturas de la rocas siliseas inorganicas en ambiente continental y significado genetico, Estudios geologicos 32, 371-383.

BUSTILLO M.A., IGLESIA A. 1979 - Silex : relacion entre indices de cristalinidad y ambientes de sustitucion, Boletin geologico y minero 40 (6), 588-594.

BUSTILLO M.A., DELGADO A. , REY J. , RUIZ-ORTIZ P.A. 1998 - Meteoric water participation in the genesis of Jurassic cherts in the Subbetic of southern Spain - a significant indicator of penecontemporaneous emergence Sedimentary Geology 119 (1), 81-102.

BUSTILLO M.A., GARCIA, R. 2001 - Tecnicas de identification de moganita, un nuevo polimorfo de la silice de amplia distribucion, Boletin de la sociedad Espanola de Mineralogia 24, 25-26.

BUSTILLO M.A., ARRIBAS M.E., BUSTILLO M. 2002 - Dolomitization and silicification in low-energy lacustrine carbonates (Paleogene, Madrid Basin, Spain) Sedimentary Geology 151 (1), 107-126.

BUTLER I.B., RICKARD D. 2000 - Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron II , monosulfide by hydrogen sulphide, Geochimica Cosmochimica Acta 64, 2665-2672.

BUURNAM P., VAN DER PLAS L. 1971 - The genesis of belgian and dutch flints and cherts, Geologie en Mijnnbouwn 50 (1), 9-28.

..C..

CAILLEUX A. 1938 - La disposition individuelle des galets dans les formations détritiques, Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique 11 (3), 171-196.

CAILLEUX A. 1945 - Distinction des galets marins et fluviatiles, Bulletin de la Société Géologique Française 15, 375-404.

CAILLEUX A. 1947 - L'indice d'émoussé : définition et première application, Compte Rendu Sommaire de la Société Géologique de France, 251-252.

CAILLEUX A. 1948 - Analyses et critiques des travaux scientifiques de M André Cailleux, Paris, 27p.

CAILLEUX A., TRICART J. 1959 - Initiation à l'étude des sables et des galets, Centre de Documentation de l'Université de Paris, p. 376.

CALLOT M.P., PEDRO G. 1977 - Relation entre la présence de couverture d'argile à silex et la nature du substratum carbonaté. Rôle et origine des silex., Compte rendu de l'Académie des Sciences 280 D, 1295-1297.

CALVERT S.E. 1971 - Composition and origin of North Atlantic deep-sea cherts, Contribution to Mineralogy Petrology 33, 273-288.

CALVERT S.E. 1974 - Deposition and diagenesis of silica in marine sediments, International Association of Sedimentologists, Special Publication 1, 273-299.

CALVERT S.E. 1983 - Sedimentary geochemistry of silicon, In : S.R. Aston, Silicon Geochemistry and biochemistry, pp. 143-186.

CAROZZI A.V. 1993 - Sedimentary petrography, PTR Prentice Hall : Englewood Cliffs, N.J. (Ed.), 263p.

CASPAR J.P., MASSON B., VALLIN L. 2003 - Poli de bois ou poli de glace au Paléolithique inferieur et moyen ? Problèmes de convergence taphonomique et fonctionelle, Bulletin de la Société Préhistorique Française 100 (3), 453-462.

CAYEUX L. 1897 - Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. I, Etude de quelques dépôts siliceux secondaires et tertiaires du Bassin de Paris et de la Belgique, Lilles : Le Bigot frères (Ed.), 589 p.

CAYEUX L. 1916 - Introduction à la pétrographie des roches sédimentaires, Paris : Imprimerie nationale (Ed.), 524 p.

CAYEUX L. 1929 - Les roches sédimentaires de France, les roches siliceuses, Paris : Imprimerie nationale (Ed.), 774 p.

CAYEUX L. 1930 - Patine des silex de la craie, In : Cinquantenaire de la Société française de minéralogie : livre jubilaire, Paris : Masson (Ed.), pp. 60-73.

CHAMLEY H. 1987 - Bases de sédimentologie, Paris : Dunod (Ed.), p. 178.

CHEN C.T.A., MARSHALL W.L. 1982 - Amorphous silica solubilities IV. Behavor in pure water and aqueous sodium chloride, sodium sulfate, magnesium chloride and magnesium sulfate solutions up to 350 °C, Geochimica Cosmochimica Acta 46, 279-297.

CHEN D., QING H.,YAN X., LI H. 2006 - Hydrothermal venting and basin evolution (Devonian, South China): Constraints from rare earth element geochemistry of chert, Sedimentary Geology 183, 203-216.

CHILINGAR G.V. 1956 - Distribution and abundance of chert and flint as related to the Ca/MG ration of limestones, Bulletin of the Geological Society of America 67, 1559-1562.

CHOUGH S.K., KIM S.B., CHUN S.S 1996 - Sandstone/chert and laminated chert/black shale couplets, Cretaceous Uhangri Formation (southwest Korea) : depositional events in alkaline lake environments, Sedimentary Geology 104, 227-242.

Christensen M. 1998 - Processus de formation et caractérisation physico-chimique des polis d'utilisation des outils en silex. Application à la technologie préhistorique de l'ivoire, Bulletin de la Société Préhistorique Française 95 (2).

CHUNG P.W. 1936 - Le rôle des phénomènes naturels dans l'éclatement et le façonnage des roches dures utilisées par l'homme au Paléolithique, Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique 9 (4), 349-423.

CLAISSE G. 1972 - Etude de l'altération du Quartz en milieu tropical humide, Compte rendu de l'Académie des Sciences 274 D, 2956-2959.

CLARK D.N. 1979 - Patterns of porosity and Cement in ooid reservoirs in Dogger, American Association of Petroleum Geologist Bulletin 63 (4), 676-677.

COJAN I., RENARD M. 2003- Sédimentologie, Paris : Dunod (Ed.), p. 405.

COLLOT J.Y., FISCHER M.A. 1989 - Formation of forearc basins by collision between seamounts and accretionary wedges: An example from the New Hebrides subduction zone, Geology 17, 930-933.

CONIGLIO M., JAMES N.P. 1988 - Dolomitization of deep-water sediments, Cow Head Group (Cambro-Ordovician), western Newfoundland Journal of Sedimentary Research 58 (6), 1032-1045.

CORADIN T., LOPEZ P.J., GAUTIER C., LIVAGE J. 2004 - From biogenic to biomimetic silica, Compte rendu Palevol 3, 443-452.

COUSIN J. 1957 - Formes d'altération des calcaires dans le sol près de Blois, Revue de Géomorphologie Dynamique 9-10, 135-145.

CRESSMAN E.R. 1962 - Non detritical siliceous sediments, Geological Survey Professional Paper 440, 1-23.

CROUZEL F., MEYER, R. 1983 - Faciès silicifiés d'origine météorique dans le Miocène continental de l'Armagnac, Bulletin de la Société Géologique Française 25 (7), 19-23.

CURWEN E.C. 1940 -. The white patination of black flint, American Antiquity 14, 435-437.

..D..

DA SILVA VILAS BOAS G. 1975 - L'altération des accidents siliceux, silex et chailles dans les formations paléogènes. Bassin de Paris, Thèse de 3ème Cycle, Université de Strasbourg, p. 110.

DANA J.D. 1946 - Dana's manual of mineralogy, New York : J. Wiley & Sons (Ed.), 480 p.

DANGEARD L., RIOULT M. 1961 - Observations nouvelles sur les accidents siliceux situés au sommet de la ''Pierre de Caen'', Bulletin de la Société Géologique Française 7, 329-337.

DASGUPTA H.C., SAMBASIVA RAO V.V, KRISHNA C. 1999 - Chemical environments of deposition of ancient iron- and manganese-rich sediments and cherts, Sedimentary Geology 125, 83-98.

DEBELMAS J., MICHEL R. 1961 - Silicification par altération climatique dans les séries alpines, 7-14.

DEECKE W. 1933 - Die Mitteleuropaïschen Silices (nach Vorkommen, EIgen schaften und Verwendung in der Prähistorie), Lena : Fischer (Ed.), p. 112.

DEFFEYES K.S. 1959 - Zeolites in sedimentary rocks, Journal of Sedimentary Petrology 29 (4), 602-609.

DEFLANDRE G. 1935 - Techniques micropaléontologiques appliquées à l'étude des silex, Bulletin de la Société Francaise de Microscopie 4, 104-111.

DEFRETIN S. 1957 - Hypothèse sur la genèse de certains silex de la craie, Annales de la Société Géologique de Belgique 77-78, 89-99.
Deicha, G., 1945. Le quartz et le problème de la silicification, Compte Rendu Sommaire de la Société Géologique de France 8, 93-98.

DEICHA G., SELLA C. 1961 - Lacunes de cristallisations et cavités de corrosion secondaire du Quartz, Compte Rendu de l'Académie des Sciences 253, 1774-1776.

DEL BENE T.A. 1979 - Once upon a striation : current models of striation and polish formation, In : Lithic Use-wear Analysis, New-York : Hayden (Ed.), pp. 167-177.

DEWOLF Y. 1976 - A propos des argiles à silex. Essai de typologie, Revue de Géomorphologie Dynamique, 113-138.

DEWOLF Y., MATHIEU C., CALLOT G. 1983 - Les argiles à silex du bassin de Paris, nouvelles mises au point, Bulletin de la Société Géologique Française 25 (7), 25-29.

DEWOLF Y. 1988 - Des sables stampiens aux reliefs grèseux. Approche géomorphologique, dynamique et chronologique., Bulletin d'information des géologues du Bassin de Paris 25 (4), 41-46.

DI LEO M., DINELLI E. , MONGELLI G. ,SCHIATTARELLA M. 2002 - Geology and geochemistry of Jurassic pelagic sediments, Scisti silicei Formation, southern Apennines, Italy, Sedimentary Geology 150, 229-246.

DOIZE R.L., MOROSAN N.N. 1931 - Effets de quelques agents physiques sur les roches employées par les préhistoriques et spécialement sur l'outillage, Bulletin de la Société Préhistorique Française 28, 1-19.

DOMANSKI M., WEBB J., GLAISHER R. 2009 - Heat treatement of polish flint, Journal of Archaeological Science 36, 1400-1408.

DONAHUE R.E. 1998 - Lithic microwear analysis of artefacts from Bamham, In : Ashton, N., Lewis, S.G., Parfit, S., Excavations at the lower Palaeolithic Site at East Farm, Londres : British Museum Press (Ed.), pp. 245-250.

DONAHUE R.E. 2002 - The lithic microwear analysis of the B&Q Mesolithic and Neolithic site., In : Sidel, J., Cotton, The Prehistory and topography of Southwark and Lambeth, Londres : Archaeological service, pp. 81-88.

DONNAY J.D.H. 1936 - La biréfringence de forme dans la calcédoine, Annales de la Société Géologique de Belgique 59, 189-302.

DOTZLER N., TAYLOR T.N. , KRINGS M. 2007 - A prasinophycean alga of the genus Cymatiosphaera in the Early Devonian Rhynie chert, Review of Palaeobotany and Palynology 147, 106-111.

DOVE P.M., ELSTON S.F. 1992 - Dissolution kinetics of quartz in sodium chloride solutions : Analysis of existing data a rate model for 25°C, Geochimica Cosmochimica Acta 56, 4147-4156.

DOVE P.M. 1994 - The dissolution kinetics of quartz in sodium chloride solutions at 25°C to 300°C, American Journal of Science 294, 665-712.

DOVE P.M., NIX C. 1997 - The influence of the alkaline earth cations, magnesium, calcium, and barium on the dissolution kinetics of quartz, Geochimica Cosmochimica Acta 61 (16), 3329-3340.

DUCHAUFOUR P. 1997 - Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement., Paris : Masson (Ed.), p. 285.

DUNHAM R.J. 1962 - Classification of carbonate rocks according to the depositional texture, In : Memoire of the American Association of petroleum geologists, Classification of carbonate rocks, Tulsa : Ham W. (Ed.), pp. 108-121.

DUNNELL R.C., MC CUTCHEON P.T., IKEYA M. , TOYODA S. 1999 - Heat treatement of Mill Creek and Dover cherts on the Malden Plain, Southeast Missouri, Journal of Archaeological Science 21, 79-89.

DUPLAIX S., DUPUIS J. , CAMEZ T., LUCAS J., MILLOT G. 1960 - Sur la nature des minéraux argileux inclus dans les calcaires sénoniens de l'Angoumois, Bulletin du Service géologique d'Alsace-Lorraine 13 (4), 157-162.

DUPONT G. 1980 - Les communautés de foraminifères au Barrémien et au Bédoulien, Thèse de doctorat, Université de Lyon, p. 224.

DURAND M. 1975 - Nature des colorations violettes et verts de certains grès triasiques, Compte Rendu de l'Académie des Sciences 280 D, 2737-2740.

DUTTA P.K. 1998 - Provenance of chert in the Permo-Triassic Sydney Basin, Australia: oxygen isotopic evidence, Sedimentary Geology 117, 123-132.

DZIK J. 1975 - The origin and early phylogeny of the cheilostomatous bryozoa, Acta Paleontologica Polonica 20 (3), 395-423.

..E - F..

EISENBERG D., KAUZMANN W. 1969 - The structure and properties of water, New York : Oxford University press (Ed.) , 296 p.

ELEY B.E., VON BITTER P.H. 1989 - Cherts of southern Ontario, Toronto : Royal Ontario Museum (Ed.), 50p.

ELF-AQUITAINE 1975 - Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés, Pau : Centre de recherches de Boussens et de Pau (Ed.), 173p.

ELSASS F., DUBROEUCQ D. , THIRY M. 2000 - Diagenesis of silica minerals from clay minerals in volcanic soils of Mexico, Clay minerals 35, 477-489.

ENGELS C.G., SHARP R.P. 1958 - Chemical data on desert vanishing, Bulletin of the Geological Society of America 69, 487-518.

ERHART H. 1973 - Itinéraires géochimiques et cycle géologique du silicium, Paris : Doin (Ed.), 217 p.

ERNST W.G., CALVERT S.E. 1969 - An experimental study of the recrystallization of porcelanite and its bearing on the origin of some bedbed cherts, American Journal of Science 267, 114-133.

ESTËOULE-CHOUX J., ESTËOULE J., LOUAIL J. 1968 - Étude géologique et minéralogique des «argiles à silex» surmontant le Bajocien du Touveil (Maine-et-Loire). Mise en évidence d'évolutions successives, 93ème Congrès National des Sociétés Savantes. 1, 27-34.

ESTËOULE-CHOUX J. 1983 - Altérations et silicifications au Tertiaire dans le Massif armoricain, Géologie de la France 4, 345-352.

ESTEVE N. 1942 - Etude des accidents siliceux des calcaires tertiaires de la Limagne, Revue des sciences naturelles d'Auvergne 8, 30-56.

ETLICHER B., LAUTRIDOU J.P. 1999 - Gélifraction expérimentale d'arènes de roches cristallines: Bilan d'essais de longue durée, Permafrost and periglacial process 10 (1), 1-16.

EVANS D.D., HUANG C. 1983 - Role of desaturation on transport through factured Rock., In : Mercer, J.W., Rao, P.S., Marine, I.W. , Role of the unsaturated zone in radioactive and hazardous waste disposal pp. 165-178.

FAIRBRIDGE R.W. 1975 - Epidiagenetic silicification, In : IX Congress International of Sedimentology, Reform of the concept of continental terminal in the coastal sedimentary basins of West Africa, Nice, 7, pp. 49-54.

FALLOT J.E. 1885 - Etude géologique sur les étages moyens et supérieur du terrain crétacé du Sud-Est de la France, Paris : Masson (Ed.), 268 p.

FAUCK R. 1972 - Contribution à l'étude des sols des régions tropicales. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale, Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, p. 257.

FEIST M., RINGEADE M. 1977 - Etude biostratigraphique et paléobotanique (Charophytes) des formations continentales d'Aquitaine, de l'Eocène supérieur au Miocène inférieur, Bulletin de la Société Géologique Française 19 (2), 341-354.

FENNER C.N. 1913 - The stability relations of silica minerals, American Journal of Science 36, 331-384.

FERNANDES P. 2006 - Pétroarchéologie des matériaux siliceux utilisés au paléolithique moyen dans le sud du Massif central : méthodologie et résultats préliminaires, Mémoire de diplôme de l'Ecoles des hautes etudes en sciences sociales, 183.

FERNANDES P., RAYNAL J.P. 2006 - Petroarchéologie du silex : un retour aux sources, Compte rendu Palevol 5, 829-837.

FERNANDES P., RAYNAL J.P. 2007 - Pétroarchéologie du silex, In : La grotte Sainte Anne 1. Le Paléolithique moyen de l'unité J1, pp. 59-98.

FERNANDES P., LE BOURDONNEC F.X., RAYNAL J.P., POUPEAU G., PIBOULE M., MONCEL M.-H. 2007 - Origins of prehistoric flints: The neocortex memory revealed by scanning electron microscopy, Compte rendu Palevol 6, 557-568.
FERNANDES P., RAYNAL J.P. , PIBOULE M. 2008 - a. L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Massif central (volet Auvergne). Synthèse 2006-2008.

FERNANDES P., PIBOULE M. , RAYNAL J.P. , TUFFERY C. 2008 - b. L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central (volet Lozère), synthèse 2006-2008, Ministère de la Culture et de la Communication - DRAC Languedoc-Roussillon Opération de prospection thématique annuelle 08/279-7427, 43 p.

FERNANDES P., PIBOULE M. , RAYNAL J.P. , TUFFERY C. 2009 - L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central (volet Lozère), Ministère de la Culture et de la Communication - DRAC Languedoc-Roussillon Opération de prospection thématique annuelle 09/155-7711, 45 p.

FERRY S. 1976 - Cône d'épandage bioclastique en eaux profondes et glissements sous-marins dans le Barrémien et l'Aptien inférieur vocontien de la Drôme. Implications paléostructurales, Thèse de 3ème Cycle, Université de Lyon, p. 144.

FERRY S. 1979 - Les turbidites bioclastiques péri-urgoniennes modalités de transport du sable calcaire depuis les plateformes jusque dans le bassin profond (Sud-Est, France), Géobios, mémoire spécial 3, 149-158.

FERSMAN A.E. 1922 - Geochimistry of Russia, Leningrad : Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk (Ed.).

FLEMMING B.A. 1986 - Kinetics of reaction between silicic acid and amorphous silica surfaces in NaCI solutions, Journal of colloid and interface science 110, 40-64.

FLORKE O.W., 1960 - A discussion of the tridimyte – cristobalite problem, Silicate industriel C 26, 415-418.

FLORKE O.W. 1961 - Intersuchungen an amorphen und mikrokristallinem SiO2, Silicate industriel 27, 424-427.

FOJUD R., KOBUSIEWICZ M. 1982 - The influence of soluble salts on state of preservation of flint surfaces and wear traces, Studia Praehistorica Belgica 2, 245-249.

FOLK R.L. 1950 - Petrology of authigenic silica in the beekmantown group of central, Thèse de doctorat, Penn state College (USA), p. 114.

FOLK R.L., WEAVER C.E. 1952 - A study of the texture and composition of chert, American Journal of Science 250, 498-510.

FOLK R.L. 1959 - Practical classification of limestone, American Association of Petroleum Geologists Bulletin 43, 1-38.

FOLK R.L., PITMAN J.S. 1971 - Length-slow chalcedony : a new testament for vanished evaporites, Journal of Sedimentary Petrology 41, 1045-1058.

FOUCAULT J., RAOULT J.F. 2005 - Dictionnaire de géologie, Paris : Dunod (Ed.), 378 p.

FRIEDEL C., 1875 - Sur certaines altérations des agates et des silex, Compte Rendu de l'Académie des Sciences 81, 979-981.
Fröhlich, F., 1974. Nature, importance relative et place dans la diagenèse des phases de silice présentes dans les silicifications de craies du bassin océanique de Madagascar (Océan Indien) et du Bassin de Paris, Bulletin de la Société Géologique Française 16 (5).

FRÖHLICH F. 1981 - Les silicates dans l'environnement pélagique de l'océan indien au Cénozoïque, Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, p. 206.

FRÖHLICH F. 1996 - a. Les silicites à opale-CT. Carrière de Paulmy, Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris 33 (3), 49-52.

FRÖHLICH F. 1996 - b. Les silicites à calcédoine. Affleurement de Barrou route du Grand-Pressigny, Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris 33 (3), 53-55.

FRÖHLICH F. 2006 - Silex et chert : questions de genèse, Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris 43 (2), 5-22.

FULLAGAR R.L.K. 1991 - The role of silica in polish formation, Journal of Archaeological Science 18, 1-24.

..G..

GABERT P., LAUTRIDOU J.P. 1970 - Comportement au gel de quelques calcaires de la région d'Aix-en-Provence, Bulletin centre de Géomorphologie de Caen 6, 65-72.

GABIS V. 1963 - Etude minéralogique et géochimique de la série sédimentaire oligocène du Velay, Bulletin de la Société française de minéralogie et de cristallographie 86, 315-354.

GAO G., LAND L.S. 1991 - Nodular chert from the Arbuckle Group, Slick hills, SW Oklahoma : a combined field, petrogrpahic andisotopic study, Sedimentology 38, 857-870.

GARISSON R.E., ROWLAND S.M. ,HORAN L. 1975 - Petrology of siliceous rocks recoved from marginal sea of the western Pacific, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 31, 519-529.

GATES L.M., JAMESA N.P. , BEAUCHAMP B. 2004 - A glass ramp: shallow-water Permian spiculitic chert sedimentation, Sverdrup Basin, Arctic Canada, Sedimentary Geology 168, 125-147.

GENDRON-BADOU A., PICHON J.J. , FRÖHLICH F. 1997 - Enregistrements sédimentologiques des changements climatiques et océanogrpahiques au nord-ouest des Kerguelen (Océan indien sud) pendant les derniers 620 000 années., Compte rendu de l'Académie des Sciences 325 D, 343-349.

GILL G.A., SANTANTONIOB M. , LATHUILIÈRE B. 2004 - The depth of pelagic deposits in the Tethyan Jurassic and the use of corals: an example from the Apennines, Sedimentary Geology 166, 311-334.

GIOT D., MALLET N. , MILLET D. 1986 - Les silex de la région du Grand-Pressigny. Recherche géologique et analyse pétrographique, Revue archéologique du Centre de la France 25 (1), 21-36.

GISLASON S.R., HEANEY P.J., OELKERS E.H., SCHOTT J. 1997 - Kinetic and thermodynamic properties of moganite, a novel silica polymorph, Geochimica Cosmochimica Acta 61 (6), 1193-1204.

GOODMAN M.E. 1944 - The physical properties of stone tool materials, American Antiquity 9 (4), 415-433.

GOODWIN A.J.H. 1960 - Chemical alteration (patination) of stone. In the application of quantitative methods in archaeology, South African Archaeological Bulletin, 300-323.

GRAETSCH H., FLÖRKE O.W. , MIEHE G. 1987 - Structural Defects in Microcrystalline Silica, Physical and chemistry of minerals 14, 249-257.

GRATIER J.P. 1984 - La déformation des roches par dissolution-cristalisation. Aspects naturels et expérimentaux de ce fluage avec transfert de matière dans la croûte supérieur, Thèse de doctorat, Université de Grenoble, p. 315.

GREENWOOD R. 1973 - Cristobalite : its relationship to chert formation in selected samples from the deep sea drilling project, Journal of Sedimentary Petrology 43 (3), 700-708.

GREGOIRE S. 2001 - Apports et limites des nouvelles techniques de pétroarchéologie préhistorique, Compte Rendu de l'Académie des Sciences 332 D, 479-482.

GROMET L.P., DYMEK R.F. 1984 - The «North American Shale Composite» : its compilation, major and trace element characteristics, Geochimica Cosmochimica Acta 48, 2469-2482.

GRUNAU H.R. 1965 - Radiolarian cherts and associated rocks in space and time, Eclogae Geologicae Helveticae 58, 157-208.

GRÜNER M.L. 1870 - Communication à propos des couches à chailles de l'Herm, Bulletin de la Société Géologique Française 26, 1089-1089.

GUENDON J.L., PARRON C., TRIAT J.M. 1983 - Incidences des altérations crétacées sur la notion de zidérolithique dans le sud Est de la France, Bulletin de la Société Géologique Française 25 (7), 41-50.

..H - I - K..

HALLAIRE M. 1956 - La diffusion de l'eau dans le sol sous les deux formes, liquide et vapeur au voisinage de la surface d'évaporation, Sixième congrès de la science du sol, Paris : s.n. , pp. 337-344.
Harper, E.H., Knoll, A.H., 1975. Silica, diatoms, and radiolarian evolution, Geology, 175-177.

HEANEY P.J., POST J.E. 1992 - The widespread distribution of a novel silica polymorph in microcrystalline quartz varieties, Science 255, 441-443.

HEANEY P.J. 1993 - A proposed mechanism for the growth of chalcedony, Contribution to Mineralogy Petrology 115, 66-74.

HEANEY P.J., PREWITT C.T. , GIBBS G.V. 1994 - Silica : physical behavior, geochemistry and materials applications, Washington, D.C : Mineralogical Society of America (Ed.), 606 p.

HEATH G.R., MOBERLY R. 1971 - Cherts from the Western Pacific leg 7, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 7 (2), 991-1007.

HEATH G.R. 1974 - Dissolved silica and deep-sea sediments, In : Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special publication, Studies in paleo-oceanography, Tulsa : William W. Hay (Ed.), pp. 77-93.

HEIMANN R.B. 1975 - Auflösung von kristallen, Berlin : Spinger-Verlag (Ed.), 202 p.

HERMAN Y. 1972 - Origin of deep sea chert in the north Atlantic, Nature 238, 392-393.

HESS S.-C. 1996 - Chert provenance analysis at the Lack Canyon site, Sherman Country, Oregon : an evaluative study, Geoarcheology 11 (1), 51-81.

HEWITT, H.D. 1915 - Some experiments on patination, Proceedings of the Prehistoric Society of East Anglia, 45-51.

HONEA K.H. 1964 - The patination of stone artifacts, Plains anthropologist 23 (9), 14-17.

HORST M., SCHNEIDER E. 1963 - Experience d'usure d'un grain, Compte rendu de l'Académie des sciences de Paris 243, 2453 - 2455.

HOUSE W.A., HICKINBOTHAM L.A. 1992 - Dissolution Kinetics of silica between 5 and 35°C, Journal of the Chemical Faraday Transactions 88 (14), 2021-2026.

HOUSE W.A., ORR D.R. 1992 - Investigation of the pH Dependence of the kinetics of Quartz Dissolution at 25°C, Journal of the Chemical Faraday Transactions 88 (2), 233-241.

HSU K.J., JENKINS H.C. 1973 - Pelagic sediments : on land and under the sea , proceedings of a symposium held at the Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 25-6 September, 1973, Oxford : Blackwell Scientific (Ed.), 447 p.

HUE E.1929 - Recherches sur la patine des silex, Bulletin de la Société Préhistorique Française 26 (9), 461-468.

HULL S., FAYEK M. , MATHIEN F.J. , SHELLEY P. , ROLER DURAND K. 2008 - A new approach to determining the geological provenance of turquoise artifacts using hydrogen and copper stable isotopes, Journal of Archaeological Science 35, 1355-1369.

HURST V.J., KELLY A.R. 1961 - Patination of cultural flints, Science 134, 251-256.

ILER R. 1973 - Effect of absorbed alumina on the solubility of amorphous silica in water, Journal of colloid and interface science 43, 399-408.

ILER R. 1979 - The chimistry of silica, New York : John Wiley and Sons (Ed.), 865 p.

IRELAND H.A. 1959 - Silica in sediment, Tulska : Society of economic paleontologists and mineralogists (Ed.), 185 p.

ISAACS C.M. 1982 - Influence of rock compositions on kinetics of silica phase changes in Monterey formation, Santa Barbara area, Geology 10, 304-308.

JACOB C. 1907 - Etudes paléontologiques et stratigraphiques sur la partie moyenne des terrains crétacés dans les Alpes françaises et les régions voisines, Thèse de doctorat, Université de Paris, p. 314.

JODOT P. 1946 - Mécanisme de la grésification des lambeaux de grès et de poudingues siliceux dans le sud du Bassin de Paris, Compte rendu de l'Académie des Sciences 223 D, 93-95.
Jones, J.B., Segnit, E.R. , 1971. The nature of opal. I. Nomenclature and constituent phases, Journal of the Geological Society of Australia 18, 57-68.

JONES J.B., SEGNIT E.R. 1972 - Genesis of cristoballite and trydimite at low temperature, Journal of the Geological Society of Australia 18, 419-422.

JONES L.H.P., HANDRECK K.A. 1963 - Effects of iron and aluminium oxydes on silica in solution in soils, Nature 198, 852-853.

JOURNAUX A., COUTARD J.P. 1974 - Expérience de thermoclastie sur des roches siliceuses, Bulletin centre de Géomorphologie de Caen 18, 7-20.

JUIGNET P., KENNEDY W.J. 1974. Structures sédimentaires et mode d'accumulation de la craie du Turonien supérieur et du Sénonien du pays de Caux, Bulletin du BRGM (deuxième série), section IV 1, 19-47.

KAMETAKA M., TAKEBE M., NAGAI H., ZHU S. , TAKAYANAGI Y. 2005 - Sedimentary environments of the Middle Permian phosphorite–chert complex from the northeastern Yangtze platform, China; the Gufeng Formation: a continental shelf radiolarian chert, Sedimentary Geology 174, 197-222.

KAMINSKA J., MYCILSKA-DOWGIALLO E., SZYMCZAR K., 1993 - Postdepositional changes on surfaces of flint artifacts as observed under a scanning electron microscope, In : Actes du colloque international de Liège, 1990 , Traces et Fonctions : les gestes retrouvés, Liège : Erraul (Ed.), 50 (2), pp. 467-476.
Kappa, C.F., 1978. Biolithogenesis of Microcoduim : elucidation, Sedimentology 25.

KARS H., JANSEN J.B.H., VIRENDS P. 1990 - Petrography and Geochemistryof flint from the Lanaye chalk (Rijckolt-St Geertuid) and some other Neolithic sources., In : Cahier du Quaternaire 17, Actes du Vème colloque international sur le silex, Le silex de sa génèse à l'outil, Paris : CNRS (Ed.), pp. 131-140.

KASTNER M. 1981 - Authigenic silicates in deep-sea sediments : formation and diagenesis, The Sea, New York : J. Wiley & sons (Ed.), pp. 915-980.
Keeley, L.H., 1976. Microwear on flint : some experimental results, In : Staringia, 3, Second International Symposium on Flint, pp. 49-51.

KEENE J.B., KASTNER M. 1974 - Clays of deep-sea chert, Nature 249, 754-755.

KEENE J.B. 1976 - The distribution, mineralogy, and petrography of biogenic and authigenic silica from the pacific basin, Thèse de doctorat, Université de Californie, San Diego (USA), p. 264.

KELLER F. 1920 - Petrographische Untersuchunng unterfrankischer Steinartefakte, Faculté de Würzburg, 24 p.

KEMPE D.R.C. 1983 - The Petrology of archaeological artefacts, Oxford : Clarendon Press (Ed.), 374 p.

KHALAF F.I. 1988 - Petrography and diagenesis of silcrete from Kuwait, arabian Gulf, Journal of Sedimentary Petrology 58 (6), 1014-1022.

KIDDER D.L., MUMMA S.A. 2003 - Silica-replaced oolites, bedded shelf cherts and Paleozoic changes in the silica cycle, Sedimentary Geology 16, 159-166.

KILIAN W. 1889 - Description géologique de la Montagne de Lure (Basses-Alpes), Paris : Masson (Ed.), 458 p.

KINGMA K.J., HEMLEY R.S. 1994 - Raman spectroscopics study of microcrystalline silica, American Mineralogist 79, 269-273.

KNAUTH L.P. 1992 - Origin and diagenesis of cherts : AN isotopic perspective, In : Isotopic signatures and sedimentary records Berlin : Springer-Verlag (Ed.), pp. 123-152.

KNUTSSON K., LINDE K. 1990 - Postdepositional alterations of wear marks on quartz tools, preliminary observations on a experiement with Aeolian abrasion, In : Cahier du Quaternaire 17, Actes du Vème colloque international sur le silex, Le silex de sa génèse à l'outil, Paris : CNRS (Ed.), pp. 607-618.

KOWALSKI W.S. 1975 - L'influence des variations de teneur en eau sur la résistance mécanique et la déformation des roches dans la zone d'altération, Bulletin of the International Association of Engineering Geology 12, 37-43.

KRAUSKOPF K.B. 1956 Dissolution and Precipitation of Silica at low temperatures, Geochimica Cosmochimica Acta 10, 1-26.

KRAUSKOPF K.B. 1959 - The geochemistry of silica in sedimentary environments, Society of economic paleontologists and mineralogists, special publication 7, 4-19.

KRAUSKOPF K.B. 1967 - Introduction to Geochemistry. International student adition, New York: Mc Graw-Hill Book Co. (Ed.), 271p.

KRINSLEY D.H., DORNKAMP J.C. 1973 - Atlas of quartz sand surface textures, New York : Cambridge University Press (Ed.), 91 p.

KRUMBEIN W.C. 1942 - Physical and Chemical changes in sediments after deposition, Journal of Sedimentary Petrology 12, 11-117.
Kuenen, P.H., 1959. Experimental abrasion 3. fluviatile action on sand, American Journal of Science 257, 172-190.

KUENEN P.H. 1960 - Sand, In : Scientific American, pp. 2-15.

KUENEN P.H. 1960 - Experimental abrasion, IV : eolian action, Journal of Geology 68, 435-439.

KULBICKI G., MILLOT G. 1960 - L'évolution de la fraction argileuse des grès pétroliers cambro-ordoviciens du Sahara central, Bulletin du Service géologique d'Alsace-Lorraine 13 (4), 147-156.

KUNIMARU T., SHIMIZU H., TAKAHASHI K., YABUKI S. 1998 - Differences in geochemical features between Permian and Triassic cherts from the Southern Chichibu terrane, southwest Japan: REE abundances, major element compositions and Sr isotopic ratios, Sedimentary Geology 119, 195-217.

..L..

LACROIX A. 1962 - Minéralogie de la France et de ses anciens territoires d'Outre-mer, Paris : Albert Blanchart (Ed.), 816 p.

LAIGNEL B., QUESNEL F., LECOUSTUMER M.-N., MEYER R. 1998 - Variabilité du cortège argileux des formations résiduelles à silex de l'Ouest du bassin de Paris, Compte rendu de l'Académie des Sciences, Sciences de la Terre et des planètes 326, 467-472.

LANCELOT Y. 1973 - Chert and Silica diagenesis in sediments from Central Pacific, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 17, 377-405.

LAUTRIDOU J.P., LETAVERNIER G., OZOUF J.C. 1986 - Porosité et gélivité des silex et des craies : l'apport de l'expérimentation, In : Revue archéologique de l'Ouest, supplément, 1, Actes du Xème colloque interrégional sur le Néolithique, pp. 271-277.

LAUTRIDOU J.P., DELEHAYE Y., ETLICHER B. 1990 - Expériences de gélifraction de silex, In : Cahier du Quaternaire 17, Actes du Vème colloque international sur le silex, Le silex de sa genèse à l'outil, Paris : CNRS (Ed.), pp. 161-166.

LE CHATELIER H. 1914 - La silice et les silicates, Paris : Hermann A. & Fils (Ed.), 574 p.

LE RIBAULT L. 1971 - Présence d'une pellicule de silice amorphe à la surface de cristaux de quartz des formations sableuses, Compte rendu de l'Académie des Sciences 272, 1933-1936.

LE RIBAULT L. 1973 - L'exoscopie, méthode de détermination des évolutions subies par les grains de quartz au cours de leur histoire géologique, par l'étude des aspects superficiels au microscope électronique à balayage, Thèse de doctorat , Université Paris Sud, p. 62.

LE RIBAULT L. 1975 - L'exoscopie méthode et application, Paris : Compagnie Francaise des Petroles, Service Geologique D.C.E.P (Ed.), 230 p.

LE RIBAULT L. 1977 - L'exoscopie des quartz, Paris : Masson (Ed.), 150 p.

LE ROUX J.P. 1998 - Entrainment threshold of natural grains in liquids determined empirically from dimensionless settling velocities and other measures of grain size, Sedimentary Geology 119, 17-23.

LECLAIRE L., ALCAYDÉ G., FRÖHLICH F. 1973 - La silification des craie : rôle des sphérules de cristobalite-tridymite observées dans les craies des bassins océaniques et dans celle du bassin de Paris, Compte rendu de l'Académie des sciences de Paris série D 277, 2121 - 2124.

LECLAIRE L. 1974 - Hypothèse sur l'origine des silicifications dans les grands bassins océaniques. Le rôle des climats hydrolisants, Bulletin de la Société Géologique Française 16 (2), 214-224.

LETAVERNIER G. 1984 - La gélivité des roches calcaires, relation avec la morphologie du milieu poreux, Thèse de 3ème Cycle, Université de Caen, p. 181.

LEVI SALA I. 1988 - Process of polish formation on flint tool surface, In : BAR International Series, 411 (2), Industrie lithiques, Tracéologie et Technologie, Volume 2 : Aspect méthodologique, pp. 83-97.

LITTKE R., FOURTANIER E., THUROW J., TAYLOR E. 1991 - Silica diagenesis and its effects on lithification of broken ridge deposits, central indian ocean, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 121, 261-272.

LOPEZ-GOMEZ J., ARCHE A. 1997 - The Upper Permian Boniches Conglomerates Formation: evolution from alluvial fan to fluvial system environments and accompanying tectonic and climatic controls in the southeast Iberian Ranges, central Spain, Sedimentary Geology 114, 267-294.

LUCOTTE G. 1978 - Les argiles à chailles de la région de Nevers et de la Charité-sur-Loire, Rapport de DEA, Université de Dijon, p. 52.

LUEDTKE B.E. 1978 - Chert sources and trace-element analysis, American Antiquity 43 (3), 413-423.

LUEDTKE B.E. 1979 - The identification of sources of chert artefacts, American Antiquity 44, 744-756.

LUMSDEN D.N. 1988 - Characteristics of deep-marine dolomite, Journal of Sedimentary Petrology 58 (6) 1023-1031.

LYONS W.H., GLASCOCK M.D., MEHRINGER P.J. 2003 - Silica from sources to site: ultraviolet fluorescence and trace elements identify cherts from Lost Dune, southeastern Oregon, USA, Journal of Archaeological Science 30, 1139-1159.

..M..

MAGARITZ M., PERYT T.M. 1994 - Mixed evaporative and meteoric water dolomitization: isotope study of the Zechstein Limestone (Upper Permian), southwestern Poland, Sedimentary Geology 92, 257-272.

MALISSEN B. 1977 - Elaboration d'une fiche de recensement des gîtes potentiels de matières premières siliceuses, Bulletin de la Société Préhistorique Française 74 (7), 203-205.

MALLET N. 2001 - De la détermination des silex du Grand Pressigny, Bulletin des Amis du Musée de Préhistoire du Grand Pressigny 52, 17-17.

MANGIN A.M. 1974 - Contribution à la connaissance des accidents siliceux du Dogger des Causses, Compte Rendu de l'Académie des Sciences 278 D, 409-412.
Mann, A.W., Hortwiz, R. , 1979. Ground water calcrete deposits in Australia : some observation from western Australia, Journal of the ecological society of Australia 26 (2), 293-303.

MANSUR-FRANCHOMME M.E. 1986 - Microscopie du matériel lithique préhistorique. Traces d'utilisation, altérations naturelles, accidentelles et technologiques, Cahier du Quaternaire 9, Paris : CNRS (Ed.), 286 p.

MARSHALL W.L. 1980 - a. Amorphous silica solubilities I. Behavior in aqueous sodium nitrate solutios ; 25-300°C, 0-6molal, Geochimica cosmochimica acta 44, 907-913.

MARSHALL W.L., WARAKOMSKI J.M. 1980 - Amorphous silica solubilities-II. Effect of aqueous salt solutions at 25°C, Geochimica Cosmochimica Acta 44, 915-924.

MARSHALL W.L.1980 - b. Amorphous silica solubilities III Activity coefficient relations and predictions of solubility behavior in salt solutions 0-350 °C, Geochimica Cosmochimica Acta 44, 925-931.

MARSHALL W.L., CHEN C.T.A 1982 - Amorphous silica solubilities-V. Predictions of solubility behaviour in aqueous mixed electrolyte solutions to 300°C, Geochimica Cosmochimica Acta 46, 289-291.

MASSON A. 1979 - Recherches sur la provenance des silex préhistoriques : méthode d'études, Etudes préhistoriques 15, 29-40.

MASSON A. 1981 - Pétroarchéologie des roches siliceuses, intérêt en Préhistoire, Thèse de doctorat, Université de Lyon, p. 101.

MASSON A. 1981 - b. Altérations des silex préhistorique : dissolution, néogenèse siliceuse, implications sédimentologiques, Compte rendu de l'Académie des Sciences, série II 292, 1533-1537.

MATHIEU C. 1971 - Contribution à l'étude des formatons argileuses à silex de Thiérache (France), Société belge de pédologie 21, 5-94.

MATHIEU C. 1975 - Sur les argiles de décarbonatation de la craie dans le Nord de la France. Essai de classification, Science du sol 3, 183-206.

MATTESON S., AVARA M.J., NGUYEN C.V., KIM S.-H. 2005 - RBS characterization of uranium in flint and chert, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 241, 465-469.

MENILLET F. 1987 - Les meulières du Bassin de Paris (France) et les faciès associés. Rôles des altérations supergènes néogènes à quaternaire ancien dans leur genèse, Thèse de doctorat, Université Strasbourg 1, p. 539 p.

MENILLET F. 1988 - a. Les accidents siliceux des calcaires continentaux à lacustres du tertiaire du bassin de Paris, Bulletin d'information des géologues du Bassin de Paris 25 (4), 57-70.

MENILLET F. 1988 - b. Meulières, argiles à meulières et meuliérisation. Historique, évolution des termes et hypothèses génétiques, Bulletin d'information des géologues du Bassin de Paris 25 (4), 71-79.

MENILLET F. 1988 - c. Désilicification et silicification au Plioquaternaire dans les karsts de calcaires tertiaires du bassin de Paris : Genèse et caractéristiques des meulières types, Bulletin d'information des géologues du Bassin de Paris 25 (4), 81-91.

MEYER R. 1981 - Rôle de la paléoaltération, de la pédogenèse et de la diagenèse précoce au cours de l'élaboration des séries continentales, Thèse de doctorat, Université Nancy-1, p. 229.

MIALL A.D. 1978 - Lithofacies types and vertical profil models, Fluvial sedimentology, Calgary : Canadian Society of Petroleum Geologist (Ed.), pp. 597-604.

MIALL A.D. 1996 - The geology of fluvial deposits, Berlin : Springer-Verlag (Ed.), 582 p.

MIALL A.D. 1999 - In defense of facies classifications and models, Journal of Sedimentary Research 69 (1), 2-5.

MIDGHLEY H.G. 1951 - Chalcedony and flint, Geological magazine 88 (3), 179-184.

MIGASZEWSKI Z.M., GAŁUSZKA A., DURAKIEWICZ T., STARNAWSKA E. 2006 - Middle Oxfordian–Lower Kimmeridgian chert nodules in the Holy Cross Mountains, south-central Poland, Sedimentary Geology 187, 11-28.

MILLOT G. 1960 - Silice, silex, silicifications et croissance des cristaux, Bulletin du Service géologique d'Alsace-Lorraine 13, 129-146.

MILLOT G. 1961 - Silicification et néoformation argileuses : problème de genèse, In : Colloque internationaux du CNRS 105, Genèse et synthèse des argiles, Paris : CNRS (Ed.), pp. 167-176.

MILLOT G. 1964 - Géologie des argiles, Paris : Masson (Ed.), 499 p.

MILNES A.R., WRIGHT M.J., THIRY M. 1991 - Silica accumulations in saprolites and soils in South Australia, SSSA Special Pubication : Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum and silica accumulation in soils 26, 121-149.

MINOURA K., SUSAKI T., HORIUCHI K. 1996 - Lithification of biogenic siliceous sediments: evidence from Neogene diatomaceous sequences of northeast Japan, Sedimentary Geology 107, 45-59.

MITCHELL S.R. 1947 - Patination, Mankind 3 (10), 298-302.

MONTY C. 1963 - Bases d'une nomenclature des roches calcaires marines, Annales de la Société Géologique de Belgique 86, 87-122.

MONTY C.L.V., WESTALL F., VAN DER GAAST S. 1991 - Diagenesis of siliceous particles in subantartic sediments, Hole 699A : possible microbial mediation, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 114, 685-710.

MOORE G.S., ROSE H.E. 1975 - Dissolution of powdered quartz, Nature 253, 525-527.

MOORE P.R. 1995 - A Jurassic chert-limestone-spilite association near Eketahuna, North Island, New Zealand, Journal of The Royal Society of New Zealand, 25 (2), 99-114.

MORROW B.A., CODY I.A. 1975 - An Infrared Study of Some Reactions with Reactive Sites on Dehydroxylated Silica, The Journal of Physical Chemistry 79 (7), 761-762.

MOUHSINE S. 1994 - Processus de la silicification sédimentaire. Modèle du Turonien de Touraine, Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, p. 118.

MOULINE M.P. 1983 - Les accidents siliceux dans les calcaires lacustres du Castrais et de l'Albigeois, Bulletin de la Société Géologique Française 25 (1), 51-56.

MOULLADE M. 1966 - Etude stratigraphique et micropaléontologique du Crétacé inférieur de la fosse vocontienne, Thèse de doctorat, Université de Lyon, p. 369.

MUNCK E. 1928 - Note sur l'aspect et la patine des silex de la région du Grand-Pressigny (Indre-et-Loire), Bulletin de la société d'anthropologie de Bruxelles 43, 247-249.

MUNIER-CHALMAS M. 1890 - Sur les formations gypseuses du bassin de Paris II. Sur les dépôt siliceux qui ont remplacés le gypse, Compte rendu de l'Académie des Sciences 110, 663-666.

MURRAY R.W., BUCHHOLTZTEN BRINK M.R., JONES D.L., GERLACH D.-C., PRICE RUSS III G. 1990 - Rare earth elements as indicators of different marine depositional environnements in chert and shale, Geology 18, 268-271.

MURRAY R.W., BUCHHOLTZTEN BRINK M.R., GERLACH D.C., PRICE RUSS III G., JONES D.L. 1991 - Rare earth, major, and trace elements in chert from the fransiscan complex and Monterey Group, California : Assessing REE source to fine-grained marine sediments, Geochimica Cosmochimica Acta 55, 1875-1895.

MURRAY R.W., BUCHHOLTZTEN BRINK M.R., GERLACH D.C., PRICE RUSS III G., JONES D.L. 1992 - Rare earth major and trace composition of the Monterey and DSDP chert and associated host sediment : assessing the influence of chemical fractionation during diagenesis, Geochimica Cosmochimica Acta 56, 2657-2671.

MURRAY R.W. 1994 - Chemical criteria to identify depositional environnement of chert : general principes and applications, Geology 20 (3), 271-274.

MURRAY R.W. 1994 - Chemical criteria to identify the depositional environnement of chert : general principes and applications, Sedimentary Geology 90, 213-232.

MUTTONI G., KENT D.V. 2007 - Widespread formation of cherts during the early Eocene climate optimum, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 253, 348-362.

..N - O - P..

NEGLIA S. 1979 - Migration of fluids in sedimentary basins, American Association of Petroleum Geologist Bulletin 63 (4), 573-597.

OKAMOTO G., OKURA T., OTO K. 1957 - Properties of silica in water, Geochimica Cosmochimica Acta 12, 123-132.

OWEN A.W., ARMSTRONG H.A., FLOYD J.D. 1999 - Rare earth elements in chert clasts as provenance indicators in the Ordovician and Silurian of the southern Uplands of Scotland, Sedimentary Geology 124, 185-195.

PARCERISA D., THIRY M., GOMEZ-GRAS D. CALVET F. 2001 - Proposition d'un modèle de silicification superficielle des grès néogènes de Montjuïc, Barcelone (Espagne) : paragenèses minérales, environnements géochimiques et circulation des fluides, Bulletin de la Société Géologique Française 172 (6), 751-764.

PARKER A. 1970 - An induce of weathering for silicate rocks, Geological magazine, 501-504.

PARKS G.A. 1984 - Surface and interfacial free energies of quartz, Journal of geophysical research 89, 3997-4008.

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 - Etude des opales de mirefleurs, Bulletin de la Société Préhistorique Française 43, 49-52.

PELTO C.R. 1956 - A study of chalcedony, American Journal of Science 254, 32-50.

PERELMAN A.I. 1967 - Geochemistry of epigenesis, New-York : Plenum Press (Ed.), 266 p.

PERRODON A. 1977 - Dynamique des bassins sédimentaires, Bulletin Centre recherche Exploration Production Elf-Aquitaine 1 (1), 111-130.

PETROLA J.P. 2001 - A Feasibility Study Using Silica Polymorph Ratios for Sourcing Chert and Chalcedony Lithic Materials, Journal of Archaeological Science 28, 721-739.

PETTIJOHN F.J. 1957 - Sedimentary rocks, New York : Harper (Ed.), 718 p.

PETTIJOHN F.J., POTTER P.E. 1973 - Sand and sandstone, Berlin : Springer-Verlag (Ed.), 618 p.

PICARD M.D., HIGH L.R. 1972 - Criteria for recognizing lacustrine rocks., In : Recognition of ancient sedimentary environments, Tulsa : Society of economic paleontologists and mineralogists (Ed.), pp. 108-145.

PLAZIAT J.C. 1981 - Late Cretaceous to late Eocene. Paleogeopgraphic evolution of southwest Europe, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 36, 263-320.

POLINARD E. 1936 - La transformation de péridotites à pyroxènes en roches essentiellement siliceuses et ferrugineuses dans les bassins de la Lulua et de la Bushimaie, Annales de la société géologique de Belgique série Congo Belge 54 (2), 19-34.

PORTHAULT B. 1974 - Le Crétacé supérieur de la Fosse vocontienne et des régions limitrophes (France sud-est): micropaléontologie, stratigraphie, paléogéographie, Thèse de doctorat, Université de Lyon, p. 342.

PURDY B.A., BROOKS H.K. 1971 - Thermal alteration of silica minerals. An archaeological approach, Science 73, 322-325.

PURSER B.H. 1980 - Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents., Paris : Technip (Ed.), 366 p.

..R..

RABINOWICZ E. 1968 - Polishing, Scientific american 218 (6), 91-99.

RADDADI M.C. 2004 - Etude de la nature de la radioactivité gamma dans les roches carbonatées de plate-forme : analyses et interprétations environnementales, diagénétiques et géodynamiques, Thèse de 3ème Cycle, Université de Grenoble, p. 221.

RAYNAL J.P., FERNANDES P., PIBOULE M. 2006 - Prospection thématique, l'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Massif central, bilan scientifique de la région Auvergne, DRAC Auvergne, p. 153-155.

RAYNAL J.P., FERNANDES P., PIBOULE M. 2007 - Prospection thématique, l'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Massif central, bilan scientifique de la région Auvergne, DRAC Auvergne, p. 161-163.

RAYNAL J.P., FERNANDES P., PIBOULE M., TUFFERY C. 2008 - Prospection thématique, l'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Massif central, bilan scientifique de la région Auvergne, DRAC Auvergne, , p. 158-161.

RAYOT V. 1993 - Altérations du centre de l'Australie : rôle des solutions salines dans la genèse des silcrètes et des profils blanchis, Thèse de doctorat, Université Lilles 1, p. 142 p.

RAYOT V. 1993 - Transition of clay mineral to opal CT during ground-water silicification, In : Mineralogical and geochemical records of paleoweathering, Paris : ENSMP (Ed.), pp. 47-59.

REEDER R.J. 1983 - Carbonates : mineralogy and chemistry.

RENAUT R.W., JONES B., TIERCELIN J.J. 2002 - Sublacustrine precipitation of hydrothermal silica in rift lakes: evidence from Lake Baringo, central Kenya Rift Valley, Sedimentary Geology 148, 235-357.

RICHE C., FEBLOT AUGUSTINS J. 2002 - La caractérisation pétrographique des silex : application de la methode à deux contextes géologiques et géographiques particuliers (Sud Vercors et Bugey), In : Acte de la table ronde de Lyon, 8-9 décembre 2000, Les industries lithiques taillées holocènes du Bassin rhodanien : problèmes et actualités, Lyon : Monique Mergoil (Ed.), pp. 29-49.

RICHTER D., KRBETSCHEK M.R., RIESER U., TRAUTMANN T., WAGNER G.A. 1999 - Spectral investigation of the thermoluminescence of heated flint (silex), Quaternary Geochronology 18, 279-285.

RIMSTIDT J.D. 1997 - Quartz solubility at low temperatures, Geochimica Cosmochimica Acta 61 (13), 2553-2558.

RIO M., CHALAMET A. 1980 - Relations entre l'habitus, la dimension des cristallites et le comportement thermique de la silice dans les divers types d'accidents siliceux, Bulletin de minéralogie 103, 44-47.

RIO M. 1982 - Les accidents siliceux dans le Crétacé du bassin Vocontien (Sud-Est de la France). Contribution à l'étude de la silicification des formations calcaires, Villeurbanne : Université Claude-Bernard (Ed.), Documents des laboratoires de géologie Lyon, 84 , 184 p.

RIVELINE J. 1973 - Répartition des Characées dans des calcaires lacustres de l'Eocène terminal et de l'Oligocène basal du sud-est du Bassin de Paris, Compte rendu de l'Académie des Sciences 277 D, 2641-2644.

ROBERT M., VENAU G., BERRIER J. 1980 - a. Action des composés organique sur la dissolution des carbonates, Science du sol 3, 231-245.

ROBERT M., VENAU G., BERRIER J. 1980 - b. Solubilisation comparée des silicates, carbonates et hydroxydes, en fonction des conditions du milieu, Bulletin de minéralogie 103, 324-329.

ROBERT N.K., ZUNDEL G. 1979 - IR studies of long-range surface effects-excess proton mobility in water in quartz pores, Nature 278, 726-728.

ROTTLANDER R. 1975 - The formation of patina on flint, Archaeometry 17 (1), 106-110.

ROTTLANDER R. 1975 - Some aspects of the patination of flint, Staringia 3, 54-56.

ROUBAULT M. 1982 - Détermination des roches au microscope polarisant, Paris : Lamarre Poinat (Ed.), 365 p.

ROUGERIE G. 1951 - A propos de l'étude morphologique des galets équatoriaux, Compte Rendu Sommaire de la Société Géologique de France 5, 80-82.

..S..

SABOURAUD C., SALEHI SIAVOCHANI H. 1980 - Remplacement d'inclusions solides primaires au coeur de quartz bipyramidés de l'Eocène nord tunisien., Bulletin de minéralogie 103, 54-58.

SALVADOR A. 1994 - International stratigraphic guide : a guide to stratigraphic classification, terminology and procedure, Boulder : Geological society of america (Ed.) , 214 p.

SCHMALZ R.F. 1960 - Flint and the patination of flint artifacts, Proceeding of the prehistoric society 26 (3), 44-49.

SCHMIDT F. 1986 - Flint stratigraphy and its relationship to archaeology, In : The scientific study of flint and chert,Proceedings of the fourth international flint symposium held at Brighton Polytechnic, 10-15 April 1983, Cambridge : Sieving G.G. & Hart M.B. (Ed.), pp. 1-5.

SCHNEIDER H.E. 1963 - Expérience d'usure de grains de quartz, Compte rendu de l'Académie des Sciences 256, 2453-2455.

SCHNEIDER H.E. 1970 - Problems of quartz grain morphoscopy, Sedimentology 14, 325-335.

SCOLARI G., LILLE R. 1973 - Nomenclature et classification des roches sédimentaires (roches détritiques terrigènes et roches carbonatées), Paris : BRGM (Ed.), 127 p.

SÉRONIE-VIVIEN M., SÉRONIE-VIVIEN M.R. 1987 - Les silex du Mesozoïque nord-aquitain. Approche géologique de l'étude des silex pour servir à la recherche préhistorique, Bordeaux : Supplement au Tome 15, Bulletin de la Société Linéenne de Bordeaux (Ed.), 136 p.

SÉRONIE-VIVIEN M.R. 2003 - Attribution stratigraphique d'un silex et microfaciès, In : Table ronde internationale Les matières premières lithiques en préhistoire, Aurillac (Cantal), du 20 au 22 juin 2002, Cressensac : Association de préhistoire du Sud-Ouest (Ed.), pp. 297-303.

SHEPARD F.P. 1973 - Ocean Sediments and sedimentation, Submarine geology, New York : Harper & Row (Ed.), pp. 69-87.

SHEPPARD P. 1997 - The characterisation of cherts from sites in southwest Tasmania, Archaeology in Oceania 32, 47-53.

SIEVEKING G. 1986 - International flint symposium of Brigthon : The scientific study of flint and chert, New York : Cambridge University Press (Ed.), 263 p.

SIEVER R. 1962 - Silica solubility 0°-200° and the diagenesis of siliceous sediments, Journal of Geology 70, 127-150.

SIGNOLLES C. 1980 - Le Crétacé supérieur du département de l'Ardèche (Sud-Est de la France) : stratigraphie, sédimentologie, paléogéographie, Thèse de 3ème Cycle, Université de Lyon, p. 94.

SIMONET R. 1979 - Carte des gîtes à silex des Pré-Pyrénées. La préhistoire du Quercy dans le contexte Midi-Pyrénées, In : Compte rendu de la 21ème session du Congrès préhistorique de France, Quercy, 3-9 septembre 1979, Paris : Société préhistorique de France (Ed.).

SIMONET R. 1999 - De la Géologie à la Préhistoire : le silex des Pyrénées, résultats et réflexions sur les perspectives et les limites de l'étude des matières premières lithiques, Paléo 11, 71-88.

SIMONUCCI M. 2000 - Caractérisation des silex lacustres oligocènes du bassin d'Apt-Forcalquier, Memoire de DESS, Université de Bourgogne, p. 101.
Sittler, C., Demangeon, P., 1963. Les minéraux argileux, indicateurs de faciès, dans le Paléogène languedocien, Bulletin du Service géologique d'Alsace-Lorraine 16 (4), 213-226.

SLACK J.F., GRENNE T., BEKKER A., ROUXEL A.J., LINDBERG P.A. 2007 - Suboxic deep seawater in the late Paleoproterozoic: Evidence from hematitic chert and iron formation related to seafloor-hydrothermal sulfide deposits, central Arizona, USA, Earth and Planetary Science Letter 255, 243-256.

SLANSKY M. 1992 - Terminologie et classification des roches sédimentaires formées de silice, silicates, carbonates et phosphates., Paris : BRGM (Ed.), 133 p.

SPOSITO G. 2008 - The chemistry of soils, New York : Oxford University Press (Ed.), 329 p.

STAPERT D. 1975 - Pseudo-artefakten, Staringia 3, 57-62.

STAPERT D. 1976 - Some natural surface modifications on flint in the Nethe, Netherlands, Palaeohistoria 18, 7-42.

STELCL J., MALINA J. 1970 - Anwendung der Petrographie in der Archäologie., Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis Geologia 11(20), 5-111.

STRAKHOV N. 1958 - Méthode d'études des roches sédimentaires, Paris : BRGM (Ed.), 535 p.

STUMM W. 1992 - Chemistry of the solid-water interface : processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems, New York : John Wiley & Sons (Ed.), 428 p.

SUGITANI K., YAMAMOTO K., WADA H., BINU-LAL S.S., YONESHIGE M. 2002 - Geochemistry of Archean carbonaceous cherts deposited at immature island-arc setting in the Pilbara Block, Western Australia, Sedimentary Geology 151, 45-66.

SUGITANI K., GREY K., ALLWOOD A., NAGAOKA T., MIMURA K., MINAMI M., MARSHALL C.P., VAN KRANENDONK M.J., WALTER M.R. 2007 - Diverse microstructures from Archaean chert from the Mount Goldsworthy–Mount Grant area, Pilbara Craton, Western Australia: Microfossils, dubiofossils, or pseudofossils?, Precambrian research 158, 228-262.

..T..

TANIMOTO S., REHREN T. 2008 - Interactions between silicate and salt melts in LBA glassmaking, Journal of Archaeological Science 35, 2566-2573.

TAUPINARD J. 1972 - Etude de la microperméabilité de quelques roches cristallines par une méthode de diffusion gazeuse, Recherches géographiques en France, 53-55.

TEXIER J.P. 1982 - Désilicification des silex taillés, Quaternaria nova 22, 10-10.

THARRAULT R. 2003 - Caractérisation de silex de sources géologiques du Quercy et application à la provenance des silex du site paléolithique supérieur du Cuzoul de Vers (Lot), Memoire de DESS, Université Bordeaux-3/Bordeaux-1, p. 78.

THEBAULT J.Y. 1969 - Contribution à l'étude des formes des galets, Paris : BRGM (Ed.), 104 p.

THIRY M. 1973 - Les sédiments de l'Eocène inferieur du bassin de Paris et de leurs relations avec la paléoaltération de la craie, Thèse de 3ème Cycle, Université de Strasbourg, p. 79.

THIRY M. 1978 - Silicification des sédiments sablo-argileux de l'Yprésien du Sud-Est du bassin de Paris. Genèse et évolution des dalles quartzitiques et silcrêtes, Bulletin du BRGM 1, 19-46.

THIRY M. 1981 - Sédimentation continentale et altérations associées : Calcitisations, ferruginisations et silicifications. Les argiles plastiques du Sparnacien du Bassin de Paris, Thèse d'état, Université de Strasbourg, p. 173.

THIRY M., DELAUNAY A., DEWOLF Y. 1983 - Les périodes de silicification au Cénozoïque dans le Bassin de Paris, Bulletin de la Société Géologique Française 25 (1), 31-40.

THIRY M., PANZIERA A., SCHMITT J.M. 1984 - Silicification et Désilicification des grès et des sables de Fontainebleau : Evolutions morphologiques de grès dans les sables et à l'affleurement, Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris 21 (2), 23-32.

THIRY M., TURLAND M. 1985 - Paléoséquences de sols ferrugineux et de cuirassements siliceux dans le sidérolithique du Nord du Massif central (basin de Monluçon-Domérat), Géologie de la France 2, 175-192.

THIRY M., MILLOT G. 1987 - Mineralogical forms of silica and their sequence of formation in silcretes, Journal of Sedimentary Petrology 57, 343-352.

THIRY M. 1988 - Les grès lustrés de l'Eocène du Bassin parisien : des silcrêtes pédologiques, Bulletin d'information des géologues du Bassin de Paris 25 (4), 15-24.

THIRY M., BERTRAND-AYRAULT M. 1988 - Les grès de fontainebleau : Genèse par écoulement de nappes phréatiques lors de l'entaille des vallées durant le Plio-Quaternaire et phénomènes connexes, Bulletin d'information des géologues du Bassin de Paris 25 (4), 25-40.

THIRY M., KOENIGUER J.C., MÉNILLET F. 1988 - Les silicifications de surface : la typologie et les outils de leur interprétation, Bulletin d'information des géologues du Bassin de Paris 25 (4), 5-14.

THIRY M., BEN BRAHIM M. 1990 - Silicifications pédologiques dans les dépôts hamadiens du piemont de Boudenib (Maroc), Geodinamica Acta 10 (1), 12-29.

THIRY M., MILNES A.R. 1991 - Pedogenic and groundwater silcretes at Stuart Creek opal fiels, south Australia, Journal of Sedimentary Petrology 16 (1), 111-127.

THIRY M. 1999 - Diversity of continental silicification features : examples from the cenozoic deposits in the Paris basin and neighbouring basement, Special publication of the international association of Sedimentologist 27, 87-128.

THIRY M., RIBET I. 1999 - Groundwater silicification in Paris basin limestones : fabrics, mechanisms and modeling, Journal of Sedimentary Research 69 (1), 171-183.

THIRY M., SIMON-COINÇON R., QUESNEL F. 2005 - Altération bauxitique associée aux argiles à chailles sur la bordure Sud-Est du Bassin de Paris, Bulletin de la Société Géologique Française 176 (2), 199-214.

THORNTON S.D., RADKE C.J. 1988 - Dissolution and condensation kinetics of silica in alkaline solution, SPE reservoir engineering, 743-752.

TOBIN K.J. 2004 - A survey of paleozoic microbial fossils in chert, Sedimentary Geology 168, 97-107.

TRAUTH N., SOMMER F., LUCAS J. 1969 - Evolution géochimique d'une série sédimentaire Paléogène dans le bassin de Paris, Bulletin du Service géologique d'Alsace-Lorraine 22 (4), 279-310.

TRAUTH N., VILAS-BOA G., THIRY M., BADAUT D., EBERHART J.-P. 1978 - silex et chailles du Bassin de Paris. Modifications minéralogiques lors de leur altération, Science géologique 31 (4), 173-183.

TRAUTH N. 1983 - Trois précurseurs de l'étude de l'altération superficielle de roches sédimentaires : Dieulefait, Fleury, Brajnikov, Bulletin de la Société Géologique Française 25, 1-10.

TRIAT J.M. 1979 - Paléoaltérations dans le Crétacé supérieur de Provence rhodanienne, Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille-3, p. 313.

TRICART J., SCHAEFFER R. 1950 - L'indice d'émoussé des galets, moyen d'étude des systèmes d'érosion, Revue de Géomorphologie Dynamique 4, 158-171.

TRICART J., VONFELT J. 1955 - La signification paléogéographique des conglomérats oligocènes de la bordure vosgienne, Bulletin du Service géologique d'Alsace-Lorraine 8, 105-118.

TRICART J. 1970 - Convergence de phénomènes entre l'action du gel et celle du sel, Acta Geographica Lodziensia 24, 425-436.

TSIRK A. 1979 - Regarding fractures initiations, Lithic use-wear analysis, 83-96.

TWENHOFEL W.H. 1932 - Treatise on sedimentation, New-York : William & Wilkins Company (Ed.), 926 p.

..U à Z..

ULLYOTT J.S., NASH D.J., WHITEMAN C.A 2004 - Distribution, petrology and mode of development of silcretes (sarsens and puddingstones) on the eastern South Downs, UK, Earth Surface Processes and Landform 29 (12), 1509-1539.

UMEDA M. 2003 - Precipitation of silica and formation of chert–mudstone–peat association in Miocene coastal environments at the opening of the Sea of Japan, Sedimentary Geology 161, 249-268.

VALENSI L. 1955 - Etude micropaléontologique des silex du Magdalénien de St-Amand (Cher), Bulletin de la Société Préhistorique Française, 584-596.

VALENSI L. 1957 - Micropaléontologie des silex du Grand-Pressigny, Bulletin de la Société Géologique Française 7, 1083-1090.

VALLERON M.M., DULAU N., POURZAHED P. 1983 - Calcitisations et opalitisations dans l'Eocène du Sud Est de la France. Comparaison avec des faciès analogues d'Alsace et de Touraine, Bulletin de la Société Géologique Française 25 (1), 11-18.

VALLERON-BLANC M.M., TRAUTH N., TRUC G. 1985 - Les calcrètes lutéciens de Laval-Saint-Roman (Gard), Géologie de la France 2, 161-174.

VAN ZUILEN M.A., CHAUSSIDON M., ROLLION-BARD C., MARTY B. 2007 - Carbonaceous cherts of the Barberton Greenstone Belt, South Africa: Isotopic, chemical and structural characteristics of individual microstructures, Geochimica Cosmochimica Acta 71, 655-669.

VENCL S. 1964 - The problem of patination of the post-palaeolithic silex industries, Anthropozoïkum Prague, Sér ie A 2, 128-130.

VIERECK A. 1964 - An examination of patina on stone tools with regard topossible dating, South African archaeological bulletin 19, 36-37.

VIGNARD E. 1933 - L'eau rémanente dans les silex paléolithiques d'Egypte, Bulletin de la Société Préhistorique Française 30 (5), 288-296.

VIGNARD E. 1957 - Patine des silex d'Égypte, Bulletin de la Société Préhistorique Française 54 (7), 380-381.

WANNESSON J. 1962 - Essai sur les propriétés géochimiques de la silice. Synthèse bibliographique critique et étude expérimentale, Thèse de 3ème Cycle, Université de Paris, p. 60.

WATTS N.L. 1977 - Pseudo-anticlines and other structures in some calcretes of Botswana and South Africa, Earth Surface Processes and Landform 2, 63-74.

WEAVER C.E., POLLARD L.D. 1973 - The chemistry of clay minerals, New York : Elsevier (Ed.), 213 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, p. 51.

WERTH F. 1992 - L'opale résinite de Saint-Pierre-Eynac (Massif central, France) : contexte géologique et intérêts pour l'étude des matières premières lithiques, Préhistoire et Anthropologie méditerranéennes, 55-59.

WERTH F. 1992 - Définition des caractères physico chimque d'une roche siliceuse , l'opale résinite de St pierre Eynac (Haute Loire , France), Bulletin de la société préhistorique française 89 (2), 34-36.

WHITE J.F., CORWIN J.F. 1961 - Synthesis and origin of chalcedony, American Mineralogist 46.

Whittle, G.L., Alsharhan, A.S., 1994. Dolomitization and chertification of the Early Eocene Rus Formation in Abu Dhabi, United Arab Emirates, Sedimentary Geology 92, 273-285.

WILSON M.J., RUSSELL J.D., TAIT J.M. 1974 - A New Interpretation of the Structure of Disordered a-Cristobalite, Contribution to Mineralogy Petrology 47, 1-6.

WINTER B.L., JOHNSON C.M., CLARK D.L. 1997 - Geochemical constraints on the formation of Late Cenozoic ferromanganese micronodules from the central Arctic Ocean, Marine geology 138, 149-169.

WISE S.W., BUIE B.F., WEAVER F.M. 1972 - Chemically precipitated sedimentary cristobalite and the origin of chert, Eclogae Geologicae Helveticae, 157-163.

WISE S.W., WEAVER F.M. 1974 - Chertification of oceanic sediments, International Association of Sedimentologists, Special Publication 1, 301-326.

ZHANG L., SUN M., WANG S., YU X. 1998 - The composition of shales from the Ordos basin, China: effects of source weathering and diagenesis, Sedimentary Geology 116, 129-141.

ZILJLSTRA H.J.P. 1987 - Early diagenetic silicon precipitation and subsequent quartz concretion growth in late cretaceous chalk of the Maastrichian type locality, In : Cahier du Quaternaire 17, Actes du Vème colloque international sur le silex, Le silex de sa genèse à l'outil, Paris : CNRS (Ed.), pp. 53-66.

Bibliographie applications archéologiques

Vincent Delvigne [1] et Paul Fernandes [1]
(1) - UMR 5199 PACEA, Université Bordeaux 1, avenue des facultés, F-33405 Talence CEDEX

..A..

AFFOLTER J. 1989 - Première approche des gîtes de silex et de leur exploitation préhistorique, Minaria Helvetica, Bulletin de la Société Suisse de l'Histoire des Mines 9, 55-60.

AFFOLTER J. 1999 - Caractérisation pétrographique et utilisation préhistorique de quelques matériaux siliceux alpins, In : Compte rendu du colloque international PAESE 97, Zurich, Prehistoric alpine environnement, society, and economy, Bonn : R. Habelt (Ed.), pp. 253-256.

AFFOLTER J., BINTZ P., BRESSY C. 1999 - a. Analyse et circulation des matières premières siliceuses au Mésolithique et au Néolithique ancien dans les Alpes du Nord, In : Programme collectif CIRCALP - 1997/1998, Circulations et identités culturelles alpines à la fin de la préhistoire : Matériaux pour une étude, Valence : Centre d'archéologie préhistorique de Valence (Ed.), pp. 175-181.

AFFOLTER J., GRÜNWALD C. 1999 - b. Approvisionnements en matières premières dans les sites mésolithiques du Vercors, In : Actes du 5 ème Congrès mondial de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, Grenoble, 18-23 septembre 1995, L'Europe des derniers chasseurs, Paris : CTHS (Ed.), pp. 603-610.

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 Bordeaux-1, p. 327.

AUBRY T., MANGADO J. 2006 - The Côa Valley (Portugal). Lithic raw material characterisation and the reconstruction of Upper Palaeolithic settlement patterns, In : Notions de territoire et de mobilité. Exemples de l'Europe et des premières nations en Amérique du Nord avant le contact européen. Actes de sessions présentées au Xe congrès annuel de l'Association Européenne des Archéologues (Lyon, 8-11 septembre 2004), Liège : Eraul 116 (ed.), pp. 41-49.

..B..

BARRAGUE J., BARRAGUE E., JARRY M. 2001 - Le silex du flysch de Montgaillard et son exploitation sur les ateliers du Paléolithique supérieur à Hibarette (Haute-Pyrénées), Paléo 13, 29-52.

BAZILE F. 2002 - Matières premières minérales et Paléolithique supérieur en Languedoc oriental : une entreprise délicate, In: Pierre et Archéologie, Perpignan, Presses universitaires (Ed.), pp. 151-176.

BAZILE F. 2009 - Les industries lithiques aux abords du Mas d'Armand, In : Contribution à l'étude du peuplement du bassin de Naussac d'après les découvertes récentes du Mas d'Armand, Lozère, des temps préhistoriques à nos jours, Mémoire n°5, Mende : Centre d'études et de recherches de Mende (Ed.), pp. 37-45.

BEECHING A., BERGER J.F., BROCHIER J.L. 1994 - Exploitation et utilisation des matières premières lithiques dans les bassins du Roubion et de Drôme : premiers constats, In : Archéologie spatiale en Vallée du Rhône ; Espaces parcourus / Territoires exploités ; Le Groupe néolithique et son territoire : Rapport d'ATP «Grands projets en archéologie métropolitaine», Valence : Centre d'Archéologie Préhistorique de Valence (Ed.), pp. 58-63.

BERNARD-GUELLE S., BRESSY C. 2001 - L'exploitation du silex au Paléolithique moyen dans le Vercors (Préalpes françaises). In : Actes du 2nd Congrès mondial de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques section 27, Tübingen, 3-5 janvier 1999, Settlement dynamics of the Middle Paleolithic and Middle Stone Age, Tübingen : Kerns Verlag (Ed.), pp. 447-462.

BERNARD-GUELLE S. 2002 - Modalités d'occupation et d'exploitation du milieu montagnard au Paléolithique moyen : l'exemple du massif du Vercors (Préalpes du nord), Bulletin de la Société Géologique Française 99 (4), 685-697.

BERNARD-GUELLE S. 2005 - Territoires et mobilité des groupes moustériens en Vercors : analyses et discussion, L'anthropologie 109, 799-814.

BERNARD-GUELLE S., BRESSY C. , ANDRÉ P. , BERNARD C. 2008 - Stratégie d'approvisionnement lithique et modalités d'occupation d'un site moustérien à Bas-Guillotte (Buis les baronnies, Drôme), Bulletin de la Société Préhistorique Française 105 (2), 245-266.

BINFORD L.R. 1979 - Organization and formation Process, Journal of Anthropological Research 35, 255-273.

BINTZ P., GRÜNWALD C. 1990 - Mésolithique et néolithisation en Chartreuse et en Vercors (Alpes du Nord) : Evolution culturelle et économie du silex, In : Contributions to the Mesolithic in Europe : papers presented at the 4ème International Symposium, The Mesolithic in Europe, Leuven, 1990, Leuven : Leuven University Press (Ed.), pp. 205-208.

BINTZ P. 2000 - Origine et circulation des matières premières siliceuses dans les Alpes du Nord : exemple de trois site du Paléolithique final, In : Table ronde de Chambéry, 12-13 mars 1999, Le Paléolithique supérieur récent : nouvelles données sur le peuplement et l'environnement, Paris : Société préhistorique française (Ed.), pp. 261-270.

BOCCACIO G. 2001 - Alluvions quaternaires et approvisionnement en matériaux de tailles pour les hommes prehistoriques : exemple de la région de Remoulins, Bulletin de la Société d'étude des sciences naturelles de Nimes 63, 112-123.

BORDES F. 1950 - Du poli particulier de certains silex taillés, L'Anthropologie 54, 161-163.

BRACCO J.P. 1995 - Déplacements des groupes humains et nature de l'occupation du sol en Velay (Massif central, France) au Paléolithique supérieur : intérêts de la détermination de l'origine des matières premières lithiques, In : L'homme méditerranéen, Aix-en-Provence, Chernokian R. (Ed.), pp. 285-292.

BRACCO J.P. 2002 - Feblot-Augustins J. (1997) - La circulation des matières premières au Paléolithique. Synthèse des données, perspectives comportementales, Bulletin de la Société Préhistorique Française 99 (3), 642-643.

BRANTINGHAM P.J. 2003 - A neutral model of stone raw material procurement, American Antiquity 68 (3), 487-509.

BRANTINGHAM P.J. 2006 - Measuring forager mobility, Current anthropology 47, 435-459.

BRESSY C. 1997 - La caractérisation géochimique du silex. Application à l'étude de l'origine du silex dans les sites archéologiques du Massif du Vercors, Mémoire de Maîtrise, Université de Grenoble, p. 105.

BRESSY C. 2002 - Caractérisation et gestion du silex des sites mésolithiques et néolithiques du Nord-Ouest de l'arc alpin. Une approche pétrographique et géochimique, Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille I, p. 677..

BRESSY C., BELLOT-GUERLET L., D'ANNA A., PELLETIER D., TRAMONT P. 2003 - Provenance et gestion des matières premières lithiques du site néolithique ancien cardial de Renaghju (Sartène, Corse-du-Sud),, In: Actes de la table ronde internationale, Aurillac, France, Juin 2002, Préhistoire du Sud-Ouest, Les matières premières lithiques en Préhistoire, pp. 71-79.

BRESSY C., POUPEAU G., BINTZ P. 2005 - Geochemical characterisation in flint sourcing. Application to the Chartreuse and Vercors massifs (Western Alps, France), Anschnitt 19, 9-17.

BRESSY C., GREGOIRE S. 2008 - Rapport de la table ronde de Lattes (Herault) du 13,14 et 15 juin 2008 : silex et territoires préhistoriques. Avancées des recherches dans le Midi de la France, 63 p.

BRESSY C., D'ANNA A., POUPEAU G., ET AL. 2008 - Chert and obsidian procurement of three Corsican sites during the 6th and the 5th milenium BC, Compte rendu Palevol 7, 237-248.

BRIOIS F. 1996 - L'exploitation du silex au Néolithique en Europe : la question minière, In : Actes du séminaire du centre d'anthropologie de Toulouse, 1996, La pierre taillée : ressources, technologies, diffusion, pp. 15-20.

BURKE A. 2006 - Paleoindian ranges in northeastern north america based on lithic raw materials sourcing, In : Notions de territoire et de mobilité. Exemples de l'Europe et des premières nations en Amérique du Nord avant le contact européen. Actes de sessions présentées au Xe congrès annuel de l'Association Européenne des Archéologues (Lyon, 8-11 septembre 2004), Liège : Eraul 116 (ed.), pp. 77-89.

..C..

CHALARD P., GUILLERMIN P., JARRY M. 2006 - Acquisition et exploitation des silex allochtones au Gravettien : l'exemple de la couche E du gisement des Fieux (Lot, France), In : Notions de territoire et de mobilité. Exemples de l'Europe et des premières nations en Amérique du Nord avant le contact européen. Actes de sessions présentées au Xe congrès annuel de l'Association Européenne des Archéologues (Lyon, 8-11 septembre 2004), Liège : Eraul 116 (ed.), pp. 29-40.

CHARLY N. 1993 - Ressources en matériaux siliceux du Cantal : un exemple d'exploitation sur le site de Cors, au Magdalénien final, Mémoire de DEA, Université Paris 1, 87 p.

CLARK J.G.D. 1995 - L'Europe Préhistorique : les fondements de son économie, Paris : Payot (Ed.), p. 491.

CONSIGNY S. 1993 - Origine des silex archéologiques du centre-sud du Bassin parisien. Etude macroscopique et géochimique, Mémoire de DEA, Université Paris-1, p. 109.

CORDIER G. 1956 - Le vrai visage du Grand Pressigny, In : Compte rendu de la XVe session, Poitiers-Angulême, 15-22 juillet 1956, du Congrès préhistorique de France, Paris : Société préhistorique française (Ed.), pp. 416-442.

..D..

DAUGAS J.P., RAYNAL J.P. 1979 - Remarques sur le milieu physique et le peuplement humain en Auvergne à la fin des temps glaciaires, In : Compte rendu du colloque international du CNRS n°271,Talence, 24-28 mai 1977, La fin des temps glaciaires en Europe, Paris : CNRS (Ed.), pp. 545-562.

DAUGAS J.P., RAYNAL J.P. 1979 - Remarques sur le milieu physique et le peuplement humain en Auvergne à la fin des temps glaciaires, In : La fin des temps glaciaires en Europe [Texte imprimé] : chronostratigraphie et écologie des cultures du Paléolithique final : Talence, 24-28 mai 1977, Paris : CNRS (Ed.), pp. 545-562.

DAUGAS J.P., RAYNAL J.P. 1989 - Quelques étapes du peuplement du Massif central français dans leur contexte paléoclimatique et paléogéographique, In : Variations des paléomilieux et peuplement préhistorique. Colloque du Comité français de l'Union internationale pour l'étude du Quaternaire (INQUA). Cahiers du Quaternaire n° 13, Paris : CNRS (Ed.), pp. 67-95.

DELLA CASA P. 2005 - Lithic ressources in the early prehistory of the Alps, Archaeometry 47, 221-234.

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 Bordeaux-1, p. 70.

DEMARS P.Y. 1980 - Les matières premières siliceuses utilisées au Paléolithique supérieur dans la bassin de Brive, Thèse de 3ème Cycle, Université Bordeaux-1, p. 173.

DEMARS P.Y. 1982 - L'utilisation du silex au Paléolithique supérieur : choix, approvisionnement, circulation : l'exemple du bassin de Brive, Paris : CNRS (Ed.), 253 p.

DEMARS P.Y. 1982 - b. L'apport de l'étude des matières premières dans la compréhension de l'outillage lithique, Studia Praehistorica Belgia 2, 99-100.

DEMARS P.Y. 1985 - a. Sur les problèmes de territoires (?) et de circulation des silex (?), Bulletin de la société linnéenne de Lyon 54 (8), 113-114.

DEMARS P.Y. 1985 - b. L'approvisionnement en matériaux lithiques au Paléolithique dans le bassin de Brive et les déplacements de populations, Revue archéologique du Centre de la France 24 (1), 9-16.

DEMARS P.Y. 1988 - L'évolution de l'approvisionnement en matière première au Magdalénien en Périgord, In : Colloque de Chancelade, 10-15 octobre 1988. Le peuplement magdalénien : paléogéographie physique et humaine, Paris : CTHS (Ed.), pp. 287-284.

DEMARS P.Y. 1989 - c. Les stratégies dans la recherche de matière première en Périgord au Paléolithique : contrainte du milieu ou choix culturel ? Un état du problème, In : Cahier du Quaternaire 13 , Variations des paléomilieux et peuplement préhistorique, Paris : CNRS (Ed.), pp. 169-177.

DEMARS P.Y. 1990 - b. L'économie du silex à Laugerie Haute (Dordogne), In : Acte du Vème colloque international sur le silex , Le silex de sa genèse à l'outil, Cahier du Quaternaire n° 17, Paris : CNRS (Ed.), pp. 373-383.

DEMARS P.Y. 1994 - L'économie du silex au Paléolithique supérieur dans le Nord de l'Aquitaine, Thèse de doctorat, Université Bordeaux-1, p. 278.

DEMARS P.Y. 1998 - a. Circulation des silex dans le Nord de l'Aquitaine au Paléolithique supérieur. L'occupation de l'espace par les derniers chasseurs cueilleurs., Gallia Préhistoire 40, 1-28.

DEMARS P.Y. 1998 - b. La circulation du silex au Paleolithique supérieur dans le Nord de l'Aquitaine, Bulletin de la société scientifique, historique et archéologique de la Corrèze 120, 121-131.

DEMARS P.Y. 2004 - Les gîtes de silex de la région de Jonzac, Le site paléolithique de Chez Pinaud à Jonzac, Charente Maritime. Premiers résultats, études sur la coupe gauche, Cressensac : Association Préhistoire du sud-ouest n°8 (Ed.), pp. 17-20.

DEPAEPE P. 2002 - Le paléolithique moyen de la vallée de la Vanne (Yonne, France) : matières premières, industries lithiques et occupations humaines, Thèse de doctorat, Université de Lilles 1, p. 298.

DESLOGES J. 1986 - Fouilles de mine à silex sur le site néolithique de Bretteville-le-Rabet (Calvados), Revue archéologique de l'Ouest, Supplément 1, 73-101.

Detrey, J., 2003. Un exemple de gestion des matières premières au Campaniforme : l'industrie lithique du site d'Alle, Noir Bois (Jura suisse), Bulletin de la Société Préhistorique Française 100 (2), 393-405.

DJINDJIAN F. 2005 - Approvisionnement en matières premières dans le Paléolithique supérieur d'Europe occidentale : Méthodes et résultats, Archeometriai Muhely 4, 1-16.

DUFRESNE N. 1999 - La discrimination des silex tertiaires auvergnats : étude géologique et application archéologique (Magdalénien), Mémoire de DESS, Université de Bourgogne, p. 87.

..E - F..

EVANS A.A., WOLFRAMM Y.B., DONAHUE R.E., LOVIS W.A. 2007 - A pilot study of ''black chert'' sourcing and implications for assessing hunter-gatherer mobility strategies in Northern England, Journal of Archaeological Science 34, 2161-2169.

FEBLOT-AUGUSTINS J., PERLÈS C. 1992 - Perspectives ethnoarchéologiques sur les échanges à longue distance, In : XIIème Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Juan les pins, Ethnoarchéologie : justification , problèmes, limites, pp. 195-209.

FEBLOT-AUGUSTINS J. 1993 - Mobility strategies in the late middle paleolithic of central Europe and Western Europe : element, Journal of anthropological archaeology 12, 211-265.

FEBLOT-AUGUSTINS J. 1997 - a. La circulation des matières premières au Paléolithique. Tome 1, Liège : Eraul (Ed.), 275 p.

FEBLOT-AUGUSTINS J. 1997 - b. La circulation des matières premières au Paléolithique. Tome 2, Liège : Eraul (Ed.), 247 p.

FEBLOT-AUGUSTINS J. 1997 - c. La circulation des matières premières au Paléolithique : synthèse des données perspectives comportementales, Liège : Service de préhistoire, Université de Liège (Ed.), 239 p.

FEBLOT-AUGUSTINS J. 2002 - Exploitation des matières premières et mobilités dans le Burgey (Ain) : un aperçu diachronique du Magdalénien moyen au Neolithique ancien, In : Acte de la table ronde de Lyon, 8-9 décembre 2000, Les industries lithiques taillées holocènes du Bassin rhodanien : problèmes et actualités, Lyon : Monique Mergoil (Ed.), pp. 13-27.

FERNANDES P., MONCEL M.H. 2004 - Espace parcouru et espace d'approvisionnement d'après l'étude des matières premières siliceuses (hors roches tenaces), du niveau Gb du site de Payre (Paléolithique moyen, OIS 7, Ardèche, France), In : Actes du Colloque les 22, 23, 24 octobre 2004, CDDP de Haute-Loire et Musée Crozatier, 1904-2004: un siècle de Préhistoire et de Protohistoire dans le Massif central : Bilan et Perspective, 25-32.

FERNANDES P., FRÖLICH F., LE BOURDONNEC F.X. 2005 - La matière première siliceuse de l'industrie lithique moustérienne du Sud du Massif central. Vers une caractérisation pétroarchéologique, In : Archéométrie, Compte rendu du colloque du Groupe de Méthodes Pluridisciplinaires Contribuant à l'Archéologie, Saclay, 19-23 avril 2005.

FERNANDES P., RAYNAL J.P. 2006 - Economie du silex au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : premiers résultats après l'étude de deux sites stratifiés de Haute-Loire. In : Hommage en l'honneur d'Alphonse Vinatié, Revue de la Haute-Auvergne 68 (2), 361-370.

FERNANDES P., RAYNAL J.P., MONCEL M.H. 2006 - L'espace minéral au Paléolithique moyen dans le Sud du Massif central : premiers résultats pétroarchéologiques, Compte rendu Palevol 5, 981-993.

FERNANDES P., RAYNAL J.P., MONCEL M.H. 2008 - Middle Palaeolithic raw material gathering territories and human mobility in the southern Massif Central, France: first results from a petro-archaeological study on flint, Journal of Archaeological Science 35, 2357-2370.

FILLION J.P., FEBLOT AUGUSTINS J., SANTALLIER D. 2000 - Etude du matériel néolithique dans la région de Bellegarde (Ain) Matériaux et techniques de debitage du silex sur un site d'approvisionnement du Neolithique final à Villes et Ochiaz (commune de Châtillon en Michaille-Ain), Revue d'Archéométrie 24, 129-147.

FONTANA L., DIGAN M., AUBRY T., LLACH J.M. 2009 - Exploitation des ressources et territoire dans la Massif central français au Paléolithique supérieur : approche méthodologique et hypothèses, Proceeding of the XV world congress of UISPP (Lisbon, 4-9 september 2006) Le concept de territoires dans la Paléolithqiue supérieur européen, Oxford : BAR serie international (Ed.), pp. 201-215.

..G..

GAILLARD C.L. 1983 - Matières premières de l'industrie lithique de la grotte de Coupe-Gorge à Montmorin (Haute-Garonne), Bulletin de la Société Préhistorique Française 80 (2), 57-64.

GARDEZ H. 1933 - Etude sur la concurrence des silex de Spiennes (Belgique), à ceux du Grand-Pressigny (Indre-et-Loire), dans le Nord du Département de l'Aisne, et sépulture dolménique de Flavigny-le-Petit, Bulletin de la Société Préhistorique Française 30 (4), 270-272.

GENESTE J.M. 1985 - Analyse lithique d'industries moustériennes du Périgord : une approche technologique du comportement des groupes humains au Paléolithique moyen, Thèse de 3ème Cycle, Université Bordeaux-1, p. 567.

GENESTE J.M. 1988 - Systèmes d'approvisionnement en matières premières au Paléolithique moyen et au Paléolithique supérieur en Aquitaine, In : Actes du colloque international de Liège, 4-7 décembre 1986, L'homme de Neandertal, la mutation pp. 61-70.

GENESTE J.M., RIGAUD J.P. 1989 - Matières premières lithiques et occupation de l'espace In : Cahier du Quaternaire 13, Colloque du Comité français de l'Union internationale pour l'étude du Quaternaire, Variations des paléomilieux et peuplements préhistoriques, Paris : CNRS (Ed.), pp. 205-218.

GERVAIS P. 2001 - Les silex géologiques du Turonien de Touraine, caractérisation pétrologique et géochimique. Comparaison avec des artefacts auvergnats, Mémoire de Maîtrise, Université de Clermont-Ferrand, p. 28.

GRÉGOIRE S., BAZILE F. 2005 - La diffusion du Silex des costières du Gard au Paléolithique supérieur, Compte rendu Palevol 4, 413-419.

GRÉGOIRE S. 2000 - Origine des matières premières des industries lithiques du Paléolithique pyrénéen et méditerranéen : contribution à la connaissance des aires de circulations humaines, Thèse de doctorat, Université de Perpignan, p. 246 p.

GRÉGOIRE S. 2003 - Origine des matières premières des industries magdaléniennes de la grotte des Conques, In : Baills, H., Moigne, A.M, Grégoire, S., La grotte des Conques à Vingrau (Pyrénées-Orientales), des chasseurs et leur territoire, Liège : Eraul (Ed.).

GRÉGOIRE S., BARSKY D., BYRNE L. 2006 - The Caune de l'Arago (Tautavel, France) : An example of Middle Pleistocene flint exploitation, Der Anschnitt 19, 99-113.

GREISER S.T., SHEETS P.D 1979 - Raw material as a functional Variable in Use Wear studies, In : Lithics use wear analysis, New York : Academic Press (Ed.), pp. 289-299.

..H - I - J - K..

HAVERKORT C.M., WEBER A., KATZENBERG M.A, GORIUNOVA O.I., SIMONETTI A., CREASER R.A. 2008 - Hunter-gatherer mobility strategies and resource use based on strontium isotope (87Sr/86Sr) analysis: a case study from Middle Holocene Lake Baikal, Siberia, Journal of Archaeological Science 35, 1265-1280.

IRRIBARIA R. 1991 - Premiers repérages d'une minière d'extraction d'opalite-silexite (silex tertiaire) en Loir et Cher, commune de Suèvres et de Mer, In : Acte de la table ronde de Vesoul, 18-19 octobre 1991, CTHS, Les mines de silex au Néolithique en Europe, pp. 83-88.

KOWALSKI S., KOZLOWSKI J.K. 1959 - De l'emploi du jaspe à lépoque épipaléolithique en Pologne du Sud, Folia Quaternary 1, 1-12.

KUHN S.L. 2004 - Upper Paleolithic raw material economies at Uçagizli cave, Turkey, Journal of Anthropological Archaeology 23, 431-448.

..L..

LANGLAIS M., SACCHI D. 2006 - Notes sur les matières premières siliceuses exploitées par les Magdaléniens de la Grotte Gazel (Aude, France), In : Notions de territoire et de mobilité. Exemples de l'Europe et des premières nations en Amérique du Nord avant le contact européen. Actes de sessions présentées au Xe congrès annuel de l'Association Européenne des Archéologues (Lyon, 8-11 septembre 2004), Liège : Eraul 116 (ed.), pp. 71-75.

LEBRUN-RICALENS F., SÉRONIE-VIVIEN M.R. 2004 - Présence d'un silex d'origine nord-pyrénéenne (Chalosse ?), en Haut-Quercy dans l'Aurignacien du Piage (Lot, France) et implications, Paleo 16, 129-136.

LECH J. 1975 - Neolithic flint mine and workshops at Saspow, near Cracow, 70-71.

..M..

MASSON A. 1983 - Les territoires et la circulation des silex au Paléolithique supérieur, Bulletin mensuel de la société linnéenne de Lyon 7, 207-219.

MASSON A. 1985 - Les silex utilisés par les Néolithiques de Chalain et Clairvaux, Présentation des collections du musée Lous-le -Saunier 1, 173-175.

MASSON A., PININGRE J.F. 1985 - Provenance de la matière première : les armatures de flèche, Présentation des collections du musée Lous-le -Saunier 1, 169-171.

MASSON A. 1986 - Nouvelles contributions aux études pressigniennes, Revue archéologique de l'Ouest Supplément 1, 11-120.

MATISKAINEN H., VUORINIEN A., BURMAN O. 1989 - The provenance of prehistoric flint in Finland, Archaeometry: proceedings of the 25th international symposium, 625-643.

MAUGER M. 1985 - Les matériaux siliceux utilisés au paléolithique supérieur en Ile-de-France, Thèse de doctorat, Université Paris-1, p. 406.

MC BRYDE I. 1979 - Petrology and Prehistory : lithic evidence for exploitation of stone ressources and exchange system in Australia, In : Stone axe Studies , Londres : T.H. Mc Clough & W.A. Cummins (Ed.), pp. 113-126.

MEIGNEN L., COSTAMAGNO S., BEAUVAL C., BOURGUIGNON L., VANDERMEERSCH B., MAUREILLE B. 2006 - Gestion des ressources lithiques au Paléolithique moyen dans une halte de chasse spécialisée sur le renne : Les Pradelles (Marillac le Franc , Charente), In : Acte du XV congrès mondial de l'UISPP (Lisbonne, 4-9 Septembre 2006), Aire d'approvisionnement en matières premières et aires d'approvisionnement en ressources alimentaires. Approche intégrée des comportements. pp. 127-139.

MEROC L. 1943-1944 - Le silex dans le bassin sous-pyrénéen de la Garonne et son emploi par l'homme préhistorique, Bulletin de la Société archéologique du Midi 5, 234-254.

MILLER A., BARTON C.M. 2008 - Exploring the land: a comparison of land-use patterns in the Middle and Upper Paleolithic of the western Mediterranean, Journal of Archaeological Science 35, 1427-1437.

MONCEL M.H. 2003 - L'exploitation de l'espace et la mobilité des groupes humains au travers des assemblages lithiques à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur : la moyenne vallée du Rhône entre Drôme et Ardèche (France), BAR Series Internationales (Ed.), 179 p.

MORALA A., TURQ A. 1990 - Les stratégies d'exploitation du milieu minéral, du Riss à l'Holocène, en Haut-Agenais (Sud-Ouest de la France), In : Cahier du Quaternaire 17, Actes du Vème colloque international sur le silex, Le silex de sa genèse à l'outil, Paris : CNRS (Ed.), pp. 405-414.

..N - O - P..

NAVAZO M., COLINA A., DOMINGUEZ-BELL S., BENITO-CALVO A. 2008 - Raw stone material supply for upper pleistocene settlements in Sierra de Atapuerca (Burgo, Spain) : flint characterization using petrogrpahic and gochimical techniques., Journal of Archeological Science 35, 1961-1973.

NERUDA P. 2001- Le Taubachien de la grotte de Kulna (couche 11) et l'exploitation des matières premières, In : Préhistoire et approche expérimentale, Montagnac : M. Mergoil (Ed.), pp. 349-362.

NOCETE F., SAEZ R., NIETO J.M., CRUZ-AUNON R., CABRERO R., ALEX E., BAYONA M.R. 2005 - Circulation of silicified oolitic limestone blades in South-Iberia (Spain and Portugal) during the third millennium B.C.: an expression of a core/periphery framework, Journal of anthropological archaeology 24, 62-81.

OTTIVIANI J.C., MAGDELEINE J., COSTA L.J., PAOLINI-SANCHEZ H., OTTAVIANI-SPELLA M.M., BERLINGHI A. 2002 - Analyses de provenance des matériaux exploités à Strette (Barbaghju, Haute-Corse) : approche du fonctionnement du site au Néolithique ancien, Bulletin de la Société Préhistorique Française 99 (4), 765-774.

PASTY J.F., VANDE WALLE-PASTY H., ALIX P. 2008 - Modalité d'exploitation d'un banc de silex tertiaire durant l'épipaléolithique et le mésolithique : l'exemple des gisements du domaine du brisson et de la Maladière (La Pacaudière, Loire), Bulletin de la société préhistorique française 105 (1), 29-54.

PORRAZ G., PERESANI M. 2006 - Occupation du territoire et exploitation des matières premières lithiques: présentation et discussion sur la mobilité des groupes humains au Paléolithique Moyen dans le Nord-Est de l'Italie, In : Notions de territoire et de mobilité. Exemples de l'Europe et des premières nations en Amérique du Nord avant le contact européen. Actes de sessions présentées au Xe congrès annuel de l'Association Européenne des Archéologues (Lyon, 8-11 septembre 2004), Liège, Eraul 116 (Ed.), pp. 11-21.

PRIMAULT J. 2003 - Exploitation et diffusion des silex de la région du Grand-Pressigny au Paléolithique, Thèse de doctorat, Université Paris X, p. 362.

..R..

RANKINE W.F. 1951 - Artifacts of Portland chert in southern england, Proceeding of Prehistoric Society of Cambridge 4, 123-127.

RAYNAL J.P., DAUGAS J.P. 1989 - Gestion de l'espace régional au Magdalenien dans le Massif central français, La Recherche, 690-691.

RAYNAL J.P., 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 : Le peuplement magdalénien. Paléogéographie physique et humaine. Actes du colloque de Chancelade, Paris : CTHS (Ed.), pp. 111-120.

RAYNAL J.P., FERNANDES P., SANTAGATA C., GUADELLI J.L., MONCEL M.H., PATOU-MATHIS M., FERNANDEZ P., FIORE I. 2007 - Espace minéral et espace de subsistance au Paléolithique moyen dans le sud du Massif central en France : les sites de Sainte-Anne 1 (Haute-Loire) et Payre (Ardèche), In : Actes du 15 ème Congrès mondial de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, Lisbonne, 4 septembre 2006, Oxford : Archaeopress (Ed.), pp. 141-159.

RICHE C. 1998 - Les ateliers de silex de Vassieux. Exploitation des gîtes et diffusion des produits., Thèse de 3ème Cycle, Université Paris-10, p. 476 p.

RICHE C. 1999 - La diffusion des silex dits «blonds» , du Grand Pressigny et des silex rubanés : inventaire dans les séries archéologiques de la vallée du Rhône, du Vercors et de Savoie, In : Programme collectif CIRCALP - 1997/1998, Circulations et identités culturelles alpines à la fin de la préhistoire : Matériaux pour une étude, Valence : Centre d'archéologie préhistorique de Valence (Ed.), pp. 175-181.

RICHE C. 2001 - Une nouvelle découverte sur la diffusion de la production «pressignienne» des ateliers de Vassieux-en-Vercors, Bulletin du Centre de Recherches Préhistoriques du Vercors 17, 24.

ROSENFELD A. 1965 - The inorganic raw materials of Antiquity, Londres : Weidenfeld & Nicolson (Ed.), 245 p.

..S..

SERONIE-VIVIEN M., SERONIE-VIVIEN M.R., FOUCHER P. 2007 - L'économie du silex au Paléolithique supérieur dans le bassin d'Aquitaine. Le cas des silex à lépidorbitoïdes des Pyrénées centrales. Caractérisation et implications méthodologiques, Paleo 18, 193-215.

SERONIE-VIVIEN M.R. 2009 - Répartition géographique des différents types de silex à lépidorbitoïdes utilisés au Paléolithique supérieur en Aquitaine. Première contribution : Dordogne (Caminade), Lot (Le Piage - Pégourié - Cloup de l'Aze), Gironde (Beauregard) Bulletin de la Société Préhistorique Française 106 (2), 293-296.

SÉRONIE-VIVIEN M.R., BENOIST F. 1995 - La grotte de Pégourié, Caniac-du-Causse (Lot), Préhistoire Quercinoise, Supplément 2, 297-303.

SIEVEKING G., CRADDOCK P.T., HUGUES M.T. 1970 - Caracterisation of prehistoric flint mine products, Nature 228, 251-254.

SIEVEKING G., BUSH P., FERGUSSON J., CRADDOCK P.T., HUGHES M.J., COWELL M.R. 1972 - Prehistoric flint mines and their identification as sources of raw material, Archaeometry 14 (2), 151-176.

SLIMAK L., BRESSY C., GUENDON J.L., ET AL. 2005 - Exploitation paléolithique de silex oligocènes en Haute provence (France). Caractérisaton des matières premières et processus d'acquisition., Compte rendu Palevol 4, 359-367.

SLIMAK L., GIRAUD Y. 2007 - Circulations sur plusieurs centaines de kilomètres durant le Paléolithique moyen. Contribution à la connaissance des sociétés néandertaliennes., Compte rendu Palevol 6, 359-368.

SLIMAK L. 2008 - Circulations des matériaux très exotiques au Paléolithique moyen, une notion de détail., Bulletin de la société préhistorique francaise 105 (2), 267-281.

SURMELY F. 1998 - Le peuplement de la moyenne montagne auvergnate, des origines à la fin du Mésolithique. , Thèse de doctorat, Université Bordeaux-1, p. 239.

SURMELY F., BARRIER P., BRACCO J.P., CHARLY N., LIABEUF R. 1998 - Caractérisation des matières premières siliceuses par l'étude des microfaciès et application à la connaissance du peuplement préhistorique de l'Auvergne, Compte rendu de l'Académie des Sciences 326, 595-601.

SURMELY F., LIÉGARD S., FOURVEL A., ALIX P. 2002 - Contribution à l'étude de la circulation sur de longue distances des matières premières lithiques au Paléolithique. Les nucléus mis en forme découverts le long de la vallée de la Loire (département de l'Allier, de la Saône et Loire et de la Loire), Paléo 14, 265-274.

SURMELY F., PASTY J.F. 2003 - L'importation de silex en Auvergne durant la Préhistoire, In : Actes de la Table ronde internationale d'Aurillac « les matières premières lithiques en préhistoire ». Préhistoire du Sud-Ouest, supplément n°5, pp. 327-342.

SURMELY F. 2006 - La diffusion des silex crétacés dans le Massif central durant la Préhistoire, Rapport d'opération de prospection thématique annuelle, 21 p.

..T à Z..

TAVOSO A. 1978 - Reflexion sur l'économie des matières premières au Moustérien, Bulletin de la Société Préhistorique Française 81 (3), 79-82.

THIÉBAUT C., MOURRE V., TURQ, A. 2009 - Diversité des matériaux et diversité des schémas de production au sein de l'industrie mousterienne de la couche K des Fieux, Bulletin de la Société Préhistorique Française 106 (2), 239-256.

TORTI C. 1980 - Recherches sur l'implantation humaine en Limagne au Paléolithique moyen et supérieur, Thèse de 3ème Cycle, Université Bordeaux-1, p. 270.

TORTI-ZANNOLI C. 1983 - Contribution à l'étude paléogéographique du Massif central au Paléolithique moyen, Bulletin de la Société Préhistorique Française 80 (10-12), 300-307.

TORTI-ZANNOLI C. 1983 - Quelques données sur les sources et l'utilisation des matières premières dans le Massif central, Bulletin de la Société Préhistorique Française 80 (8), 226-227.

TORTI-ZANNOLI C. 1985 - Les matières premières lithiques du Magdalénien ancien et terminal de la grotte du Rond du Barry (Haute Loire) Revue archéologique du Centre de la France 24 (2), 135-143.

TURQ A. 1990 - Exploitation des matières premières lithiques dans le Moustérien entre Dordogne et Lot, In : Cahier du Quaternaire 17, Actes du Vème colloque international sur le silex, Le silex de sa génèse à l'outil, Paris : CNRS (Ed.), pp. 415-427.

TURQ A., ANTIGNAC G., ROUSSEL P. 1999 - Les silicifications coniaciennes du Sarladais et du Gourdonnais : inventaire et implications archéologiques, Paléo 11, 145-160.

TURQ A. 2005 - Réflexions méthodologiques sur les études de matières premières lithiques . 1 Des lithothèques au matériel archéologique, Paléo 17, 11-132.

VALDEYRON N. 2001 - Territoires, déplacements, mobilité, échanges, Terres et Hommes du Sud, 126e Congrès des Sociétés historiques et scientifiques, Toulouse, 9-14 avril 2001, Bulletin de la Société Préhistorique Française 98 (4), 745-745.

WATTÉ J.P. 1986 - Les sources d'approvisionnement en silex des néolithiques cauchois, Revue archéologique de l'Ouest, Supplément 1, 103-110.

Annexe 3 :
Prospection en Rhône-Alpes
J. Affolter - 2010

Dépt	GPS N°	Roche	Commune/Lieu-dit	coord. GPS LII étendu			coord. GPS d.ddddd	
				Est	Nord	z	Lat = N	Long = E
I	F1001	Mét	Villair/ Trou des Romains 1	II 962362	100794	1651	45,81	007.00162
I	F1002	Mét	Villair/ Trou des Romains 2	II 962234	100506	1651	45,81	006.99975
I	F1003		La Thuile/ Col Petit St Bernard 1	II 953845	085805	2181	45,68	006.88108
I	F1004		La Thuile/ Col Petit St Bernard 2	II 953494	084863	2150	45,67	006.87589
I	F1005	PV	La Thuile/ Testa de l'Asino	II 955561	088075	2049	45,7	006.90477
73	F1006		Crêt Bettex	II 943887	084431	1482	45.67330	006.75250
73	F1007	Qzt	Les Chappieux 1	II 942882	085300	1531	45.68162	006.74025
73	F1008	(S)	Les Chappieux 2	II 942430	085762	1551	45.68600	006.73479
73	F1009		Crêt Baudin- mine	II 942207	086558	1621	45.69326	006.73250
73	F1010		Ruisseau des Prints 1	II 940990	086798	1808	45.69603	006.71707
73	F1011	(S)	Ruisseau des Prints 2	II 940902	086803	1832	45.69612	006.71595
73	F1012	Qz	montée La Petite Berge 1	II 936024	085080	2068	45.68306	006.65221
73	F1013		montée La Petite Berge 2	II 936526	085171	1999	45.68364	006.65870
73	F1014	(S)	Plan de la Lai- torrent des Giffres	II 937590	086493	1806	45.69498	006.67327
73	F1015	S	chemin de Gitamelon 1	II 923930	049643	1520	45.37057	006.47328
73	F1016	Qzt	ruisseau de la Chaudaine	II 923785	047203	1666	45.34871	006.46979
73	F1017	CaS	Sous le Rocher Roux	II 923603	047669	1675	45.35299	006.46778
73	F1018	CaS	Courchevel/ ruau d'Ariondaz	II 937139	052780	1821	45.39237	006.64379
73	F1019	CaS	ruau Groud Pralin	II 937354	054614	1632	45.40873	006.64782
73	F1020	Qz	Col de la Madeleine	II 916903	056189	2081	45.43266	006.38802
73	F1021		St Etienne de Cuines/ ruau Nantet	II 908268	044643	857	45.33287	006.27045
73	F1022	Qzt	St Martin/ usine électrique	II 922728	033275	711	45.22409	006.44704
73	F1023	Qzt	ravin des Moulins 1	II 919728	039829	981	45.28437	006.41322

Dépt	GPS N°	Roche	Commune/Lieu-dit	coord. GPS LII étendu			coord. GPS d.ddddd	
				Est	Nord	z	Lat = N	Long = E
73	F1024	(S)	ravin des Moulins 2	II 920361	039582	1422	45.28186	006.42112
73	F1025		ravin des Moulins 3, maison ONF	II 920842	040989	1600	45.29427	006.42817
73	F1026		Plan de Cuir	II 919961	040833	1637	45.29328	006.41685
73	F1027	Qzt	sous Plan de Cuir	II 920137	040628	1903	45.29136	006.41895
	F1028		La Coche/ Cimetière	II 904113	062303	888	45.49341	006.22866
74	F1029	CaS	Marlens/ l'Oratoire	II 912593	093142	465	45.76667	006.35715
74	F1030		Ombre dessus/ vers l'Arpettaz 1	II 912459	092156	741	45.75787	006.35478
74	F1031		Ombre dessus/ vers l'Arpettaz 2	II 912701	091877	920	45.75525	006.35770
74	F1032		Serraval/ ancienne carrière	II 910898	096825	730	45.80054	006.33780
74	F1033	(S)	Le Petit Bornand/ vers Plan du Loup	II 909931	114075	1530	45.95597	006.33667
74	F1034	(S)	Le Petit Bornand/ Col du Plan du Loup	II 910948	114240	1795	45.95699	006.34987
74	F1035		Le Petit Bornand/ Chalets des Auges	II 911798	114628	1759	45.96008	006.36108
74	F1036	Gr	Le Petit Bornand/ Sous La Revoue 1	II 912769	116711	1139	45.97835	006.37497
74	F1037	(S)	Le Petit Bornand/ Sous La Revoue 2	II 912800	116786	1119	45.97901	006.37541
74	F1038		Puze/ route du Paradis	II 916395	119203	1089	45.99906	006.42337
74	F1039	CaS	Torrent du Flan	II 909410	120393	1283	46.01298	006.33410
74	F1040	(S)		II 909853	120345	1433	46.01235	006.33977
74	F1041			II 910061	120585	1550	46.01441	006.34262
74	F1042		Disonge/ ruisseau	II 900251	113715	762	45.95710	006.21173
74	F1043		Saint-Clair	II 900030	108758	726	45.91266	006.20573
74	F1044		Glandon	II 900297	107932	642	45.90511	006.20865
74	F1045	CaS	La Blonnière	II 901750	111648	1028	45.93786	006.22973

S : silex (S): pas utilisable **Qz :** quartz **Qzt :** quartzite **PV :** roches vertes **Mét :** roches siliceuses métamorphiques **CaS :** calcaire siliceux **Gr :** grès

Annexe 4 : Questionnaire : Démarche collaborative

Présenter un questionnaire sur la démarche collaborative à mettre en place

Les réponses à ce questionnaire devraient permettre d'adapter les objectifs des groupes de travail aux demandes des acteurs de la discipline.

1. Quel protocole de caractérisation utilisez-vous ?

……..

2. Rencontrez-vous des difficultés lorsque vous déterminer des silex et si oui lesquelles?

……..

3. Avez-vous besoin d'informations sur la nature des différentes silicifications, si oui lesquelles ?

……..

4. Avez-vous besoin d'informations sur l'évolution des surfaces et de la texture des silex ?

……..

5. Estimez-vous que la pétroarchéologie soit une discipline suffisamment structurée ?

……..

6. Pensez-vous que les données gîtologiques et les informations pétrographiques accumulées à ce jour sont suffisamment mises en valeur ?

……..

7. Qu'attendez-vous d'un programme collectif de recherche dont l'objectif principal est l'harmonisation des méthodes de caractérisation ?

……..

8. Seriez-vous prêt à participer à un groupe de travail, si oui lequel et dans quelle mesure ?

……..

9. Accepteriez-vous de partager des informations avec des chercheurs d'une autre région, si oui dans quelles conditions ?

……..

10. Voulez-vous harmoniser le mode de recensement des gîtes ?

……..

11. A quels objectifs doit répondre une base de données sur les matières premières ?

……..

12. Comment envisagez-vous la mise en ligne de données sur les gîtes à une échelle suprarégionale?

……..

13. Désirez-vous utiliser une seule ou plusieurs plate-forme(s) extranet, pour héberger ces données ? Sachant que ce ou ces plates-formes conçues comme des espaces collaboratifs permettront aux acteurs du projet d'alimenter et de partager des données textes et images.

……..

Vous recevrez ce questionnaire par courrier dans les plus brefs délais. En attendant vos réponses, je vous remercie pour votre participation.