

XXIII^e COLLOQUE DU GMPCA ARCHÉOMÉTRIE

Chambéry, 2-6 Mai 2022
Le Manège - Centre de congrès



© Andréa Julien



XXIII^e COLLOQUE DU GMPCA
ARCHÉOMÉTRIE 2022

2-6 mai 2022
Chambéry, France

COMITÉ SCIENTIFIQUE du GMPCA 2022

Pierre Bordet - Chercheur CNRS, Institut Néel, Univ. Grenoble Alpes
Carine Calastrenc - Ingénieure de Recherche CNRS, TRACES/FRAMESPA, Univ. Toulouse Jean-Jaurès
Claire Chanteraud - Docteure, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc / MURR, USA
Emilie Chalmin - Enseignante-Chercheuse, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc
Marine Cotte - Chercheuse ESRF, Grenoble
Laurence De Viguierie - Chercheuse, LAMS, Sorbonnes Universités
Catherine Dejoie - Scientifique de ligne ESRF, Grenoble
Karine Froment - Directrice du GIP, Arc Nucléart
Diego Garate - Enseignant-Chercheur, Université de Cantabrie, Espagne
Charline Giguët-Covex - Chercheuse CNRS, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc
Christophe Griggo - Enseignant-Chercheur, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc
Jean-Jacques Delannoy - Enseignant-Chercheur, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc
Micheline Draye - Enseignante-Chercheuse, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc
Stéphane Jaillet - Ingénieur de Recherche CNRS, EDYTEM, Univ. Savoie Mont-Blanc
Philippe Lanos - Chercheur, IRAMAT-CRP2A, Univ. Rennes
Murielle Leroy - Inspection des patrimoines, Ministère de la culture, UMR 6249 Chrono-environnement
François Lévêque - Enseignant-Chercheur, ESTRAN, Université de La Rochelle
Lucie Martin - Univ. de Genève/EDYTEM, Suisse
Pauline Martinetto - Enseignante-Chercheuse, Institut Néel, Univ. Grenoble Alpes
Vivien Mathé - Enseignant-Chercheur, LIENs, Univ. La Rochelle
Erwan Messager - Chercheur CNRS, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc
Ariane Pinto - Post-doctorante Arc Nucléart, Institut Néel, Univ. Grenoble Alpes
Anita Quiles - Institut Français d'Archéologie Orientale, Le Caire, Egypte
Philippe Raffaelli - Conservateur en chef du patrimoine, Service conservation départementale du patrimoine, Chambéry
Laurence Rivièrre - Enseignante-Chercheuse, LUHCIE, Univ. Grenoble Alpes
Magali Rossi - Enseignante-Chercheuse, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc
Marie-Claire Savin - Docteure, IRAMAP-CRP2A, Univ. Bordeaux Montaigne
Hélène Salomon - Chercheuse CNRS, EDYTEM, Univ. Savoie Mont Blanc
Philippe Sciau - Chercheur CNRS, CEMES, Toulouse
Kevin Walsh - Enseignant-Chercheur, Université de York, Angleterre
Patricia Wils - Ingénieure de Recherche, MNHN, UMS 2700 2AD, CNRS/MNHN

COMITÉ D'ORGANISATION du GMPCA 2022

Bordet Pierre - *Institut Néel UGA/CNRS*
Carré Christine - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Chalmin Emilie - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Chanteraud Claire - *EDYTEM, USMB/CNRS - MURR*
Chassin de Kergommeaux Aurélie - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Chatel Grégory - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Dejoie Catherine - *ESRF, Grenoble*
Draye Micheline - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Jaillet Stéphane - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Jean-Jacques Delannoy - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Julien Andréa - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Martinetto Pauline - *Institut Néel UGA/CNRS*
Maury Christine - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Messager Erwan - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Piot Christine - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Riviere Laurence - *LUHCIE, UGA*
Rossi Magali - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Saint-Raymond Charlotte - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Salomon Hélène - *EDYTEM, USMB/CNRS*
Sardelli Giorgia - *EDYTEM, USMB/CNRS - Univ. degli Studi di Ferrara*

Projet et Réalisation Graphique : Giorgia Sardelli

Couverture : Andréa Julien (dessin), Charlotte Saint-Raymond (coordination)

XXIIIe Colloque du GMPCA Archéométrie 2022

2-6 mai 2022 Chambéry (France)

PROGRAMME DÉTAILLÉ



LUNDI 02 MAI

	9h30 - 11h00	ACCUEIL
	11h00 - 11h15	OUVERTURE DU COLLOQUE Mareva Sabatier - Vice-présidente Recherche USMB Yves Perrette - Directeur du Laboratoire EDYTEM Ludovic Bellot-Gurlet - Président du GMPCA
	11h15 - 12h20	COMMUNICATION SCIENTIFIQUE Apports de l'approche intégrée dans la définition des accès, aménagements, exploitations et usages du milieu souterrain. La grotte de Cloogs cave en territoire Gunaikurnai (Australie) JEAN-JACQUES DELANNOY et al.
	12h20 - 14h00	DÉJEUNER

THÈME 1 - DÉFINIR LES VALEURS DES INTERACTIONS. LES INTERACTIONS SOCIÉTÉS/ENVIRONNEMENT

	14h00 - 17h20	SESSION 1A
--	---------------	------------

SESSION 1A

CHAÎNE OPÉRATOIRE DES RESSOURCES MINÉRALES, ANIMALES ET VÉGÉTALES

Magali Rossi, Hélène Salomon, Christophe Griggo

- 14h00 Les roches rouges et jaunes riches en fer du bassin versant de l'Yonne – Implications pour les études de provenance sur les sites de Pincevent (La Grande-Paroisse), de la grotte du Renne (Arcy-sur-Cure) et du Mont Saint-Aubin (Oisy)
CHASSIN DE KERGOMMEAUX et al.
- 14h15 Approvisionnement et traitement des matières colorantes jaunes et rouges riches en fer au Paléolithique supérieur : l'étude de cas de Riparo Tagliente (NE, Italie)
SARDELLI et al.

- 14h30 Rock Art and Ochre Pigment Materiality at Babine Lake, British Columbia
MACDONALD et al.
- 14h45 L'industrie du fer dans la moitié orientale des Pyrénées (du Canigou au Couserans) de l'Antiquité au XVIIe s. : le programme FEDER FER-MAPYR
PAGES et al.
- 15h00 Contribution des analyses géochimiques et géomécaniques dans l'identification de la matière première argileuse utilisée par les tuiliers de Barbery (Calvados) au Moyen Âge et à l'époque moderne
BOCQUET-LIÉNARD et al.
- 15h15 L'usage du charbon de terre dans le Nord de la France jusqu'à l'époque moderne
JAGOU et al.
- 15h30 Chaîne opératoire d'acquisition et d'exploitation de la marmotte au Tardiglaciaire dans le Vercors
GRIGGO et al.
- 15h45 Medieval Softstone Quarries in Northern Madagascar: The Bobalila Case Study
NITSCHÉ et al.



16h00 - 16h20

PAUSE CAFÉ

16h20 **POSTERS - SESSION 1A**

Approvisionnement en kaolin pyrénéen par la manufacture bordelaise Johnston-Vieillard : étude historique et prospection géologique [S1A_P01]

BEAUVOIT et al.

Crop fertility management in a few Latenian rural settlements in the Beauce plateau (France): results from the study of weed flora and stable isotope analysis of cereals [S1A_P02]

BEN MAKHAD et al.

De la terre au métal : les approvisionnements d'un atelier du travail du cuivre et de ses alliages à Bruxelles au début du XVIe siècle [S1A_P03]

SAUSSUS et al.

Hommes et animaux dans les chaînes opératoires funéraires du Néolithique des (pré)Alpes du Nord [S1A_P04]

MILLET

Inclusion de scorie et battiture [S1A_P05]

RODIER et al.

L'exploitation des ressources minérales en milieu montagnard entre le Néolithique et l'Âge du Bronze : vers une étude à haute résolution des réseaux de l'obsidienne dans IE sud du Caucase [S1A_P06]

ORANGE et al.

Le gisement d'A Petra (Île Rousse, Haute-Corse) : approvisionnement et traitement de l'obsidienne en Corse dans les horizons du Cardial-Poinçoné (6^e millénaire BCE) [S1A_P07]

MARTINET et al.

Reconstitution des réseaux de communication : l'approche par signature élémentaire de coquilles d'huîtres [S1A_P08]

MOUCHI et al.

Réseaux d'approvisionnement des matières lithiques au IIe et Ier millénaires à I Casteddi (Tavera, Corse-du-Sud) [S1A_P09]

LE BOURDONNEC et al.

Sangliers en cours de domestication ou cochons marrons ? Aborder les débuts de la domestication grâce au domaine insulaire [S1A_P10]

MANIN et al.

Spécularites, hématites et matières colorantes ferrugineuses du Waterberg : choix des matières premières ou adaptation aux ressources locales ? [S1A_P11]

MAURAN et al.

Trajectoires des roches riches en fer au Paléolithique : genèse, sélection et altération [S1A_P12]

CHASSIN DE KERGOMMEAUX et al.

De l'argile à la poterie : une étude au microscope de la céramique du site néolithique de Wutaishan en Chine du Nord-Est [S1A_P13]

DUVAL et al.

MARDI 03 MAI



9h00 - 12h30

SESSION 1B

SESSION 1B

ANTHROPO-GÉOMORPHOLOGIE DES SITES ORNÉS, MÉMOIRES GÉOMORPHOLOGIQUES DES GESTES ANTHROPIQUES

Jean-Jacques Delannoy, Émilie Chalmin, Diego Garate

9h00 Altérations anthropiques du paysage souterrain dans la grotte de Nerja au Paléolithique supérieur

MEDINA-ALCAIDE et al.

- 9h15 La Mouthe, une grotte au carrefour des approches archéo-géomorphologiques. Problématiques croisées de méthodes d'analyse en grotte ornée à travers l'exemple d'une découverte séculaire
PETROGNANI et al.
- 9h30 Quantification de l'accessibilité à l'art rupestre paléolithique : proposition méthodologique pour l'étude du transit humain dans les grottes ornées
INTXAURBE et al.
- 9h45 Identification des facteurs et processus physiques, environnementaux et anthropiques de délitement des parois à travers une approche méthodologique croisée
VANDEVELDE et al.
- 10h00 L'architecture de sites d'art rupestre : entre faits naturels et culturels. Les sites de Nawarla Gabarnmang et de Borologa (nord Australie)
DELANNOY et al.
- 10h15 3D landscape evolution reconstruction of the Magdalenian Roc-aux-Sorciers site (Vienne, France)
GENUITE et al.
- 10h30 De l'expression pariétale schématique à la géographie culturelle du Néolithique européen. Le nécessaire développement d'approches intégrées
DEFRASNE et al.



10h45 - 11h15 PAUSE CAFÉ

- 11h15 Le site archéologique et son cadre physique : apports de l'approche géomorphologique multi-scalaire dans l'étude chrono-culturelle d'un site d'art rupestre. Application au site de Chuchuwayha (Colombie Britannique, Canada)
JACQUET et al.
- 11h30 Caractérisation des processus morphogéniques à l'œuvre sur les sites ornés de plein-air en milieu tropical humide : L'exemple des roches gravées précolombiennes de Trois-Rivières (Guadeloupe, Petites Antilles)
MONNEY et al.
- 11h45 Investissement social et coûts de production : une nouvelle approche économique à l'art pariétal paléolithique
GARATE et al.

12h00 **POSTERS - SESSION 1B**

Des points aux traits : Apport des données 3D à la cartographie anthropo-géomorphologique à haute résolution spatiale [S1B_P01]
KEMPER et al.

Des stalagmites à cupules utilisées comme dispositif d'éclairage : référentiels pour distinguer une origine naturelle d'un aménagement anthropique [S1B_P02]

FERRIER et al.

La réappropriation des espaces symboliques souterrains au Paléolithique supérieur : une nouvelle proposition méthodologique de systématisation et analyse [S1B_P03]

DÍAZ-GONZÁLEZ et al.



12h30 - 14h00

DÉJEUNER



14h00 - 17h00

SESSION 1C

SESSION 1C

PARCOURIR, VIVRE ET EXPLOITER LA MONTAGNE : REGARDS CROISÉS ET ARCHIVES DES PRATIQUES ET DES ENVIRONNEMENTS PASSÉS

Charline Giguet-Covex, Erwan Messager, Lucie Martin, Kevin Walsh

14h00 Dynamique environnementale, mobilité des groupes humains et fonction des sites à la fin du Paléolithique supérieur entre Alpes françaises du Nord et Jura méridional

MONIN et al.

14h15 Dynamiques millénaires de la végétation et des pratiques agro-pastorales sur deux sites des Alpes du Nord : La tourbière des Glières et le lac des Laouchets

JULIEN et al.

14h30 Nourrir la terre, nourrir le troupeau en montagne : approches bioarchéologiques et isotopiques d'un système agropastoral néolithique

MARTIN et al.

14h45 Approvisionner un site de haute altitude dans les Alpes poenines à l'époque romaine : analyses bioarchéologiques sur le Mur (dit) d'Hannibal (2650 m a.s.l., Valais, Suisse)

DUFRAISSE et al.

15h00 L'alpage de Sales : des pratiques pastorales immuables depuis des siècles ?

GUFFOND et al.

15h15 Gestion des forêts pour pérenniser les ressources combustibles : le cas du charbonnage historique dans les écosystèmes montagnards français

PY-SARAGAGLIA et al.

15h30 Premiers résultats d'une étude archéologique et géochimique des sites d'habitat supposés médiévaux de la haute-vallée de la Byasse (Freissinières, Hautes-Alpes)

CESARINI et al.

 15h45 - 16h15 PAUSE CAFÉ

- 16h15 A la croisée des méthodes : entre analyses bioarchéologiques, paléoenvironnementales et archéologie culturelle ou comment appréhender l'histoire pastorale des sociétés provençales et alpines sur le long terme
WALSH et al.
- 16h30 Holocene Fires and Mountain Communities in the Grasslands of Armenia
CROMARTIE et al.
- 16h45 Mieux comprendre les occupations humaines dans les montagnes de Géorgie au Chalcolithique et Âge du Bronze ancien : apports de l'archéozoologie, la cémentochronologie et la géochimie isotopique
VAUTRIN et al.
- 17h00 Mountain agro-ecosystems long-term trajectories in the North Western Alps
GIGUET-COVEX et al.

 17h30 - 19h00 ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU GMPCA

 19h30 - 21h30 EXCURSIONS

MERCREDI 04 MAI

THÈME 2 - RESTITUER LES VIES DE L'OBJET

 9h00 - 9h15 COMMUNICATION SCIENTIFIQUE

Restituer les vies de l'objet
SAVIN, PINTO & CHANTERAUD

 9h15 - 11h40 SESSION 2B

SESSION 2B

GENÈSE DES OBJETS. FABRICATION, PROCÉDÉS ET SYSTÈMES TECHNIQUES

Claire Chanteraud, Hélène Salomon, Ariane Pinto, Philippe Sciau

- 9h15 Approche des réseaux économiques et des traditions techniques artisanales du Néolithique ancien en Alsace (France) : l'apport des analyses des matériaux céramiques
GEHRES et al.
- 9h30 Modes de façonnage de poterie dans les Andes Sud-Centrales. Vers la restitution des chaînes opératoires de la céramique Humahuaca (Jujuy, Argentine, 13^e-16^e siècles)
SCARO et al.

- 9h45 Déterminer l'origine de fondants sodiques et de pigments cobaltifères utilisés dans les glaçures des premières céramiques ottomanes par LA-ICP-MS
BURLLOT et al.
- 10h00 Étude du protocole de cuisson des glaçures saucées de la dynastie Song à travers la formation de la phase ϵ -Fe₂O₃
HOLÉ et al.
- 10h15 Le sel dans les pâtes céramiques : agent décolorant ?
CANTIN et al.
- 10h30 Etude archéométallurgique des armures de Chalcis : recherches sur l'origine, la nature et la transformation du métal
BERARD et al.
- 10h45 Quels critères pour mesurer l'efficacité d'une technique de réduction du minerai de fer ?
MOREL et al.
- 11h00 Apport des analyses multivariées pour l'interprétation et la comparaison des ensembles de scories de forge à l'échelle macroscopique
JEANNOT et al.

11h15 **POSTERS - SESSION 2B**

Continuité et changements dans les traditions techniques de la céramique à Armatambo (Lima -Pérou) entre 1250-1530 AD [S2B_P01]

PAREJA et al.

De la chrysocolle au cuivre : retracer les savoir-faire des métallurgistes préhispaniques [S2B_P02]

MANYA et al.

Les techniques de fabrication des monnaies grecques et romaines en alliage cuivreux : un savoir-faire et des gestes variés [S2B_P03]

BODET et al.

Investigations par GC-MS du contenu de jarres de l'épave Phanom Surin (Thaïlande, VIII^{ème} ap JC) [S2B_P04]

MEZZATESTA et al.

Microorganisms and Moonmilk in the Caves from the Vézère Valley (Dordogne, France) [S2D_P01]

BHATTACHARYA et al.

Conservation des métaux peints : de l'étude des objets anciens à l'évaluation de traitements de protection [S2D_P02]

GORDON et al.

 11h45 - 12h15 SESSION POSTERS

 12h15 - 13h15 DÉJEUNER

 13h15 - 14h15 SESSION POSTERS

 14h15 - 16h00 SESSION 2C

SESSION 2C

VIE(S) DES OBJETS. FONCTIONS, USAGES, EMPLOIS ET RECYCLAGES

Ariane Pinto, Marie-Claire Savin

- 14h15 La tribune en bois de l'église abbatiale d'Abondance (Haute-Savoie). Conception, utilisation, réutilisation (XV^e-XIX^e siècle)
BOCHATON et al.
- 14h30 "[...] Comme le sel gâte le miel" ? Aborder l'estran actuel et la fonction d'un vase néolithique ; Vase 01, Terdoux-La Bassee, Château d'Oléron, île d'Oléron, France
PRÉVOST et al.
- 14h45 Photogrammétrie et analyse de surface des modèles 3D pour l'étude des supports épigraphiques d'inscriptions antiques de Vaison-la-Romaine (Vaucluse France)
ROUX
- 15h00 Explorer l'information fonctionnelle issue des concentrations de lipides dans les céramiques : une approche ethnoarchéologique
DRIEU et al.
- 15h15 Commerce vinaire en territoire picton : premiers apports de l'étude des amphores régionales et de leur contenu
FRUGIER et al.
- 15h30 Échange et réutilisation des miroirs de minerai de fer en Mésoamérique et en Amérique centrale : Apports de l'archéométrie physico-chimique et de la tracéologie
MÉNAGER et al.
- 15h45 La petite vrillette (*Anobium punctatum* L.) : un xylophage, un nuisible, un marqueur archéologique ?
TORITI et al.



16h00 - 16h30

PAUSE CAFÉ



16h30 - 17h30

SESSION 2D

SESSION 2D

DEVENIR DES OBJETS. ALTÉRATION, DÉGRADATION, ENJEUX DE CONSERVATION ET RESTAURATION

Micheline Draye, Philippe Raffaelli, Karine Froment

- 16h30 Comparer les rouges. L'étude taphonomique des parois, un pré-requis de l'analyse des matières colorantes liées à l'art rupestre
CHASSIN DE KERGOMMEAUX et al.

- 16h45 Etude des phénomènes de dégradation de matières organiques et développement de protocoles pour l'échantillonnage et l'analyse structurale de marqueurs organiques piégés dans des vestiges du Paléolithique supérieur
SAINT-RAYMOND et al.
- 17h00 Rethinking the process of animal mummification: a multi-platform approach for the chemical characterization of embalming materials of votive animal mummies from the site of Kom Mereh, Egypt
MARKOVIC et al.
- 17h15 Dégradation des feuilles métalliques de sculptures polychromes : le cas des brocarts appliqués de Savoie
PINTO et al.



20h00 - 22h00

PROJECTION DU FILM : NEANDERTAL, LE MYSTÈRE
DE LA GROTTTE DE BRUNIQUÉL - LUC-HENRI FAGE

JEUDI 05 MAI

THÈME 3 - LES OUTILS MÉTHODOLOGIQUES COMMUNS



9h00 - 12h30

SESSION 3A

SESSION 3A

ACCÉDER À LA MATIÈRE : DE L'IN SITU AU LABORATOIRE

*Pauline Martinetto, Pierre Bordet, Marine Cotte, Catherine Dejoie,
Laurence De Viguerie*

- 9h00 Lumière dans la grotte : stimulation UV et détection de films d'opale en contexte d'art pariétal paléolithique
CHANTERAUD et al.
- 9h15 Développement d'analyses isotopiques (Pb, Cu et Fe) in situ par fs-LA-MC-ICP-MS sur matrice archéologique en or dans une perspective d'étude de provenance
DE PALAMINY et al.
- 9h30 Nature et mécanisme de formation du contraste chromatique des gravures rupestres du Mont Bégo
BERTHONNEAU et al.
- 9h45 L'apport de la RMN des solides (Carbone, Calcium et Magnésium) pour l'identification de la provenance de marbres dolomitiques
PIANET et al.
- 10h00 Projet Save Our Shipwrecks : comment préserver in-situ les épaves métalliques historiques par protection cathodique ? Caractérisation globale in situ et analyse multi-échelle des couches de corrosion et de la biodiversité
VERNET et al.

10h15 **POSTERS - SESSION 3A (I)**

Analyses non destructrices dans les recherches de provenance des céramiques : apport de la colorimétrie et p-XRF sur les sigillées africaines d'époque romaine [S3A_P01]

RÈVE et al.

Apports de la radiologie, de la microtomodensitométrie et de l'histologie à la caractérisation des modifications du périoste chez les sujets immatures [S3A_P02]

BÉDÉCARRATS et al.

Caractérisation des carbonates géologiques et néoformés dans les mortiers de chaux archéologiques par imagerie LIBS [S3A_P03]

COMBY-ZERBINO et al.

Combinaison des approches analytiques in situ et en laboratoire : vers une compréhension des peintures schématiques néolithiques [S3A_P04]

LE TURNIER et al.

Etudes non invasives par diffraction et fluorescence des rayons X de sculptures médiévales : nouvelles perspectives sur une technique de polychromie, le "brocart appliqué" [S3A_P05]

MARTINETTO et al.

Evaluation des méthodes d'analyse in situ pour la caractérisation de pigments rouges dans l'art pariétal : le cas des peintures d'El Castillo, Espagne [S3A_P06]

DAYET et al.

Imagerie chimique à la ligne PUMA, SOLEIL, des éprouvettes de laboratoire pour valider les résultats obtenus in situ sur les tracés polychrome de l'art pariétal à la grotte paléolithique de Font-de-Gaume [S3A_P07]

TAPIA REGUERA et al.



10h40 - 11h00 **PAUSE CAFÉ**

11h00 Elucider la composition chimique d'échantillons du patrimoine, la pertinence croissante de l'Imagerie par Spectrométrie de Masse des Ions Secondaires par Temps de Vol

BOUVIER et al.

11h15 Non-Destructive Organic Residue Analysis of Archaeological Ceramic Sherds

KEUTE et al.

11h30 Quel peut être l'apport de la métabolomique en archéométrie moléculaire ? Application à la caractérisation de copals mexicains (*Bursera* spp.) et d'échantillons archéologiques aztèques

CULIOLI et al.

11h45 L'appui moléculaire et palynologique : une nouvelle méthode pour la caractérisation d'amphores romaines
CHASSOUANT et al.

12h00 **POSTERS - SESSION 3A (II)**

La caractérisation des matériaux de parure de Samrong Sen (Cambodge) [S3A_P08]
PUAUD et al.

Les productions d'amphores romaines de Thaenae (Tunisie méridionale) : caractérisation archéologique et archéométrique [S3A_P09]
RÊVE et al.

Méthodologie d'étude chimique des sols archéologiques [S3A_P10]
LAENGER et al.

Modification par la chauffe des propriétés électriques des calcaires du lutétien dans la gamme de fréquence [100 Hz – 10 MHz] [S3A_P11]
TABBAGH et al.

Premiers pas de l'archéométrie au Kosovo, approche multiscalaire : l'exemple d'Ulpiana [S3A_P12]
GODDARD et al.

Un ensemble de packages R pour une recherche ouverte et reproductible en archéologie [S3A_P13]
FREREBEAU et al.

Vers une modélisation des litho-espaces pour la Préhistoire. La contribution des PCR Réseau de lithothèques et du GDR SILEX [S3A_P14]
TUFFÉRY et al.

Traitements chimiométriques de données ATR-IRTF de micro-prélèvements de baumes de momies humaines d'Ancienne Egypte [S3A_P15]
MEZZATESTA et al.



12h30 - 14h00 DÉJEUNER



14h00 - 17h30 SESSION 3B

SESSION 3B

**DATATION ET CHRONOLOGIE : DE L'OBJET AU SITE,
RESTITUER LA DYNAMIQUE DU TEMPS (DATER LES ÉVÉNEMENTS
MARQUEURS DES SITES ARCHÉOLOGIQUES)**

Anita Quiles, Emmanuelle Delque-Kolic, Philippe Lanos

14h00 Développement d'un protocole de présélection des mortiers de chaux pouvant procurer des datations ¹⁴C fiables
WOJCIESZAK et al.

- 14h15 Nouvelles méthodologies en archéologie du bâti : Datation des mortiers par SG-OSL à l'échelle internationale
URBANOVA et al.
- 14h30 Datation radiocarbone par spectrométrie de masse par accélérateur de collyres gallo-romains à base de carbonates métalliques
MESSAGER et al.
- 14h45 Datation par les séries de l'uranium par imagerie LA-Fs ICP-MS haute sensibilité : quelles perspectives pour les datations de systèmes ouverts ?
GALY et al.
- 15h00 Approches interdisciplinaires dans le "berceau de l'Humanité" en Afrique du sud : un nouveau cadre chronologique pour de nouvelles perspectives de recherche
BRUXELLES et al.
- 15h15 Contribution de l'étude multiscalaire des états d'altération du mobilier en quartzite à la datation des industries du Paléolithique moyen et inférieur dans le piémont pyrénéo-garonnais
RUE et al.



15h30 - 16h00 PAUSE CAFÉ

- 16h00 De la résolution chronologique annuelle à l'enregistrement multimillénaire. Croisement de méthodes et de temporalités multiples pour identifier continuités et ruptures dans les occupations paléolithiques
VANDEVELDE et al.
- 16h15 Chronologie de l'enceinte romaine du Mans : nouvelles datations OSL, archéomagnétiques et radiocarbone
HERVÉ et al.
- 16h30 L'aqueduc romain du Gier à Lyon : Un cas d'école pour une datation pluridisciplinaire
BORLENGHI et al.
- 16h45 La modélisation bayésienne comme nouvelle approche du cadre chronologique de l'oppidum de Bibracte : l'apport du logiciel ChronoModel
LACHAMBRE et al.

17h00 **POSTERS - SESSION 3B**

Analyse et datation d'une ancre en fer découverte au large de La Grande-Motte (34) [S3B_P01]
DELQUÉ-KOLIC et al.

Les isotopes du carbone, ^{14}C et $\delta^{13}\text{C}$, pour dater et identifier les procédés de synthèse du blanc de plomb [S3B_P02]
MESSAGER et al.

État de l'art des différents matériaux du Patrimoine Culturel datés au LMC14 [S3B_P03]

CAFFY et al.

From pollen and charcoal to 3D reconstruction of plants around human settlements: a method under development [S3B_P04]

MAGUET et al.

Le textile, un marqueur chronologique pour l'Égypte ancienne. Méthodologie d'extraction et de caractérisation pour la datation radiocarbone [S3B_P06]

FERRANT et al.



20h00 - 00h00

SOIRÉE DE GALA

VENDREDI 06 MAI



9h00 - 14h30

SESSION 3C

SESSION 3C

IMAGER LES MILIEUX, GÉOPHYSIQUE, IMAGERIE HAUTE RÉOLUTION, ANALYSE 3D

Guillaume Hulin, Stéphane Jaillet, Carine Calastrenc, Murielle Leroy, François Lévêque, Vivien Mathé, Patricia Wils

- 9h00 Discrimination spatiale d'une enceinte fossoyée néolithique pour la localisation d'un niveau d'occupation : carte de potentiel archéologique
BRUNIAUX et al.
- 9h15 Inspecter les zones d'altitude. Développement d'une procédure multi-sources pour la prospection archéologique des terrains d'altitude
CALASTRENC et al.
- 9h30 Jublains, une capitale de cité antique révélée par le géoradar
CARAIRE et al.
- 9h45 Comparaison de données géophysiques et multispectrales : analyse d'images sur les camps césariens au pied de Gergovie (Puy-de-Dôme)
FOVET et al.
- 10h00 Regards croisés sur le sanctuaire de La Peyrouse (Saint-Félix-de-Villadeix, Dordogne) : confrontation des données géophysiques et archéologiques
HANTRAIS et al.
- 10h15 Apport de la topographie par LiDAR aéroporté à la caractérisation volumique et spatiale d'amas de déchets sidérurgiques : l'exemple des ateliers de Montholon en Puisaye (Yonne)
HERBRICH et al.

10h30 **POSTERS - SESSION 3C**

Évolution architecturale de la commanderie de Jalès (Ardèche) à travers l'approche géophysique [S3C_P01]

BENECH et al.

Approche de la morphologie et du comblement des fossés des enceintes néolithiques du Centre-Ouest de la France par la prospection géomagnétique [S3C_P02]

BRUNIAUX et al.

La villa de Château-Chervix sous l'œil du géoradar : une organisation spatiale peu commune [S3C_P03]

CARAIRE et al.

La découverte des remparts de Larsa (Iraq) par la géophysique [S3C_P04]

DARRAS et al.

La recherche de l'église de Quincivet (Isère) par prospection géophysique multi-méthodes [S3C_P05]

DARRAS et al.



10h45 - 11h15 **PAUSE CAFÉ**

Apports des prospections géophysiques pour l'étude du site de Blis à Eymet (Dordogne) [S3C_P06]

HANTRAIS et al.

Lasergrammétrie 3D appliquée aux contextes géomorphologiques de l'art pariétal paléolithique ardéchois [S3C_P07]

JAILLET et al.

Du terrain aux points : choix d'acquisition et de visualisation 3D de sites anthropo-géomorphologiques souterrains [S3C_P08]

KEMPER et al.

From pollen and charcoal to 3D reconstruction of plants around human settlements: a method under development [S3B_P04] [S3C_P09]

MAGUET et al.

Disparus pour la France : une approche prédictive de l'archéologie de la Grande Guerre [S3C_P10]

PERARNAU et al.

11h30 Complémentarité des techniques de prospection électrique et chimique : le cas de l'abbaye Saint-Maurice de Carnoët

LAENGER et al.

11h45 Le défi du mégalithisme en 3D : les imageries face aux monumentalismes du Néolithique (Projet MONUMEN)

LAURENT et al.

 12h00 - 13h30 DÉJEUNER

- 13h30 Prospection géomagnétique 3D de la salle de la structure de la grotte de Bruniquel : relation spéléofact - feu
LÉVÊQUE et al.
- 13h45 Analyse par LiDAR aéroporté de l'Artillerie Lourde sur Voie Ferrée de la Grande Guerre : un cas d'étude sur les contraintes géomorphologiques appliquées à un contexte archéologique
PERARNAU et al.
- 14h00 L'agglomération antique de Senon-Amel (Meuse) : un laboratoire pour la confrontation de données de télédétection et de fouilles sédimentaires
RITZ et al.

 14h30 - 15h00 REMISE DES PRIX GMPCA ET SAS
COMMUNICATION DU LAURÉAT/LAURÉATE DU
PRIX DE THÈSE DU GMPCA

 15h30 CLÔTURE DU COLLOQUE

**APPORTS DE L'APPROCHE INTÉGRÉE DANS LA DÉFINITION DES
ACCÈS, AMÉNAGEMENTS, EXPLOITATIONS ET USAGES DU MILIEU
SOUTERRAIN. LA GROTTÉ DE CLOGS CAVE EN TERRITOIRE
GUNAİKURNAI (AUSTRALIE)**

Jean-Jacques Delannoy¹, David Bruno², Green Helen³, Freslov Joanna⁴, Mullet Russell⁵,
Petchey Fiona⁶, Wood Rachel⁷, Stephenson Birgitta⁸

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Université Savoie Mont Blanc,
CNRS-UMR5204 – France*

² *Monash University – Australie*

³ *University of Melbourne – Australie*

⁴ *La Trobe University Australie*

⁵ *GunaiKurnai Aboriginal Corporation – Australie*

⁶ *Radiocarbon dating Laboratory, Hamilton – Nouvelle-Zélande*

⁷ *Radiocarbon Facility, Australian National University - Acton – Australie*

⁸ *Groove Analysis- Brisbane – Australie*

Clogs Cave (État de Victoria-Australie) est connue dans la littérature archéologique à la suite des travaux de J. Flood (1872, 1973, 1980) qui proposaient une survie tardive de la mégafaune (22 900 ± 2000 ans) et une coexistence de près de 25 000 ans avec les premières communautés humaines arrivées sur le continent australien. Les nouvelles recherches entreprises en 2019 renouvellent complètement les connaissances. L'étude croisée des données archéologiques et géomorphologiques ont, en effet, permis de dissocier les phases d'occupation de la grotte par la mégafaune (52 000 ans) et les Old people (à partir de 20 000 ans), préciser l'accès à la grotte par la mégafaune puis par les Hommes, mettre en évidence des activités anthropiques d'exploitation des concrétions, de prélèvement d'insectes (*Agrotis infusa*) et d'aménagements de la cavité. La communication sera ici centrée sur la reconnaissance des aménagements, des activités d'extraction et de broyage de la calcite et des usages traditionnels des grottes par les Old People. L'approche anthropo-géomorphologique associée au relevé 3D et aux datations permet de reconstituer l'évolution des relations entre les anciennes communautés et la grotte au cours du temps, depuis 20 000 ans à nos jours. Trois différents focus soulignent la pertinence de toute démarche intégrative, posée et pensée dès le début des études et développée tout au long du travail de terrain et d'analyses ultérieures. Le dialogue ainsi créé entre champs disciplinaires permet de révéler des indices ethno-archéologiques que la somme des approches disciplinaires n'auraient pas mis en avant. Le premier focus traite des aménagements et transformations de la grotte durant ces différentes phases de fréquentation ; le deuxième concerne les relations entre concrétions cassées, transformation et usages de la

calcite ; le troisième aborde la collecte des papillons de nuit "Bogong" dans les pratiques alimentaires des Old People d'Australie.

Mots-Clés : Archéologie, géomorphologie, archéo, géomorphologique, anthropo, géomorphologique, ethno, archéologie, aménagement anthropique, usages, accès, Australie

THÈME 1

DÉFINIR LES VALEURS DES INTERACTIONS.

LES INTERACTIONS SOCIÉTÉS/ENVIRONNEMENT

Ce thème a pour objectif de présenter les dynamiques émergentes et actuelles de recherche sur les sites archéologiques (pré)historiques notamment celles qui mobilisent une approche intégrant d'emblée dans la construction des connaissances les processus physiques, environnementaux et anthropiques.

Développer le concept d'approche intégrée via l'émergence de nouvelles approches méthodologiques et le croisement de disciplines constitue un enjeu scientifique fort. Il engage de nouvelles façons de percevoir et de travailler sur les sites archéologiques en interrogeant les relations entretenues par les communautés passées avec leur environnement. Cette démarche n'est pas neutre car elle associe l'environnement des sites à des dimensions sociales et culturelles.

Penser les relations entre les sites archéologiques et leurs environnements, naturel, culturel, territorial et technologique est au cœur de ce thème. Trois entrées sont proposées pour discuter des apports de l'approche intégrée.

SESSION 1A

Chaîne opératoire des ressources minérales, animales et végétales

P. 21

SESSION 1B

Anthropo-géomorphologie des sites ornés, mémoires géomorphologiques des gestes anthropiques

P. 47

SESSION 1C

Parcourir, vivre et exploiter la montagne : regards croisés et archives des pratiques et des environnements passés

P. 63

THÈME 1

SESSION 1A

CHAÎNE OPÉRATOIRE DES RESSOURCES MINÉRALES, ANIMALES ET VÉGÉTALES



COORDINATEURS : MAGALI ROSSI, HÉLÈNE SALOMON,
CHRISTOPHE GRIGGO

Les chaînes opératoires sont comprises comme l'ensemble des actions humaines sur des matières extraites, prélevées, collectées depuis leur acquisition jusqu'à leur usage et leur abandon. Cette session concerne les ressources minérales, animales et végétales, transformées par l'action anthropique ou non (matières dites brutes).

Le dialogue entre matière, objectifs de production, environnement d'exploitation, de production et de consommation révèle les relations entre les systèmes de productions, les sociétés et les environnements dans lesquels elles ont pris place. Les conditions d'exploitabilité, de disponibilité, et d'accessibilité des ressources sont interrogées en regard de l'environnement et des techniques. Selon les milieux, les contraintes topographiques, climatiques et saisonnières sont différentes, et influencent de fait la diversité des ressources (étagement altitudinal, ressources minérales) et contraignent les temporalités de leurs exploitations.

Les présentations et échanges permettront d'appréhender les chaînes opératoires de manière intégrée, en insistant aussi bien sur les différentes séquences qui les composent que sur leurs caractères spatiaux et temporels.

Mots-Clés : Ressources naturelles, approvisionnement, chaîne opératoire

**LES ROCHES ROUGES ET JAUNES RICHES EN FER DU BASSIN
VERSANT DE L'YONNE – IMPLICATIONS POUR LES ÉTUDES DE
PROVENANCE SUR LES SITES DE PINCEVENT
(LA GRANDE-PAROISSE), DE LA GROTTTE DU RENNE
(ARCY-SUR-CURE) ET DU MONT SAINT-AUBIN (OISY)**

Aurélié Chassin de Kergommeaux¹, Magali Rossi¹, Héléne Salomon¹,
Jean-Jacques Delannoy¹, Fayçal Soufi¹, Emilie Chalmin¹

¹*Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

Le bassin versant de l'Yonne est un territoire qui a été parcouru par les populations au cours du Paléolithique supérieur comme en attestent les nombreux sites d'âges différents. Parmi ces sites, deux en amont du bassin versant - le Mont Saint-Aubin (Oisy, 89) et la grotte du Renne (Arcy-sur-Cure, 89) -, et un en aval, Pincevent (La Grande-Paroisse, 77), sont en cours d'étude pour avoir conservé des traces d'utilisation de matières colorantes rouges et jaunes riches en fer (abrasion, facettage, mise en poudre). Des lithologies variées ont été collectées dans ces sites (argiles, calcaires à entroques, roches oolithiques ferrifères, divers grès ferrugineux et ferruginisés, des concrétions, des roches denses hématitiques...).

Des prospections ont permis de documenter les nombreuses lithologies riches en fer du bassin versant de l'Yonne. Une comparaison entre ce matériel géologique et le matériel archéologique a été possible grâce à une méthodologie basée sur la reconnaissance de critères pétrologiques et géochimiques permettant d'isoler les caractéristiques intrinsèques de la matière de celles acquises (naturellement ou de manière anthropique). Des stratégies différentes semblent avoir été appliquées en fonction des types de matières. Tandis que les grès ferrugineux sont ubiquistes dans le bassin, ils ne constituent pas pour autant systématiquement la majorité des collections. Les roches à tendances oolithiques, souvent bien représentées dans les collections, semblent avoir une provenance plus lointaine. Ceci pose la question des critères de sélection des matières en fonction de leurs caractéristiques (accessibilité, pétrographie s.s., exploitabilité) et des objectifs des différentes exploitations de matières colorantes. La mise en évidence de ces critères en les replaçant dans le paysage minéral permet d'aborder les dynamiques des sociétés de chasseurs-collecteurs du Paléolithique. Les relations entre les différents lieux fréquentés, gisements de matières premières et habitats, sont ainsi abordés.

Mots-Clés : roches riches en fer, pétrologie, caractérisation géochimique, approvisionnement, Paléolithique supérieur, paysage minéral

APPROVISIONNEMENT ET TRAITEMENT DES MATIÈRES COLORANTES JAUNES ET ROUGES RICHES EN FER AU PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR : L'ÉTUDE DE CAS DE RIPARO TAGLIENTE (NE, ITALIE)

Giorgia Sardelli^{1,2}, Federica Fontana¹, Hélène Salomon², Martine Regert³, François Orange⁴, Roberto Zorzin⁵

¹ *Università di Ferrara, Dipartimento di Studi Umanistici, Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche – Italie*

² *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

³ *Cultures Environnements. Préhistoire, Antiquité, Moyen Age (CEPAM) – Université Côte d'Azur, CNRS-UMR7264 – Nice, France*

⁴ *CCMA – Université Côte d'Azur (UCA) – France*

⁵ *Museo Civico di Storia Naturale di Verona – Italie*

Les matières colorantes riches en oxydes et hydroxydes de fer sont un type de vestige très répandu dans les contextes archéologiques du Paléolithique supérieur. Le caractère polyédrique de ce matériel permet d'intégrer dans ce domaine d'étude différentes disciplines à la croisée des sciences dures et des sciences humaines. La mise en œuvre de protocoles analytiques pluridisciplinaires est essentielle pour identifier et documenter les différentes étapes de la chaîne opératoire concernant l'exploitation des matières colorantes. Cette approche a été appliquée dans le cadre de l'étude des roches ferrugineuses jaunes et rouges provenant du site paléolithique de Riparo Tagliente. Ce site archéologique est un abri sous roche localisé dans le massif préalpin des monts Lessini, dans l'Italie nord-orientale. La séquence stratigraphique montre deux principaux dépôts, dont le plus ancien est caractérisé par la présence d'industries lithiques moustériennes et aurignaciennes (60 000-30 000 ans cal BP). Le dépôt supérieur, attribuable à l'Épigravettien récent et daté entre 17 219-16 678 ans cal BP et 14 535-13 472 ans cal BP, témoigne la première occupation de la région alpine au cours des premières phases du Tardiglaciaire. La fouille en extension des niveaux épigravettiens (secteur nord) a mis en évidence la présence de structures d'habitat et d'une quantité extraordinaire de vestiges, notamment des assemblages lithiques, des restes de faune, des ornements en matières dures animales, des objets d'art mobilier et d'environ 36 000 fragments/blocs de matières colorantes rouges et jaunes riches en fer.

Afin de comprendre les gestes et les schémas opératoires adoptés par les groupes de Riparo Tagliente pour exploiter ces roches ferrugineuses, un protocole expérimental a été mis en œuvre. L'expérimentation a concerné la reproduction des étapes d'approvisionnement et, en particulier, de traitement thermique et mécanique. Les roches ferrugineuses testées lors des séances expérimentales ont été collectées dans le gisement de Ponte di Veja, situé à une distance de 8 km à vol d'oiseau de Riparo Tagliente et caracté-

térisé par la présence de dépôts de matières colorantes riches en goéthite. La sélection de ces matières premières a été basée sur une précédente étude qui a permis d'identifier Ponte di Veja comme l'un des sites d'approvisionnement potentiellement exploités par les groupes épigravettiens. Les matières premières jaunes ont été traitées thermiquement à 200°C, 400°C, 600°C et différentes techniques visant à la réduction en poudre des blocs de matières colorantes (broyage, rainurage, concassage, raclage et abrasion) ont été testées, grâce à l'utilisation d'outils en pierre (tablettes d'abrasion, perceurs, meules et outils en silex taillés). L'analyse au TEM et SEM-EDX des échantillons archéologiques et géologiques, l'étude pétrographique des lames minces, l'analyse granulométrique des poudres obtenues lors du traitement mécanique, les observations macroscopiques et mésoscopiques du corpus archéologique et géologique ont permis de formuler des hypothèses sur les différentes étapes de la chaîne opératoire. Ce travail constitue la base d'un projet de recherche développé dans le cadre d'une thèse de doctorat en cotutelle entre l'Université de Ferrare et le laboratoire EDYTEM (Université Savoie Mont Blanc), sous la direction de Federica Fontana et Héléne Salomon.

Mots-Clés : Matières colorantes, Paléolithique, Épigravettien, traitement mécanique, traitement thermique

ROCK ART AND OCHRE PIGMENT MATERIALITY AT BABINE LAKE, BRITISH COLUMBIA

Brandi Lee Macdonald¹, Farid Rahemtulla², Kwun Whess³,
David Stalla⁴

¹ *Archaeometry Lab at MURR – États-Unis*

² *University of Northern British Columbia – Canada*

³ *Lake Babine Nation – Canada*

⁴ *Electron Microscopy Core - University of Missouri – États-Unis*

Pictographs, and the landscape formations they are featured upon, are culturally significant places among Indigenous communities. Here, we present the results of a survey and microanalysis of pictographs and the mineral pigments used to produce them at Babine Lake (British Columbia), in the traditional territory claimed by the Lake Babine Nation, the Tl'azt'en Nation, and the Yekooche Nation. The monochrome motifs are produced with iron oxide mineral pigments (red ochre), and are all painted on prominent, open-air rock faces overlooking deep water. Our study applied multiple microanalytical methods, including SEM-EDS, laser ablation ICP-MS, portable XRF, and Raman spectroscopy to the mineral pigments and rock substrates to characterize their compositions. Through

the scientific analysis of the paints we have gained insights into aspects of pigment materiality, such as artistic selection of minerals with different physicochemical properties and the chaîne opératoire of paint preparation. Our results show that rock art painters at Babine Lake selected a diversity of iron oxide types to produce different pigment mixtures with distinctive properties, including the harvesting and thermal enhancement of iron-oxide-producing bacteria.

Mots-Clés : Rock art, ochre pigment materiality, chaîne opératoire, pXRF, microanalysis, SEM, EDS, Raman spectroscopy

L'INDUSTRIE DU FER DANS LA MOITIÉ ORIENTALE DES PYRÉNÉES (DU CANIGO AU COUSERANS) DE L'ANTIQUITÉ AU XVII^e S. : LE PROGRAMME FEDER FERMAPYR

Gaspard Pagès¹, Laurent Costa¹, Philippe Dillmann², Enrique Vega³, Jean-Charles Méaudre⁴, Catherine Verna⁵, Stéphanie Leroy³, Alexandre Disser³, Florian Téreygeol⁶

¹ *Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn) – CNRS : UMR7041 – France*

² *LAPA-IRAMAT/NIMBE CEA CNRS (LAPA) – CNRS : UMR3685, CNRS : UMR5060, CEA-DRF-IRAMIS, CEA Saclay 91191 Gif sur Yvette cedex, France*

³ *Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (LAPA) – CNRS : UMR5060 – CEA de Saclay - 91191 Gif sur Yvette, France*

⁴ *MEAUDRE – CNRS : UMR3685 – France*

⁵ *Hispox : Histoire des pouvoirs, savoirs et sociétés – Université de Paris 8 : EA1571 – France*

⁶ *Institut de Recherches sur les Archéomatériaux, Laboratoire Métallurgies et Cultures (IRAMAT-LMC) – CNRS-UMR5060, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard – France*

La moitié orientale des Pyrénées a été intensivement investie par l'industrie métallurgique depuis l'Antiquité, tout au long du Moyen Âge et à la période moderne. Elle livre d'importantes ressources en minerai de fer et en bois ; elle est intégrée aux réseaux commerciaux majeurs qui relient bassin méditerranéen, péninsule ibérique et Gaule, d'une part ; l'Atlantique et l'Aquitaine à la Méditerranée, d'autre part. La réalisation d'un inventaire détaillé des vestiges industriels métallurgiques et des témoignages documentaires qui leur sont associés répond à la volonté de proposer une synthèse fondée sur une recherche interdisciplinaire à l'échelle de la moitié orientale des Pyrénées dans le temps long : de l'Ariège aux Pyrénées-Orientales ; de l'Antiquité jusqu'au milieu du XVII^e siècle. C'est l'objet du programme FEDER FERMAPYR. Il répond à plusieurs objectifs :

- pérenniser la conservation d'une documentation matérielle qui se détériore ;
- fournir aux services de l'inventaire de la Région Midi-Pyrénées-Languedoc-Roussillon,

ainsi qu'au Service régional de l'archéologie un jeu de données harmonisé et diachronique sur le patrimoine industriel ;
-appréhender l'ensemble de la chaîne opératoire du fer : extraction, traitement du minerai, réduction, transformation des produits semi-finis, exportation ;
-étudier les circulations des produits et des hommes en relation avec cette activité, à l'échelle du massif, mais aussi à celle du bassin méditerranéen et de l'Europe occidentale ;
-caractériser les innovations et les particularités techniques développées dans le massif pyrénéen ; définir la chronologie et la géographie des différents ateliers ;
-étudier les liens entre l'industrie du fer, l'agropastoralisme et l'exploitation du bois en relation avec les structures de peuplement ;

Pour ce faire, les actions sont conduites selon des techniques disciplinaires exigeantes, condition nécessaire au traitement interdisciplinaire des données : travaux de terrain (prospections, sondages, relevés de terrain suivant les préconisations du SRA et de la CIRA du Ministère de la Culture et de la Communication) ; dépouillements des fonds d'archives et extraction d'une documentation inédite ; travaux de laboratoire (études typologiques et archéométriques des mobiliers découverts : céramiques, scories, barres de fer, charbon, minerai, datation ¹⁴C...) ; travaux d'enregistrement des données dans une base informatisée et partagée avec le soutien du Consortium Huma-Num Paris Time Machine ; enfin, travaux de restitution et de diffusion des résultats (publications, colloques, conférences, exportations de la base).

C'est ces actions interdisciplinaires et diachroniques menées dans le cadre du programme FEDER FERMAPYR (2019-2022) que nous souhaitons présenter ici.

Mots-Clés : métallurgie, fer, minerai, forêt, circulation, production, exploitation, Antiquité, Moyen, Âge, période moderne

CONTRIBUTION DES ANALYSES GÉOCHIMIQUES ET GÉOMÉCANIQUES DANS L'IDENTIFICATION DE LA MATIÈRE PREMIÈRE ARGILEUSE UTILISÉE PAR LES TUILIERS DE BARBERY (CALVADOS) AU MOYEN ÂGE ET À L'ÉPOQUE MODERNE

Anne Bocquet-Liénard¹, Marie-Paule Bataillé^{1,2}, Robert Davidson²,
Juliette Dupré¹, Mathilde Leclerc¹, Marc-Antoine Thierry³, Xavier Savary⁴,
Adrien Dubois¹, Jean-Baptiste Vincent^{1,5}

¹ Centre Michel de Boïard - Centre de recherches archéologiques et historiques anciennes et médiévales (CRAHAM) – CNRS-UMR6273, Université de Caen – France

² Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique – UMR 6554 – France

³ EVEHA (Etudes et valorisations archéologiques) – Bureau d'études archéologique privé –

France

⁴ Service archéologie – département du Calvados – France

⁵ Archeodunum – Opérateur en archéologie préventive – France

L'examen des sources écrites (tabellionage, comptabilités, iconographie) a mis en lumière une importante activité tuilière, dans une même paroisse – Barbery – où cohabitent entre le XIV^e et le XVIII^e siècle, plusieurs tuileries qui appartiennent à différentes abbayes, comme l'abbaye cistercienne de Barbery, l'abbaye augustinienne du Val à Saint-Omer ou l'abbaye bénédictine de Saint-Étienne de Fontenay, et à différents propriétaires laïques. Les tuiles fabriquées à Barbery ont été livrées et utilisées pour couvrir par exemple le donjon ou la halle Saint-Gervais à Falaise, le château de Caen ou celui de Thury-Harcourt.

Un programme de recherche pluridisciplinaire et une fouille programmée ont été mis en place dès 2016 afin d'étudier la totalité de la chaîne opératoire, de la confection à la pose, depuis l'extraction de la matière première jusqu'à la diffusion du produit fini.

L'étude des différentes sources (géologiques, iconographiques et écrites) couplée à des prospections magnétiques nous a permis de circonscrire la zone où les tuiliers se sont installés et de localiser au moins neuf structures de cuisson, mais également des lieux d'extraction de matière première argileuse. Des carottages profonds ont été réalisés dans plusieurs formations géologiques, afin de caractériser les différents matériaux disponibles dans le secteur des tuileries. Plusieurs types d'analyses ont été réalisés sur les sédiments récoltés et des lots de tuiles recueillis en prospection et dans cinq fours mis au jour. Le croisement des résultats des mesures des indices de plasticité, des répartitions granulométriques avec les compositions chimiques et les cortèges minéralogiques identifiés par des observations en lame mince a permis de mettre en évidence le choix des tuiliers pour une terre en particulier.

Mots-Clés : Geochimie, argile, tuileries, chaîne opératoire, sources écrites

L'USAGE DU CHARBON DE TERRE DANS LE NORD DE LA FRANCE JUSQU'À L'ÉPOQUE MODERNE

Benjamin Jagou¹

¹ Institut national de recherches archéologiques préventives, centre archéologique d'Achicourt – UMR 5060 IRAMAT, ArScAn-UMR 7041, Nanterre – France

La houille et son industrie ont joué un rôle important dans l'histoire économique, sociale et politique du Nord-Pas-de-Calais au cours des XIX^e et XX^e siècles. Ces activités ont fortement modifié le paysage de cette région. Les recherches récentes ont démontré que l'utilisation du combustible fossile sur ce territoire était pourtant antérieure à ces

exploitations. Les opérations d'archéologie préventive réalisées dans le Nord de la France depuis une dizaine d'années ont permis de mettre régulièrement au jour des traces d'activités sidérurgiques utilisant ce charbon comme ressource énergétique. Ces découvertes se caractérisent par la mise au jour de nombreux fragments de combustible associés à des scories de fer. Elles ont permis de démontrer que cette pratique apparaissait dès la fin du II^e siècle dans le Nord de la Gaule et plus particulièrement sur le territoire des Nerviens. De plus, ces découvertes archéologiques semblent montrer une disparition de ces usages durant tout le Bas-Empire et le début de la période médiévale. Il faut attendre la fin du XII^e siècle pour voir réapparaître cette pratique sur les territoires du comté de Flandre et de Hainaut.

La mise en évidence de l'usage de ce combustible dans ces productions artisanales a soulevé de nombreuses questions. Quels sont les événements et les causes qui ont abouti à un tel usage et quelles en ont été les conséquences ? Quels sont les circuits d'approvisionnement et commerciaux pour cette ressource ? Quels sont les impacts de l'utilisation de ce combustible sur les procédés techniques, l'organisation des espaces artisanaux et sur l'environnement ? Pour apporter des éclairages à ces grands axes de recherches, cette étude s'est appuyée à la fois sur les travaux historiques, archéologiques et archéométriques régionaux.

Concernant les événements et les causes qui ont poussé ces sociétés anciennes à se tourner vers ce combustible fossile, l'histoire des territoires du Nord apporte un premier éclairage. Celle-ci est marquée par une forte expansion économique et démographique durant le Haut Empire et tout au long du second Moyen Âge. Le développement des centres urbains et de leur économie a provoqué des besoins en termes d'espaces habitables, agricoles ou artisanaux. Il s'est en partie fait au détriment des zones forestières. Ces périodes sont marquées par d'importantes ouvertures dans le paysage régional. Ces dernières entraînant des phénomènes cycliques de manque en bois ainsi qu'une inflation du prix de cette ressource et de ses dérivés. Les artisanats qui en étaient les plus dépendants se sont alors retrouvés dans l'obligation de se tourner vers un combustible alternatif afin de pouvoir répondre à leurs besoins énergétiques. Le charbon de terre qui, à ces époques, est peu onéreux et abondant, s'avère être la solution idéale.

Cette recherche met en lumière une chaîne opératoire du charbon qui va de son extraction à sa consommation en passant par sa commercialisation. Le but de cette communication est d'exposer les méthodes mises en place pour tenter de cerner la provenance de cette ressource et les conséquences de l'utilisation de cette dernière sur les activités artisanales.

Mots-Clés : Charbon, Haut Empire, Second Moyen Âge, Flandre, Hainaut, LIBS, métallurgie du fer

CHAÎNE OPÉRATOIRE D'ACQUISITION ET D'EXPLOITATION DE LA MARMOTTE AU TARDIGLACIAIRE DANS LE VERCORS

Christophe Griggo¹, Gilles Monin, Ingrid Gay², Christine Oberlin³

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – France*

² *Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7269, Ministère de la culture – France*

³ *CDRC, 40 boulevard Niels Bohr, 69 622 Villeurbanne cedex – CDRC – France*

La découverte du phénomène des "chasseurs de marmottes" revient à Hippolyte Müller, pionnier de la Préhistoire dauphinoise du début du XX^e siècle. Entre 1903 et 1921, il fouilla plusieurs petites grottes du Vercors : Colomb, la Passagère, l'Olette, Bobache. Elles livrèrent des industries tardiglaciaires (Magdalénien, Azilien et Laborien) et de nombreux vestiges fauniques très nettement dominés par la marmotte. Très en avance sur son époque, il reconstitua une véritable chaîne opératoire d'exploitation de la marmotte. En effet, selon lui, les chasseurs paléolithiques passaient l'été en montagne à chasser les marmottes pour leur viande et leur fourrure.

C'est dans cette continuité que nous avons entrepris, il y a quelques années, de réexaminer les différents sites tardiglaciaires du Vercors fouillés par H. Müller, ainsi que ceux qui ont fait l'objet de fouilles plus récentes : la grotte des Freydières, fouillée en 1965 par A. Bocquet ; une reprise des fouilles de La Passagère par P. Bintz, en 1973 et 1974 ; et un sondage réalisé par R. Picavet en 1999 dans l'abri des Pierres. Cela nous a permis, d'une part, de confirmer la pertinence des hypothèses avancées par H. Müller, et, d'autre part, d'obtenir des éléments complémentaires relatifs aux stratégies d'acquisition et d'exploitation des marmottes par les chasseurs tardiglaciaires du Vercors.

Les marmottes n'ont probablement pas été chassées mais piégées. Il s'agissait d'une activité saisonnière qui avait lieu en automne, juste avant que les marmottes n'entrent en hibernation, lorsqu'elles étaient les plus grasses et que leur fourrure était la plus fournie. Au cours d'un important travail de boucherie, les fourrures étaient prélevées, et les carcasses entièrement désossées afin de récupérer la viande crue et la graisse. Le tout a très certainement été exporté vers des sites en plaine, en vue d'une consommation différée, au cours de l'hiver.

Mots-Clés : marmotte, Vercors, Tardiglaciaire, Magdalénien, Épipaléolithique, saisonnalité

MEDIEVAL SOFTSTONE QUARRIES IN NORTHERN MADAGASCAR: THE BOBALILA CASE STUDY

Christoph Nitsche¹, Chantal Radimilahy², Guido Schreurs³,
Sylvain Velomora⁴, Vincent Serneels¹

¹ *Department of Geosciences [Fribourg] – Suisse*

² *Institut des Civilisations, Université d'Antananarivo – Madagascar*

³ *Institute of Geological Sciences (University of Bern) – Suisse*

⁴ *Université de Toliara – Madagascar*

From the 7th c. AD onward, Northern Madagascar was settled by the Islamised Rasikajy population. As active participants in the Indian Ocean Trade Network, they quickly started exploiting the various natural resources of the island. Among the most spectacular remains of the Rasikajy are finely decorated lathe-turned tripod vessels made from a particular dark green to gray silicate softstone that crops out in the crystalline hinterland. Up to now, over 30 softstone quarries were identified, visited and sampled in the course of this project and ongoing prospection work suggests that many more exist. Finished vessels are frequently excavated in Rasikajy contexts in Madagascar and have been found on the Comoros (Dembeni on Mayotte) and Tanzania (Kilwa).

In 2019, the large site of Bobalila was the first of these quarries to ever be excavated. It is located 10 km inland from the coast, some 40 km northwest of the famous cemetery site of Vohémar. The main quarry occupies 45 000 m² of a hill flank and is covered in metric to decametric stone boulders. As in all other quarries, extraction was conducted in the form of cylinders that were then shaped into vessel brutes before being finished by turning on a lathe. Some boulders are still covered in semi-finished cylinders, given the impression that the site was abruptly abandoned. Adjacent to one of these boulders, a sheltered workshop area with over one meter of stratified debris and isolated smithing slags was identified. Radiocarbon dating of intercalated charcoal revealed approx. 100 years of activity during the 14th c. AD. The excavations also allowed for an in-depth study of the geology of the quarry. Over 40 samples were collected in-situ and treated by XRF and detailed optical microscopy. The quarried rock, an amphibole-chlorite rich lithology known as Hoesbachite, formed through complex multistage metasomatism of an ultramafic protolith. This fluid-rich metamorphic process transformed the minor primary magmatic minerals olivine and pyroxene into either serpentine- or talc-dominated assemblages, depending on the silica activity of the reactive fluid, and resulted in a significant mineralogical and compositional variation in the outcrop. Rasikajy quarrymen were aware of this variation: talc-bearing rocks are slightly softer and were preferred for vessel production. As the two types are indistinguishable by the naked eye, many blocks at the quarry bear chisel marks that were aimed at testing the quality, and

serpentine-rich specimen were systematically rejected.

Compositional variations due to fluid activity also affect fingerprinting and provenance applications and should be considered for other frequently used metasomatic softstones such as serpentinites or talc schists (steatite). The results from Bobalila provide new data on the scale and processes of compositional variation and suggest valuable arguments for provenance studies of archaeological silicate softstone artefacts.

Mots-Clés : Madagascar, Rasikajy, Softstone, Provenance, Chlorite

POSTERS - SESSION 1A

APPROVISIONNEMENT EN KAOLIN PYRÉNÉEN PAR LA MANUFACTURE BORDELAISE JOHNSTON-VIEILLARD : ÉTUDE HISTORIQUE ET PROSPECTION GÉOLOGIQUE [S_{1A}_P₀₁]

Emmie Beauvoit¹, Nadia Cantin¹, Rémy Chapoulie¹, Ayed Ben Amara¹

¹ *Institut de recherches sur les Archéomatériaux - Centre de Recherche en Physique appliquée à l'Archéologie – Université Bordeaux Montaigne, CNRS-UMR5060 – France*

La manufacture Johnston-Vieillard a produit de la faïence fine et de la porcelaine, à Bordeaux, entre 1835 et 1895. L'un des ingrédients fondamentaux dans la production de ces deux types de céramiques est le kaolin, une terre argileuse appréciée pour sa blancheur. Bien que les archives de la manufacture soient aujourd'hui disparues, des archives écrites de sources diverses (rapports de jury d'expositions, correspondances, procès, cahiers de laboratoire de la Manufacture de Sèvres...) ont permis de soulever la piste d'un approvisionnement de la manufacture en kaolin des Pyrénées. Les indices textuels de cette ancienne production d'argiles ont même permis de localiser les carrières qui auraient pu être exploitées, rendant ainsi possible la recherche sur le terrain de l'argile employée. Le but de cette étude est de documenter les stratégies d'approvisionnement en terre argileuse de la manufacture Johnston-Vieillard, en nous intéressant plus spécifiquement aux gisements pyrénéens qui auraient servi pour la production céramique.

Le travail préalable s'appuyant sur les archives disponibles, a permis de remonter aux ressources géologiques potentielles, et donc de circonscrire une zone à prospector dans la région proche de Bayonne. C'est dans un second temps que la prospection géologique a été menée afin de localiser et collecter les argiles blanches susceptibles d'avoir été utilisées par les dirigeants de l'usine pour leurs productions céramiques. Plusieurs anciennes carrières ont été visitées, et échantillonnées, quand cela était possible. Au total, près de quatre sites d'extraction de kaolin situés dans les communes d'Ayherre, Louhossoa et

Macaye (Pyrénées-Atlantiques), ont été examinés, tandis que deux d'entre eux ont pu être faire l'objet d'échantillonnages. Ces prélèvements ont notamment permis d'évaluer leur hétérogénéité chimique et minéralogique (grâce au MEB-EDS et à la diffraction de rayons X). Des observations à l'échelle macroscopique et microscopique ainsi que des mesures granulométriques ont également été menées, afin de compléter leur caractérisation.

Les analyses menées en laboratoire sur les matières premières argileuses peuvent ainsi servir de référentiel et être comparées aux résultats chimiques et minéralogiques obtenus à partir des tessons de céramique de cette même manufacture. Ce type d'étude permet à la fois d'envisager la problématique de la provenance des matières premières, mais aussi de s'interroger sur les "recettes" ou modes opératoires de préparation des argiles. Parallèlement, ce travail permet également à travers l'exemple du kaolin, de retracer les choix réalisés par la manufacture bordelaise en terme d'approvisionnement en matière première, dans le cadre d'un contexte économique concurrentiel, dans le domaine de la production de céramiques au XIX^e siècle.

Mots-Clés : manufacture Johnston Vieillard, XIX^e siècle, céramique, kaolin, prospection géologique, Pyrénées

CROP FERTILITY MANAGEMENT IN A FEW LATENIAN RURAL SETTLEMENTS IN THE BEAUCE PLATEAU (FRANCE) : RESULTS FROM THE STUDY OF WEED FLORA AND STABLE ISOTOPE ANALYSIS OF CEREALS [S1A_P02]

Sammy Ben Makhad¹, Zech-Matterne Véronique¹, Bénédicte Pradat²,
Mònica Aguilera³, Denis Fiorillo¹, François Malrain⁴, Marie Balasse¹

¹ CNRS/MNHN – CNRS-UMR7209 Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements, Muséum National d'Histoire Naturelle – France

² INRAP – Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), CNRS-UMR7209 Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements – France

³ Universitat de Lleida, Department of Crop and Forest Sciences – Espagne

⁴ INRAP – CNRS-UMR8215 Trajectoire, de la sédentarisation à l'Etat, Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne – France

The Beauce Plateau, in the south-west of the Paris Basin, was densely inhabited during the Iron Age and hosted rural settlements with relatively great longevity (250 years on average).

Series of silos indicate the constitution of large grain stocks, possibly reflecting high agricultural productivity. The high level of agricultural activity, as well as the continuity of occupations, imply a good control of soil fertility to ensure sufficient yields over the

long term.

Field fertilisation can be approached directly through biogeochemical analysis of cereal remains. Several experiments conducted in temperate Europe have shown that the use of manure increases soil and cereals $\delta^{15}\text{N}$ values. Stable isotope analyses ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) were carried out on 900 grains of the main cultivated species on the Beauce plateau: emmer wheat, free-threshing wheat and hulled barley. These grains come from silos dating between 500 and 75 BC, in the rural settlements of "Ymonville", "Les Hyèbles", and Prasville, "Les Grandes Canettes" and "Vers Chesnay". These sites lie within 2 kms from each other, allowing us to study and compare agrarian systems within a limited territory. In order to interpret the $\delta^{15}\text{N}$ values of the archaeobotanical remains in terms of fertilisation, we compare them to the isotopic composition of deer bone collagen, used as a reference value for areas with little anthropisation. Moreover, the weeds found in association in the archaeobotanical assemblages provide information on agricultural soils properties and, de facto, on cultivation practices.

The archaeobotanical remains of the three studied settlements are divided into four chronological phases (from the 5th to the beginning of the 1st century BC), making it possible to observe evolution in fertilisation practices. At the beginning of the sequence, the use of manure cannot be concluded. From the 3rd century BC onwards, the management of field fertility is observed. Some cereal batches even show relatively intense fertilisation efforts. Fertilisation practices are similar between these neighbouring settlements and testify to technical know-how shared, as can be observed in a majority of sites in the other regions already studied.

Mots-Clés : Agricultural practices, Manure, Stable isotopes, Second Iron Age

DE LA TERRE AU MÉTAL : LES APPROVISIONNEMENTS D'UN ATELIER DU TRAVAIL DU CUIVRE ET DE SES ALLIAGES À BRUXELLES AU DÉBUT DU XV^e SIÈCLE [S1A_P03]

Lise Saussus¹, Eric Goemaere², Nicolas Thomas³, Thierry Leduc²,
Thomas Goovaerts², Michel Fourny⁴

¹ *Postdoctorante, Chargée de recherches du FRS-FNRS, Centre de recherches d'archéologie nationale, UC Louvain – Belgique*

² *Geological Survey of Belgium, Royal Belgian Institute of Natural Sciences – Belgique*

³ *Institut national de recherches archéologiques préventives, WBI international, Centre de recherches d'archéologie nationale, Centre d'études orientales, UC Louvain, Laboratoire de médiévisique occidentale de Paris, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. – Ministère de la Culture et de la Communication – France*

⁴ *Société royale d'archéologie de Bruxelles – Belgique*

En 1994, à Bruxelles, une fouille archéologique permet la découverte d'un remblai contenant les déchets d'une activité métallurgique établie dans le premier tiers du XV^e siècle, à la rue Notre-Seigneur dans le quartier des Marolles. Le site livre plus de 2 000 fragments de moules de fonderie en terre cuite associés à quelques fragments de creusets, de rares vestiges d'un four et du combustible. S'y ajoutent des chutes en alliage à base de cuivre, témoignant surtout du travail de fonderie, mais aussi un peu de la mise en forme au marteau. Unique à Bruxelles, rare ailleurs en Europe, cet ensemble permet de s'intéresser aux objets fabriqués dans l'atelier, à savoir quantité de petits objets de la parure très diversifiés et des stylets, mais aussi aux techniques de fonderie utilisées et à la nature des matériaux mis en œuvre. Cette contribution se concentre principalement sur la caractérisation des terres des moules de fonderie, des creusets et du four, par des analyses de composition élémentaire et des examens pétrographiques. L'étude révèle des recettes de préparation de la terre, différentes pratiques selon l'utilisation de ces consommables dans l'atelier, mais aussi au moins deux principales sources d'approvisionnement, locale et extra-locale. En particulier, ces observations montrent l'utilisation pour les creusets d'une argile mosane prisée pour ses très bonnes qualités réfractaires. Les analyses de composition élémentaire de ces récipients ont également permis de confirmer la production du laiton par cémentation dans cet atelier bruxellois.

Mots-Clés : approvisionnements, ressources minérales, terres, atelier, métallurgie des alliages à base de cuivre, pétrographique, Bruxelles, bas Moyen Âge.

HOMMES ET ANIMAUX DANS LES CHAINES OPÉRATOIRES FUNÉRAIRES DU NÉOLITHIQUE DES (PRÉ)ALPES DU NORD [S1A_P04]

Jean-Jacques Millet¹

¹ *Laboratoire ISTerre, Université Grenoble Alpes – France*

Une grotte, un puit, un abri sous roche offre un espace et un volume qui s'il est à vocation funéraire est souvent aménagé, et dans le cas de sépulture collective, il sera géré dans le temps, de l'ouverture à la clôture. Un espace symbolique gérer dans un temps long, ou des espaces de circulation, d'autres de dépôts vont être mis en place avec des murets ou des cloisonnements afin de condamner des locus complets ou de séparer des espaces familiaux, des caveaux. De ces travaux de génie funéraire émerge la notion de gestion de l'espace sépulcrale durant la préhistoire.

Du Paléolithique à l'âge du Bronze, les pratiques funéraires évoluent de manière non linéaire. Les synthèses montrent un passage progressif de la tombe individuelle vers des sépultures collectives, associé à une pluralité de chaînes opératoires ou les différents de-

grés de préservation de l'intégrité squelettique des défunts vont de pair avec les inégalités sociales. La méthodologie observée est basée sur le récolement des ossements de plusieurs sites, l'état de conservation, les observations taphonomiques, le profil ostéologique, et sur la récurrence des observations menée en diachronie lors de l'étude des sites funéraires.

Hommes et animaux pour être introduit dans l'espace sépulcrale passerons avant par les cribles du recrutement funéraire actif dans les sociétés. Pour les premiers, l'âge, le sexe, le statut social, le lignage familial sont déterminant, pour les seconds l'âge, le sexe et la nature domestique, sauvage et chassée seront sélectif.

Aussi le geste funéraire, s'il associe la présence d'éléments fauniques à celle des restes humains, il ajoute dès lors des éléments symboliques. L'animal est un support, support à l'expression des sentiments qui traversent les hommes, de la tristesse à la dévotion, par des dons, des sacrifices, un support pour mettent en valeur, souligner la richesse et ainsi le statut social.

La présence des derniers (animaux) vient souvent souligner le statut des premiers (hommes). Et par-delà ces résultats, ils mettent en avant l'hypothèse du passage de sociétés sans richesses (sociétés achrématiques) vers d'autre avec richesse et capital (sociétés ploutocratiques à ostentations). L'espace sépulcrale devient ainsi une expression de la hiérarchisation des sociétés.

Mots-Clés : chaines opératoires funéraires, hommes, animaux, espace funéraire, recrutement

INCLUSION DE SCORIE ET BATTITURE [S₁A_P₀₅]

Jean Rodier¹, Vincent Serneels¹

¹ *Département des Géosciences, Université de Fribourg – Suisse*

Plusieurs études ont montré l'existence d'un lien entre les produits/déchets de la chaîne opératoire et le minerai. Cette étude se focalise sur l'information potentielle que représente les battitures. Ce déchet est produit pendant le travail du fer à chaud. Elles sont principalement composées d'oxydes de fer et d'un composant silicaté.

Pendant la réduction du minerai par procédé direct, une loupe métallique et un déchet liquide est produit. La scorie concentre les éléments non réductibles (NRC). Le fer brut produit contient toujours de la scorie piégée sous forme d'inclusion. Pendant le forgeage à chaud la quantité d'inclusion de scorie diminue progressivement. La scorie de forge, qui se forme au fond du foyer par l'accumulation de différents matériaux peut en contenir. Cependant la contribution des inclusions de scories (SI) provenant du fer travaillé

est faible et altérée par une contamination massive (sable, cendre ect...). De plus, une scorie de forge peut être le résultat du travail de différents fers avec différentes signatures chimiques. Tandis qu'au contraire une particule de battiture provient d'un seul morceau de fer.

Nos recherches actuelles ont pour but d'investiguer l'information chimique potentielle que peut nous apporter les battitures. Des résultats préliminaires ont été obtenus sur des battitures produites par des forgerons Dogon au Mali (Soullignac, 2017). Les éléments non réduits (NRC) montrent une contamination importante par l'environnement de forgeage rendant ainsi la plupart des éléments majeurs inexploitable dans le traçage des inclusions de scories.

Cependant certains éléments spécifiques concentrés dans les inclusions de scories (V, Mn, Cr, Ti, Zr) et peu concentrés dans les matériaux argilo-sableux peuvent être utiles dans la différenciation des fers travaillés sur un site archéologique.

Mots-Clés : minerai, scorie, métallurgie

L'EXPLOITATION DES RESSOURCES MINÉRALES EN MILIEU MONTAGNARD ENTRE LE NÉOLITHIQUE ET L'ÂGE DU BRONZE : VERS UNE ÉTUDE À HAUTE RÉOLUTION DES RÉSEAUX DE L'OBSIDIENNE DANS LE SUD DU CAUCASE [S1A_P06]

Marie Orange¹, François-Xavier Le Bourdonnec², Rémi Berthon³, Bernard Gratuze⁴, Veli Bakhshaliyev⁵, Judith Thomalsky⁶, Abedi Akbar⁷, Catherine Marro⁸

¹ *Archaeology and Palaeoanthropology, School of Humanities, Arts and Social Sciences, University of New England - Australie*

² *Université Bordeaux Montaigne, IRAMAT-CRP2A UMR 5060 - CNRS - France*

³ *Muséum national d'Histoire naturelle - UMR 7209 - Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements - France*

⁴ *Institut de Recherches sur les Archéomatériaux - Centre Ernest Babelon (IRAMAT-CEB) - CNRS - UMR5060, Université d'Orléans - France*

⁵ *Académie des Sciences, Azerbaïdjan*

⁶ *Tabriz Islamic Art University, Department of Archaeology and Archaeometry, Tabriz, Iran*

⁷ *German Archaeological Institute, Tehran Branch - Iran*

⁸ *Archéorient - UMR 5133 - CNRS, Université de Lyon - France*

L'obsidienne, une ressource minérale dont les gisements abondent au Caucase comme dans la région voisine d'Anatolie de l'Est, a été exploitée de façon intensive par les sociétés préhistoriques. Grâce à sa composition chimique unique à chaque coulée, il est possible de retrouver son origine. Cette information, une fois intégrée à la reconstitution

des rythmes et intentions de taille pour la reconstruction des chaînes opératoires globales (de l'acquisition de la matière première à l'abandon de l'objet), en fait un matériau idéal pour l'étude des réseaux préhistoriques de circulation et d'échange, ainsi que pour l'identification des potentiels centres économiques impliqués dans la redistribution des matériaux et produits finis.

Dans le cadre de plusieurs projets de recherche menés récemment au Nakhitchevan (Azerbaïdjan), nous avons ainsi pu utiliser l'obsidienne comme 'proxy' pour explorer la relation entre mobilité humaine, stratégies de subsistance, et exploitation des ressources minérales d'altitude. Des recherches récentes ont en effet mis en lumière, au Chalcolithique et à l'Âge du Bronze, les mouvements de groupes de pasteurs mobiles entre l'Iran du Nord-ouest et les riches pâturages d'altitude du sud du Caucase (Azerbaïdjan, Arménie), près desquels les sources d'obsidienne abondent. De tels liens entre l'Iran et le Caucase ont été suggérés à plusieurs reprises, notamment à la lumière des indices recouverts lors des fouilles des sites de Godedzor (Arménie) et d'Uçan Ağıl (Nakhitchevan), deux camps de pasteurs mobiles ayant présenté des similarités avec des sites de la région du lac d'Urmiah, dans le nord-ouest de l'Iran. Ces liens sont corroborés par la présence d'une quantité non-négligeable d'obsidienne caucasienne sur plusieurs sites d'Iran du Nord-ouest (e.g. Kültepe-Jolfa, Dava Göz). L'obsidienne caucasienne est par ailleurs présente dans cette région dès le Néolithique (e.g. Hajii Firuz, Tamar Tepe), bien qu'en plus faibles quantités, mais attestant toutefois d'un lien avec le Caucase dès le 6^{ème} millénaire BCE.

Plusieurs petits sites plats, probablement occupés de façon temporaire par des groupes de pasteurs mobiles, ont été récemment identifiés au Nakhitchevan, dans les piémonts du Caucase. Ces campements sont localisés sur les chemins pluri-millénaires menant de l'Iran du Nord-ouest aux pâturages d'altitude et aux sources d'obsidienne du Caucase : ils auraient pu servir de camps d'étape au pasteurs mobiles au cours de leurs transhumances saisonnières. Afin d'explorer cette hypothèse, ainsi que le rôle des pasteurs mobiles dans la circulation de l'obsidienne dans la région, nous avons entrepris l'investigation exhaustive des industries en obsidienne de ces campements, ainsi que celles d'autres sites du Nakhitchevan. Jusqu'ici, seulement une poignée d'artefacts en obsidienne provenant de cette région avaient en effet été analysés, alors que les industries lithiques en obsidienne des régions voisines (e.g. Arménie) avaient déjà fait l'objet de nombreuses études. Dans le cadre de notre programme de recherche, la provenance géologique de plus de 8 000 artefacts a pu être étudiée, nous permettant ainsi d'ébaucher une vision haute-résolution des réseaux de l'obsidienne de ces régions et leur transformation entre le Néolithique et l'Âge du Bronze, et donc d'apporter de nouveaux éléments de réponse sur les systèmes socio-économiques du sud du Caucase.

Mots-Clés : Obsidienne, Néolithique, Caucase

LE GISEMENT D'A PETRA (ÎLE ROUSSE, HAUTE-CORSE) : APPROVISIONNEMENT ET TRAITEMENT DE L'OBSDIENNE EN CORSE DANS LES HORIZONS DU CARDIAL-POINÇONNÉ (6^e MILLÉNAIRE BCE) [S1A_P07]

Lauriane Martinet^{1,2}, François-Xavier Le Bourdonnec^{3,4}, Bernard Gratuze⁵,
Jean Sicurani^{6,7}, Carlo Lugliè², Didier Binder¹

¹ *Culture et Environnements, Préhistoire, Antiquité, Moyen-Age – Université Nice Sophia Antipolis, CNRS-UMR7264, Université Côte d'Azur : UMR7264 - France*

² *Dipartimento di Lettere, Lingue e Beni Culturali, Università di Cagliari – Italie*

³ *IRAMAT-Centre de recherche en physique appliquée à l'archéologie – Institut de Recherches sur les Archéomatériaux, CNRS-UMR5060, Université Bordeaux Montaigne – France*

⁴ *Archéosciences Bordeaux [à partir du 1er janvier 2022] – CNRS-UMR6034, Université Bordeaux Montaigne – France*

⁵ *IRAMAT - Centre Ernest Babelon – Institut de Recherches sur les Archéomatériaux, CNRS-UMR5060, Université d'Orléans – France*

⁶ *Lieux, Identités, eSpaces, Activités – Université Pascal Paoli, CNRS-UMR6240 – France*

⁷ *ARPPC – Association de Recherches Pré et Protohistoriques Corses – France*

Dès le 6^e millénaire, l'obsidienne sarde, issue du massif volcanique du Monte Arci, circule en Méditerranée occidentale. On la retrouve sur certains gisements de l'arc liguro-provençal, tels que Peiro Signado et Arene Candide, mais également en Corse. En effet, avec l'arrivée au 6^e millénaire des populations néolithiques, des roches allochtones apparaissent sur l'île (silex, obsidienne), traduisant ainsi la grande mobilité de ces premières communautés d'agro-sylvo-pasteurs. La provenance essentiellement sarde de ces roches suggère, par ailleurs, de l'existence de contacts antérieurs (Impressa) entre les deux grandes îles de l'aire tyrrhénienne – mais il reste aujourd'hui à en comprendre toutes les articulations.

Découvert dans les années 80, et site de référence pour la Préhistoire récente corse, le gisement d'A Petra (Île Rousse, Haute-Corse) a notamment livré 438 artefacts en obsidienne. Ce matériel est associé à différents niveaux d'occupation attribués aux deux aspects successifs, FBP (Filiestru-Basi-Pienza) et "FBP-modifié", de l'horizon Cardial de Corse. Une composante poinçonnée a également été observée pour certains niveaux. Des fouilles archéologiques sont actuellement à l'œuvre afin de mieux cerner la nature et la chronologie de ces occupations.

Dans le but d'alimenter nos connaissances sur les modalités d'acquisition et de traitement de l'obsidienne au 6^e millénaire, nous avons procédé à une analyse techno-économique de cette industrie, c'est-à-dire en considérant les modes d'introduction et les chaînes opératoire de production en fonction des différentes sources exploitées. Des analyses de provenance par ED-XRF et LA-ICP-MS ont ainsi été réalisées sur l'intégra-

lité du corpus auquel nous avons eu accès. Les résultats ont révélé une origine exclusivement sarde, la source SB2 du Monte Arci étant majoritaire à 48%. L'abondance de cette variété d'obsidienne a également été observée sur la plupart des sites corses datés du 6^e millénaire ainsi que dans le nord de la Sardaigne. En Corse, cette variété reste majoritaire durant la phase suivante (horizons poinçonné et curasien), ce qui pourrait témoigner d'une persistance dans les systèmes d'approvisionnement. Quelle que soit l'étape chronologique concernée, l'industrie est caractérisée par une production de petits éclats, laissant supposer une introduction de petits blocs et/ou d'éclats sur le site. Des redébîtages poussés d'éclats témoignent d'une exploitation jusqu'à exhaustion de ce matériau. Les produits lamino-lamellaires, bien que peu nombreux, sont associés aux occupations cardiales et la question de la multiplicité des chaînes opératoires (éclats vs lamelles) est ainsi posée. En revanche, les niveaux à céramique poinçonnée sont caractérisés par une production exclusive d'éclats/petits éclats, à l'image de certains sites contemporains de l'île, tels qu'Araguina-Sennola. Bien que les modalités de distribution, d'acquisition et de traitement des obsidiennes durant le 6^e millénaire restent difficiles à appréhender, les données mises en évidence jusqu'ici attestent de différences entre les régions de Méditerranée occidentale receveuses d'obsidienne. Ainsi, contrairement aux régions voisines, telles que l'Archipel toscan, la Toscane ou la Ligurie, la Sardaigne semble avoir été pour la Corse un partenaire économique privilégié. L'étude menée ici confirme l'idée selon laquelle ces deux îles forment une entité culturelle et économique unique au cours de la période considérée.

Mots-Clés : Néolithisation, Cardial, Poinçonné, Industries lithiques, mobilité, insularité, stratégies d'approvisionnement, diffusion, transfert, techno, économie

RECONSTITUTION DES RÉSEAUX DE COMMUNICATION : L'APPROCHE PAR SIGNATURE ÉLÉMENTAIRE DE COQUILLES D'HUÎTRES [S₁A_P₀₈]

Vincent Mouchi¹, Camille Godbillot², Catherine Dupont³,
Marc-Antoine Vella⁴, Vianney Forest⁵, Alexey Ulianov⁶, Franck Lartaud⁷,
Marc De Rafelis⁸, Laurent Emmanuel², Eric Verrecchia⁹

¹ *Adaptation et diversité en milieu marin – CNRS-UMR7144, Sorbonne Université – France*

² *Institut des Sciences de la Terre de Paris (iSTeP) – Université Pierre et Marie Curie - Paris 6, CNRS-UMR7193 - France*

³ *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CRéAAH - UMR 6566) – Le Mans Université, Université de Rennes 1, Université de Rennes 2, CNRS - France*

⁴ *Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols – Sorbonne Université, CNRS-UMR7619, Ecole Pratique des Hautes Etudes – France*

⁵ INRAP-Méditerranée, TRACES-UMR5068-Toulouse – France

⁶ Institute of Earth Sciences, University of Lausanne – Suisse

⁷ Sorbonne Universités, UPMC-Paris 06, CNRS-UMR8222 - France

⁸ Géosciences Environnement Toulouse (GET), Université de Toulouse, CNRS, IRD, UPS – France

⁹ Institute of Earth Surface Dynamics, FGSE – Géopolis, Université de Lausanne, Suisse

La reconstitution des réseaux de circulation est d'une importance majeure car ils étaient source d'échanges culturels et technologiques responsables de l'évolution des sociétés par l'influence d'autres régions du monde. Ces réseaux peuvent être retrouvés par l'étude de la provenance de marchandises, mais est compliquée par la rareté des preuves comme des traces écrites. Les caractéristiques stylistiques d'objets artisanaux peuvent être associées à une méthode de travail exotique et reconnue originaires d'autres régions, mais ces objets peuvent être associés à un commerce épisodique ou correspondre à un don ou un héritage, induisant une fausse interprétation sur la connectivité entre les sites. Pour contrer ces incertitudes, l'analyse de la composition chimique de coquilles d'huîtres apparaît adéquate : en tant que restes alimentaires, les coquilles sont le résultats d'une consommation locale et contemporaine aux activités humaines ; le commerce des huîtres est connu pour traverser de vastes régions de l'Europe dès l'Antiquité et loin dans les terres, impliquant des échanges à très grande échelle spatiale et assurant l'exotisme de ces restes ; leur composition chimique élémentaire dépend de la chimie de l'eau de mer du milieu de vie, qui elle-même dépend du substrat géologique des bassins versants en érosion dont les cours d'eau se déversent sur le littoral, ce qui permet de définir une "signature élémentaire" spécifique à la région d'origine. Notre corpus se compose de 15 groupes de coquilles d'huîtres, actuelles et archéologiques (Antiquité – XVII^e siècle) de France continentale et de Corse. Nos résultats indiquent que l'origine atlantique ou méditerranéenne de coquilles peut être déterminée, et dans le cas d'environnements aux apports continentaux fluviaux important, il est possible d'identifier le bassin versant si une référence préalable a été analysée, même entre plusieurs groupes de coquilles issues de la même baie. Nos mesures sur des coquilles d'huîtres antiques de Lyon d'origine inconnue ont pu déterminer, grâce à cette méthodologie, qu'elles provenaient de la façade méditerranéenne. L'ajout de références par l'analyse de coquilles actuelles et anciennes d'origine connue permettra d'améliorer la détermination de provenance et reconstituer, par la suite, les réseaux de ce commerce à travers la France et l'Europe.

Mots-Clés : Réseaux de circulation, commerce, coquilles d'huîtres, géochimie

RÉSEAUX D'APPROVISIONNEMENT DES MATIÈRES LITHIQUES AU II^E ET I^{ER} MILLÉNAIRES À I CASTEDDI (TAVERA, CORSE-DU-SUD) [S1A_P09]

François-Xavier Le Bourdonnec^{1,2}, Arthur Leck^{1,2}, Cheyenne Bernier^{1,2},
Bernard Gratuze³, Hélène Paolini-Saez^{4,5}

¹ IRAMAT Centre de recherche en physique appliquée à l'archéologie (CRP2A) – CNRS :
UMR5060, Université Bordeaux Montaigne – France

² Archéosciences Bordeaux [à partir du 1er janvier 2022] – CNRS : UMR6034, Université
Bordeaux Montaigne, Univ. de Bordeaux – France

³ IRAMAT Centre Ernest-Babelon (CEB) – CNRS : UMR5060, Université d'Orléans – France

⁴ LRA Corse – Laboratoire régional d'archéologie – France

⁵ TRACES – CNRS : UMR5608, Université Toulouse Jean Jaurès – France

I Casteddi est un site perché de moyenne montagne situé à 423 m d'altitude au cœur de la vallée de la Gravona, une des vallées transversales reliant la Corse-du-Sud à la Haute-Corse par le col de Vizzavona. Il s'agit d'un habitat groupé, naturellement défensif, occupé dès l'Âge du Bronze moyen jusqu'au second âge du Fer sans discontinuité. Il constitue un véritable verrou géographique permettant l'observation et le contrôle du territoire dans une vallée qui compte une bonne douzaine d'entités archéologiques contemporaines. La nature du mobilier est variée et renvoie aussi bien à des productions locales de céramiques et d'objets non ferreux et ferreux que des productions d'importation de vaiselles de table, amphores ou de parures en verre. Parmi les objets du quotidien, plusieurs centaines de pièces lithiques en obsidienne et en rhyolite sont attestées. Cette présence, en contexte protohistorique, permet de soulever la problématique de la perdurance de l'utilisation de l'outillage en pierre, conjointement à celui du métal. Par ailleurs, se pose le questionnement des réseaux d'approvisionnement de ces matières à une période où de nouveaux circuits s'imposent en Méditerranée occidentale.

Nous présenterons une étude de provenance, menée sur 182 artefacts en obsidienne et 349 en rhyolite, réalisée au sein de l'IRAMAT selon un protocole strictement non destructif. Pour les obsidiennes, les analyses géochimiques ont été faites par EDXRF ou LA-ICP-MS. Il est possible, au regard des données compositionnelles obtenues sur des échantillons provenant d'îles-sources, d'affirmer que la matière première de la quasi-totalité des objets d'I Casteddi est sarde. Le type SC est largement majoritaire ; deux pièces ont toujours une origine incertaine. Ces résultats attesteraient une continuité des échanges au sein du bloc corso-sarde. Pour les rhyolites, les compositions déterminées par ED XRF ont été comparées avec un référentiel géologique constitué de plusieurs dizaines de gisements échantillonnés en Corse ainsi qu'avec les artefacts d'autres sites déjà analysés. Les résultats indiquent que les rhyolites proviennent d'au moins 25 sources

distinctes. Si toutes ces sources ne peuvent aujourd'hui être précisément localisées, la très grande diversité des provenances témoigne d'une forte mobilité de la communauté. Les montagnes du centre de l'île, à fort potentiel pastoral et cynégétique, semblent être une zone privilégiée d'approvisionnement, notamment la plateau d'Alzu intensément exploité pour l'extraction de ses rhyolites dès le Néolithique final.

La dichotomie des approvisionnements en matière lithique, exogène et donc maritime pour l'obsidienne, endogène et montagnard pour la rhyolite, nous interroge. Observe-t-on ici deux réseaux séparés et contemporains, l'un lié à des échanges à longue distance et l'autre aux mobilités du groupe au sein de son territoire ? Ou bien, ces différences sont-elles chronologiquement distinctes et témoignent des modifications des réseaux de la fin du Néolithique et de l'Âge du Bronze ? Les études de provenance des matières premières lithiques sur les sites protohistoriques en Corse sont encore extrêmement rares, ce n'est qu'en multipliant ce type de travaux que nous pourrions affiner nos hypothèses et mieux comprendre l'évolution des échanges et des mobilités qui ont lieu sur l'île au cours de l'Âge du Bronze.

Mots-Clés : Sourcing, Obsidienne, Rhyolite, EDXRF, LAICPMS, Corse, Protohistoire

SANGLIERS EN COURS DE DOMESTICATION OU COCHONS MARRONS ? ABORDER LES DÉBUTS DE LA DOMESTICATION GRÂCE AU DOMAINE INSULAIRE [S1A_P10]

Aurélie Manin¹, Laurent Frantz², Greger Larson³

¹ *Department of Archaeology, University of Oxford – Royaume-Uni*

² *Palaeogenomics Bio-Archaeology Research Network, Research Laboratory for Archaeology,
Oxford University, UK – Royaume-Uni*

³ *PalaeoBARN, School of Archaeology, University of Oxford – PalaeoBARN,
School of Archaeology University of Oxford - Royaume-Uni*

En se déplaçant dans de nouveaux territoires, les sociétés humaines ont parfois ressenti le besoin de transporter avec elles des animaux, que ce soit pour garantir un accès aux matières premières ou pour maintenir un cadre culturel connu. Si le transport d'animaux entre régions continues est souvent difficile à mettre en évidence, du fait de l'ubiquité de nombreuses espèces économiquement ou culturellement importantes, les îles représentent un terrain d'étude attrayant, espace clos dans lequel l'introduction de nouvelles espèces peut être tracée et datée.

Le statut de ces animaux, domestiques, apprivoisés ou sauvages, est toutefois complexe à aborder, d'autant plus pour les périodes les plus précoces. La distinction se complique encore si l'on considère la capacité de diverses espèces domestiques à s'affranchir de

l'emprise anthropique pour devenir "marrons" et persister dans le paysage sauvage moderne. Cette présentation aborde le statut et l'origine des animaux introduits dans les îles méditerranéennes avec l'exemple des sangliers et des cochons (*Sus scrofa*), en s'appuyant sur une analyse comparative de données génomiques anciennes et modernes. Une approche phylogéographique et des analyses de diversité des populations permettent de développer de nouveaux concepts et hypothèses quant à l'identification du statut et de l'origine de ces animaux. Une réflexion est également ouverte sur l'héritage des populations introduites au fil du temps au sein des populations modernes.

Mots-Clés : Archéozoologie, Domestication, Néolithique, Translocation, Insularité

SPÉCULARITES, HÉMATITES ET MATIÈRES COLORANTES FERRUGINEUSES DU WATERBERG : CHOIX DES MATIÈRES PREMIÈRES OU ADAPTATION AUX RESSOURCES LOCALES ? [S1A_P11]

Guilhem Mauran^{1,2}

¹ *Evolutionary Studies Institute, University of the Witwatersrand, Johannesburg –
Afrique du Sud*

² *DSI-NRF Centre of Excellence in Palaeosciences, University of the Witwatersrand,
Johannesburg – Afrique du Sud*

L'archéologie d'Afrique australe a longtemps été concentrée sur les sites côtiers du Middle Stone Age. Des matières colorantes ferrugineuses ont été retrouvées sur de nombreux sites d'Afrique australe. De nombreux travaux ont documenté ces matières premières riches en fer, leurs modifications et leurs implications pour les comportements, les compétences et la cognition des communautés passées. Cependant, jusqu'à récemment, peu de travaux se sont concentrés sur les assemblages de matières colorantes du Waterberg. Les assemblages retrouvés sur les sites de Olieboomspoor et de North Brabant sont principalement composés de spécularites et d'hématites. Ces matières premières sont retrouvées en plus faible quantité dans les autres régions sud-africaines.

Je présente ici l'assemblage de matières colorantes de l'abri sous roche Red Balloon, un site Middle Stone Age inédit. Ce site est situé à 1200 m au-dessus du niveau moyen de la mer sur le plateau du Waterberg. Si la surface du site est parsemée de céramiques de l'âge du fer, il conserve également des occupations de l'âge de pierre moyen OSL datées d'environ 100 000 ans.

Les matières colorantes MSA récupérées sont similaires à ceux d'Olieboomspoor, de North Brabant et d'un site inédit en cours d'étude Kaingo Rock Shelter. Les matières colorantes ferrugineuses de ces sites ont peu de traces d'abrasion, mais présentent de nombreuses traces de percussion. La percussion demeure peu documentée hors du Wa-

terberg. Les spécificités des assemblages du Waterberg interrogent quant à l'existence d'un régionalisme culturel fort ou à une adaptation aux ressources locales.

Pour questionner ces spécificités, je présenterai une expérimentation de percussion sur des matières colorantes collectées dans le Waterberg similaires à celles retrouvées sur les sites du Waterberg, et des observations en microscopie électronique à balayage, données de spectroscopie infrarouge et de spectrométrie par fluorescence de rayons X. Ces matières seront comparées aux matières premières modernes. Mes analyses montrent des caractéristiques pétrographiques et des traces de percussion similaires entre les matériaux archéologiques et les matières premières modernes.

Mes données indiquent un fort régionalisme dans les matières exploitées, suggèrent des stratégies d'approvisionnement local restreintes au Waterberg durant le Middle Stone Age. Mon expérimentation met en évidence le savoir-faire et les compétences des populations du Middle Stone Age qui habitaient la région du Waterberg il y a environ 100 000 ans.

Mots-Clés : matières colorantes ferrugineuses, Middle Stone Age, chaîne opératoire, Waterberg, Afrique du Sud

TRAJECTOIRES DES ROCHES RICHES EN FER AU PALÉOLITHIQUE : GENÈSE, SÉLECTION ET ALTÉRATION [S₁A_P₁₂]

Aurélie Chassin de Kergommeaux¹, Magali Rossi¹, Hélène Salomon¹, Emilie Chalmin¹,
Jean-Jacques Delannoy¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – France*

C'est principalement à partir de la reconnaissance des circulations de silex à travers leur chaîne évolutive, que les dynamiques des sociétés nomades de chasseurs-collecteurs du Paléolithique ont été appréhendées et ces dynamiques pourraient être complétées par les circulations de roches riches en fer. En effet, elles sont découvertes dans de nombreux contextes archéologiques en relation avec un vaste éventail de pratiques (peintures, activités domestiques et artisanales).

Leur étude permet d'interroger les relations entre les différents lieux fréquentés par les groupes humains : gisements de matières premières, habitats, grottes ornées. Or, ces matières peuvent être de diverses lithologies ayant des propriétés physico-chimiques et mécaniques distinctes (e.g., filon métallifère, grès ou oolithes ferrugineux, altérites) sélectionnées selon des impératifs de production, eux-mêmes conditionnés par les objectifs visés, autant que par les possibilités techniques d'exploitation. Les recherches menées jusqu'à présent démontrent que les sociétés préhistoriques avaient une connaissance ap-

profondie tant des propriétés des matières sélectionnées, que des lieux où les trouver. Se réapproprier ces connaissances, en déterminant les origines géologiques et géographiques des matières colorantes, est complexe notamment du fait de leurs modifications naturelles et anthropiques et de la faible quantité préservée.

De même que le silex, de leur genèse à leur (re)découverte par les archéologues, les roches riches en fer ont subi de nombreuses transformations qui se traduisent par la modification plus ou moins prononcée de caractéristiques intrinsèques. En effet, les matières colorantes évoluent sur le lieu de leur formation (position primaire) sous l'effet de circulations de fluides et de l'altération météorologique. Sous l'effet de l'érosion, elles peuvent être transportées (gravité, ruissellement...) et déposées dans un nouveau milieu (position secondaire) où elles subissent de nouvelles transformations. Récoltées durant le Paléolithique, elles ont été chauffées, réduites en poudre, mélangées avec d'autres substances, et appliquées sur divers supports avant d'être abandonnées. L'érosion, le recouvrement et l'encroûtement continuent de modifier ces matières sur les parois et dans les sédiments.

La mise au point d'une méthodologie permettant la discrimination morphologique, structurale, lithologique, minéralogique et chimique de ces caractéristiques génétiques et acquises est l'enjeu principal pour (i) appréhender les espaces minéraux théoriques dans lesquels les populations ont pris place, (ii) retrouver les distances minimales parcourues par les groupes humains pour accéder aux ressources colorantes (accessibilité), (iii) reconnaître les critères sensibles, techniques et pratiques de la sélection de matières minérales dans le passé (couleur, résistance, homogénéité, texture, exploitabilité), (iv) mettre en évidence les modifications volontaires d'origine anthropique, (v) préciser les objectifs des exploitations de matières colorantes dans les différents contextes d'utilisation et de mise en œuvre et (vi) comparer les pratiques et les espaces fréquentés au cours du temps.

Mots-Clés : matière colorante, caractérisation géochimique, trajectoire, modifications géochimiques et pétrographiques, approvisionnement, Paléolithique

DE L'ARGILE À LA POTERIE : UNE ÉTUDE AU MICROSCOPE DE LA CÉRAMIQUE DU SITE NÉOLITHIQUE DE WUTAISHAN EN CHINE DU NORD-EST [S1A_P13]

Pauline Duval¹

¹ *Ecole pratique des Hautes études – France*

Ces dernières années, les études sur les peuplements du Nord-Est de la Chine (Mandchourie) ont profondément transformé notre perception du paysage néolithique de cette ré-

gion. Traditionnellement les recherches se focalisaient sur l'identification des cultures, leurs caractéristiques et leurs délimitations géographiques ou chronologiques. Toutefois, de nouveaux axes de recherches ont été développés récemment, plaçant les humains, leurs comportements et le milieu dans lequel ils évoluaient au centre des interrogations. La question de l'émergence de la céramique et de sa diffusion au Néolithique relève de ces nouvelles problématiques. Si la céramique est apparue au sein des groupes nomades de chasseurs cueilleurs dès le Néolithique ancien (vers 11 000 BC), son utilisation est restée limitée comme en témoigne la faible concentration de tessons sur les sites. A la fin du Néolithique ancien et durant le Néolithique moyen (7 000 – 4 000 BC), l'occupation humaine semble s'être densifiée tandis que les modes de vie se sont transformés à mesure que les groupes se sédentarisent. Parallèlement, la production de céramique s'est intensifiée aussi bien par la quantité de poteries produites que par une diversification de leur usage. Les interactions entre les aires culturelles se sont accrues et d'importants réseaux d'échanges de technologies, de matières premières et d'objets se sont mis en place. Le site néolithique de Wutaishan, au centre de la plaine sédimentaire de la Song-Liao près de Nong'an (Jilin), s'inscrit dans ce contexte. Ce site d'habitat a été découvert puis fouillé en 2016 par l'Institut d'archéologie du musée de Changchun. Les fouilles ont mis au jour dix-huit fonds de cabanes et livré un corpus céramique d'une tonne de tessons pour une centaine de céramiques complètes. Le rapport de fouille ou la datation ¹⁴C n'ont pas encore été publiés. Cependant, d'après les informations à notre disposition, le site est caractéristique d'une culture bien identifiée, celle du niveau inférieur de Zuojiashan (env. 5 000 – 3 500 BC), relevant du Néolithique moyen.

Nous avons pu réaliser sur place une première analyse quantitative des tessons sur des critères morpho-stylistiques. Cette analyse fait apparaître trois groupes principaux où le groupe 1 pré- domine très largement, ce qui laisse supposer une origine locale. Cependant, que signifie la présence des deux autres groupes, très minoritaires ? Les différences se cantonnent-elles à un aspect esthétique ou bien est-ce l'influence de phénomènes divers ?

Les raisons de leur coexistence sur le site peuvent être nombreuses : fonctionnelles, chronologiques, socio-culturelles ou géographiques. Lors de cette présentation nous essaierons de répondre sur chacun de ces aspects en nous appuyant sur les résultats de l'analyse pétrographique que nous avons réalisée.

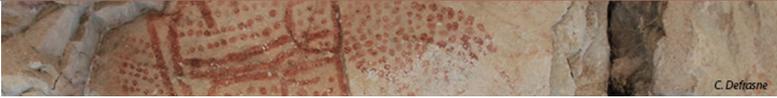
Grace à cette étude au microscope polarisant, nous avons pu mettre en avant les choix des potiers concernant la sélection et la préparation des matières premières ; quatre péto-groupe ont ainsi pu être déterminés.

Mots-Clés : Pétrographie, céramique, provenance, fonctions

THÈME 1

SESSION 1B

ANTHROPO-GÉOMORPHOLOGIE DES SITES ORNÉS, MÉMOIRES GÉOMORPHOLOGIQUES DES GESTES ANTHROPIQUES



COORDINATEURS : JEAN-JACQUES DELANNOY, ÉMILIE CHALMIN,
DIEGO GARATE

La topographie et la morphologie des sites archéologiques sont souvent appréhendées en tant qu'enveloppes physiques voire naturelles dans lesquelles s'inscrivent les occupations, activités et témoins des sociétés passées. L'approche anthropo-géomorphologique réinterroge les morphologies des sites archéologiques en les abordant en tant que « mémoires » de leur évolution et de leur transformation au cours de leur fréquentation humaine et animale. Un des enjeux de cette approche est de mobiliser dans une même chaîne d'analyse et de raisonnement les informations issues des champs de l'archéologie, de l'archéométrie, de la géochronologie et de la géomorphologie en vue de (i) reconstituer le contexte physique des sites et leurs transformations lors de leurs fréquentations, (ii) faire la part des processus naturels et des actions anthropiques et (iii) définir les dynamiques post-fréquentations pour mieux comprendre les états actuels de conservation. Cette analyse croisée met de plus en plus souvent en avant que les sites archéologiques ont été fortement transformés, modifiés, aménagés par les sociétés passées conférant ainsi aux morphologies une forte dimension culturelle, symbolique et patrimoniale.

La présentation au cours du colloque GMPCA 2021 des travaux et recherches s'inscrivant dans cette démarche volontairement croisée permettra de discuter, échanger, enrichir les concepts, méthodes et outils impliqués dans l'approche anthropo-géomorphologique.

Mots-Clés : Sites ornés, aménagements, architecture paysagère, approche anthropo-géomorphologique, géomorphologie, géochronologie,

ALTÉRATIONS ANTHROPIQUES DU PAYSAGE SOUTERRAIN DANS LA GROTTE DE NERJA AU PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR

Maria Ángeles Medina-Alcaide¹, Catherine Ferrier², José Luis Sanchidrián¹,
Luis Efrén Fernández³, José Cobos¹, Antonio Torres¹, Rosa María Ruiz-Marquez¹,
Loli Mesa¹, Ana B. Granados¹, Sonia Cosano¹, Iñaki Intxaurbe⁴, Diego Garate⁵

¹ *Universidad de Córdoba [Cordoba] – Espagne*

² *PACEA : de la Préhistoire à l'Actuel, Cultures, Environnement, Anthropologie – CNRS :
UMR5199 – France*

³ *Fundación Cueva de Nerja · Instituto de Investigación Cueva de Nerj*

⁴ *Departamento de Geología. [Leioa] Universidad del País Vasco. – Espagne*

⁵ *Universidad de Cantabria – Espagne*

La grotte ornée de Nerja se situe dans l'extrême sud de l'Europe (Andalousie). Pendant le Paléolithique supérieur et dans la Préhistoire Récente, les espaces intérieurs ont été intensément visités pour des finalités différentes (activités paléospéléologiques, artistiques, funéraires...).

Nous présenterons plusieurs modifications anthropiques du paysage souterrain décoré et leurs implications pour la compréhension de l'anthropisation de la cavité au Paléolithique supérieur. Salle de l'Orgue : elle constitue un petit espace triangulaire, située à 154 mètres de l'entrée. Presque tous les plis de la draperie formant la paroi sud sont peints des deux côtés, avec de nombreux signes simples, plusieurs zoomorphes et des taches, tous en rouge. Ce secteur présente également des vestiges archéologiques au sol correspondant à des résidus de trois systèmes d'éclairage différents : un feu fixe sur le sol, deux points d'éclairage statique et des traces noires entre les plis de la draperie et des charbons éparpillés sur de petits rebords surélevés, que nous rapportons à l'utilisation de torches.

Les activités anthropiques dans ce secteur ne se sont pas limitées à l'éclairage et à l'exécution de l'art. La transformation anthropique de cet espace est aussi perceptible par la fracturation de plusieurs des plis. Lors de l'excavation réalisée dans le sol, plusieurs de ces plis peints, brisés et brûlés. Tout cela nous incite à penser à des d'actions "iconoclastes", avec l'intention de détruire les expressions artistiques existant dans ce lieu. Enfin, au moins une forme concave a été réalisées par piquetage dans l'apex d'un pli épais de la draperie. A partir des données chronologiques disponibles, il est possible de préciser qu'il a été fréquenté au moins à deux reprises, dans les derniers instants de l'Aurignacien et dans le Gravettien. Des informations ont également été acquises à partir de l'étude anthracologique des restes charbonneux.

Salle Noire : il s'agit d'une galerie étroite, située à 222 mètres de l'entrée, sur la paroi nord de la salle du Cataclysme à 19,5 mètres au-dessus du sol. Celui-ci est parsemé de nombreux charbons dispersés, que nous avons associés à l'utilisation de torches pour

éclairer la salle. En outre, sur les parois se trouvent de nombreuses lignes et traces noires. La modification de l'espace souterrain est documentée par le déplacement et l'empilement de trois portions de grosses stalactites et leur disposition dans la chatière d'accès à la galerie. Cet aménagement est actuellement partiellement scellé par une colonne de calcite de 5 centimètres de diamètre et d'autres concrétions, ce qui lui garantit une certaine ancienneté. L'origine des stalagmites transportées a été localisée en différents secteurs adjacents à la galerie. L'anthropisation de l'entrée de cette galerie sans issue pourrait être liée à sa situation topographique. En effet, quelques mètres plus loin, se trouve le seul passage permettant l'accès aux Galeries Hautes de la grotte.

La datation au radiocarbone disponible pour cet espace indique que ce secteur a été fréquenté au moins une fois au cours du Magdalénien inférieur. Des informations ont également été apportées par l'étude anthracologique réalisée sur les restes charbonneux.

Mots-Clés : Grotte ornée, Contexte Archéologique Interne, Paléolithique Supérieur, Anthropogéomorphologique

LA MOUTHE, UNE GROTTTE AU CARREFOUR DES APPROCHES ARCHÉO-GÉOMORPHOLOGIQUES.

PROBLÉMATIQUES CROISÉES DE MÉTHODES D'ANALYSE EN GROTTTE ORNÉE À TRAVERS L'EXEMPLE D'UNE DÉCOUVERTE SÉCULAIRE

Stephane Petrognani¹, Eric Robert¹, Malvina Baumann², Morgane Calligaro¹, Laurent Crepin³, Catherine Cretin⁴, Hélène Djema^{5,6}, Diego Garate-Maidagan⁷, Marie-Anne Julien¹, Virginie Le Fillâtre², Emilie Lesvignes⁵, Stéphane Madelaine^{4,2}, María Angeles Medina-Alcaide⁸, Xavier Muth⁹, Roland Nespoulet¹, Céline Puig⁹, Olivia Rivero¹⁰, Régis Touquet¹¹, Ségolène Vandevelde⁵

1 Histoire naturelle de l'Homme préhistorique – CNRS : UMR7194, Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), Université de Perpignan – France

2 De la Préhistoire à l'Actuel, Cultures, Environnement, Anthropologie (PACEA) – CNRS : UMR5199, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) - France

3 Département Homme Environnement MNHN – CNRS : UMR7194 – Musée de l'Homme - France

4 Musée national de Préhistoire – Ministère de la Culture et de la Communication – France

5 Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn) – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7041, Ministère de la Culture et de la Communication, Université Paris Nanterre, Université Panthéon-Sorbonne - France

6 Direction régionale des affaires culturelles (DRAC SRA Ile-de-France) – Ministère de la Culture et de la Communication - France

7 Universidad de Cantabria – Espagne

8 University of the Basque Country UPV/EHU, Geography, Prehistory and Archaeology – Espagne

Découverte en 1895, la grotte de la Mouthe occupe une place à part dans la recherche en préhistoire, tant pour la reconnaissance de l'art pariétal, que par son histoire depuis sa découverte. En effet, lieu d'innovations méthodologiques (premières photographies en grotte ornée, premiers relevés de l'abbé Breuil, premiers moulages en parois...), elle en porte aussi les nombreux stigmates, tant sur les parois que la sédimentation.

Lieu d'habitat préhistorique et espace orné paléolithique, elle témoigne de fréquentations répétées depuis le Paléolithique moyen, jusqu'au Néolithique, par ses innombrables vestiges archéologiques dont une part importante, hélas, est aujourd'hui dispersée (dans divers musées de France, de Suisse, d'Angleterre, des Etats-Unis...), voire perdue.

Faire face à la multitude de ces témoignages, comme à celles des travaux, exploitations et transformations qu'a connu la grotte depuis 125 ans, telle est l'ambition d'un programme interdisciplinaire qui a démarré en 2018, dans la grotte de la Mouthe.

A l'image des nombreux questionnements qui demeurent sur ce site, finalement méconnu au regard de son importance historique majeure, elle rassemble des chercheurs de nombreuses disciplines, porteurs d'objectifs complémentaires : reconstitutions des occupations et productions humaines du Moustérien au Néolithique, des phases de décor à travers le Paléolithique supérieur, des volumes, espaces et surfaces d'origine de la grotte, etc. Pour y répondre, le choix a été fait d'associer et de combiner les spécialités et les méthodes, plutôt que d'aborder les champs séparément.

Ainsi, gestion des collections, des vestiges, collecte de la mémoire du site et de ceux qui l'ont fréquenté depuis plus d'un siècle, utilisations des tranchées préexistantes pour accéder aux remplissages (sondages ou nettoyage de coupe), topographie fine et reconstitution des volumes via la 3D, géomorphologie, géochronologie et chronostratigraphie des remplissages et occupations du Moustérien au Paléolithique supérieur, cartographie croisée des parois entre archéologie, géomorphologie et taphonomie, sont abordés de front, en commun, par les membres de l'équipe en privilégiant des outils partagés. La production de nos propres archives est à l'image de cet objectif, à travers la constitution d'une base et d'un référentiel commun, des sols aux parois.

Nous souhaitons profiter de la thématique de cette session pour présenter nos orientations méthodologiques, discuter notre approche croisée intégrative et interactive, destinée à évaluer les influences taphonomiques anthropiques, géomorphologiques ou biologiques, à la fois sur la préhistoire (depuis plusieurs dizaines de millénaires), et l'histoire (depuis plus d'un siècle) de la grotte de la Mouthe.

Mots-Clés : archéologie, grotte ornée, géomorphologie, taphonomie, datation, cartographie pariétale à haute résolution

QUANTIFICATION DE L'ACCESSIBILITÉ À L'ART RUPESTRE PALÉOLITHIQUE : PROPOSITION MÉTHODOLOGIQUE POUR L'ÉTUDE DU TRANSIT HUMAIN DANS LES GROTTES ORNÉES

Iñaki Intxaurbe¹, Diego Garate², Martin Arriolabengoa³, María Ángeles Medina-Alcaide⁴

¹ *Departamento de Geología. [Leioa] Universidad del País Vasco. – Espagne*

² *Universidad de Cantabria – Espagne*

³ *Euskal Herriko Unibertsitatea / Universidad del País Vasco*

⁴ *Departamento de Historia, Universidad de Córdoba/ Department of History – Espagne*

L'évaluation systématique de l'accessibilité à différents secteurs dans les grottes ornées paléolithiques est cruciale pour interpréter les contextes de l'activité humaine préhistoriques, surtout s'ils sont situés sur les zones les plus difficiles à atteindre. Des modèles 3D ont été utilisés dans un SIG pour traiter les informations spatiales, calculer les valeurs de coût numériques et estimer les itinéraires de transit optimaux ou les temps nécessaires pour atteindre plusieurs secteurs à l'intérieur d'une grotte, en fonction des caractéristiques morphologiques et des types de mouvement. Ceux-ci ont été obtenus grâce à des observations empiriques et à l'archéologie expérimentale. Des études géomorphologiques antérieures sont nécessaires pour déterminer tout changement géologique ou anthropique qui aurait pu se produire dans l'endokarst depuis son utilisation au Paléolithique supérieur. Cette méthode permet l'évaluation objective et quantitative de l'accessibilité aux secteurs profonds des grottes ornées, et établira ainsi des modèles récurrents ou spécifiques parmi les groupes humains qui ont créé l'art de la période glaciaire.

Mots-Clés : Géomorphologie karstique, grotte ornée, contexte archéologique interne, GIS, 3D, vitesse de déplacement spéléo haute résolution

IDENTIFICATION DES FACTEURS ET PROCESSUS PHYSIQUES, ENVIRONNEMENTAUX ET ANTHROPIQUES DE DÉLITEMENT DES PAROIS À TRAVERS UNE APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE CROISÉE

Ségolène Vandeveldel¹, Jacques Élie Brochier², Hubert Camus³, Marcel Jeannet[†],
Christophe Petit¹, Ludovic Slimak⁴

¹ *Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn) – CNRS-UMR7041, Ministère de la Culture et de la Communication, Université Paris Nanterre, Université Panthéon-Sorbonne – France*

² *Maison méditerranéenne des Sciences de l'Homme (LAMPEA) – CNRS-UMR7269,*

Un site en grotte ou sous abri ne se résume pas à ses seules couches archéologiques ; il est aussi constitué de parois qui évoluent avec le temps et qui peuvent être le siège d'un enregistrement archéologique et environnemental, tout comme le remplissage sédimentaire. Les recherches menées à la Grotte Mandrin (Drôme, France) nous ont amenés à étudier les relations entre ces deux dynamiques sédimentaires (sur les parois et au sol) notamment via l'analyse des processus clastiques et d'érosion des parois. Dans cette présentation portant sur les évolutions de la physiographie des lieux, nous nous intéresserons spécifiquement au taux de délitement des parois, à la manière de l'estimer et d'observer ses évolutions au cours du temps, aux facteurs qui l'influencent et aux informations paléo-environnementales que son étude peut apporter.

Pour ce faire, nous utilisons le "Nombre Minimal de Doublets" de calcite (NMD) qui s'est formé sur la paroi avant la chute de chaque claste étudié comme proxy pour comparer l'évolution du taux de délitement entre les couches archéologiques. Ces données sont ensuite mises en regard des informations paléo-environnementales fournies par les observations sédimentologiques et par l'analyse de la microfaune. Cette confrontation de données permet de mettre en évidence l'importance variable de la cryoclastie comme facteur de desquamation des parois. Surtout, elle révèle que l'association entre phases froides et abondance de gélifractions n'est pas nécessairement la règle. Les processus sont au contraire bien plus complexes et nous montrerons dans cette présentation l'importance du nombre de cycles gel/dégel, déterminants pour la cryoclastie qui se retrouve augmentée en périodes tempérées. Cette étude menée à partir de données de terrain, et non à partir d'expérimentations en laboratoire, permet aussi de s'intéresser à l'évolution du taux de délitement des parois et ainsi à l'importance relative des alternances gel/dégel entre les différentes unités sédimentaires pléistocènes de la Grotte Mandrin, aux conditions climatiques contrastées (de ~100 à 42 ka BP). La cavité comprend un niveau holocène (~8 000 à 1 930 BP) au sommet de son remplissage qui enregistre des séries de crémations humaines néolithiques. Nous discuterons ici de l'impact thermomécanique des crémations multiples sur le recul des parois, illustrant ainsi que ces activités funéraires dans la cavité ont constitué un facteur (anthropique) supplémentaire de l'érosion mécanique (naturelle) des parois.

Mots-Clés : géomorphologie, sédimentologie, microfaune, abri, sous, roche, délitement, carbonates, cryoclastie, occupations humaines, crémations, grotte sépulture, Paléolithique, Néolithique

L'ARCHITECTURE DE SITES D'ART RUPESTRE : ENTRE FAITS NATURELS ET CULTURELS. LES SITES DE NAWARLA GABARNMANG ET DE BOROLOGA (NORD AUSTRALIE)

Jean-Jacques Delannoy¹, David Bruno², Genuite Kim¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

² *Monash University – Australie*

³ *Laboratoire Edyem, Université Savoie Mont Blanc – France*

Les abris sous roche et les sites souterrains sont généralement considérés comme des entités physiques préexistantes aux fréquentations humaines, à leurs modifications et à leurs ornementsations. L'objet de cette présentation est de documenter les changements du contexte physique liés aux occupations et activités anthropiques et d'identifier les traces d'actions anthropiques qui ont intentionnellement conduit aux changements de la topographie et morphologie des abris sous roche ou d'espaces souterrains. De récentes recherches menées dans le nord de l'Australie (Delannoy et al., 2017 ; David et al., 2017 ; Delannoy et al., 2020) fournissent des preuves empiriques que pendant des milliers d'années, les peuples aborigènes ont modifié la forme physique des abris sous roche en enlevant des masses de roche pour créer des alcôves, restructurer les espaces intérieurs et créer des espaces propices à l'ornementation.

Le croisement des données géomorphologiques et archéologiques permet d'inscrire ces aménagements et transformations du contexte dans la temporalité des fréquentations anciennes. Les recherches archéo-morphologiques conduites sur les sites australiens de Nawarla Gabarnmang (Terre d'Arnhem) et de Boroloka (Kimberley) mettent en évidence que des sites agencés dans des quartzites ont été façonnés et modelés par les Aborigènes. Ces architectures ainsi créées ont été investies en tant que support à l'art pariétal. Ces deux exemples réinterrogent les dimensions naturelles et culturelles des paysages archéologiques et des sites d'art rupestre. Les deux exemples traités résonnent avec les travaux menés sur d'autres sites d'art pariétal ou archéologiques (grotte Chauvet, Cueva de la Garma, grotte de Bruniquel) où le concept d'anthropo-géomorphologique a été introduit.

Mots-Clés : Anthro, géomorphologie, archéo, géomorphologie, géomorphologie 3D, architecture (pré)historique, structure anthropique, art pariétal, Terre d'Arnhem, Kimberley, Australie

3D LANDSCAPE EVOLUTION RECONSTRUCTION OF THE MAGDALENIAN ROC-AUX-SORCIERS SITE (VIENNE, FRANCE)

Kim Genuite¹, Geneviève Pinçon², Jean-Jacques Delannoy¹, Oscar Fuentes³,
Stéphane Jaillet¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

² *Directrice du Centre National de Préhistoire – Centre National de Préhistoire – France*

³ *Ethnologie Préhistorique – UMR 7041 ArScAn - ANTET – France*

The Roc-aux-Sorciers site, located in France, in the New-Aquitaine region, is shaped in a rock shelter that is located in a meandering concavity. Its excavation revealed bas-reliefs carved in Oxfordian limestone when it was discovered in 1927. These sculptures were attributed to the Magdalenian period by dating the underlying archaeological levels (from about 19 ka to 13 ka cal. BP (IntCal 13)). The study of the morphological context of the site (rock shelters at the foot of the walls, collapse), helped to better constrain the occupation phases, particularly regarding the sedimentary filling of the site and the collapse of the rock walls. The reconstruction resulting from this study is a combination of the geomorphological approach combined with the results of the previous archaeological excavations. The 3D mapping combined with geomorphological analysis of the site's surroundings allows to reconstruct the site's morphological evolution before, during and after the Magdalenian frequentations.

Mots-Clés : Roc, aux, Sorciers, Magdalenian, 3D survey, landscape evolution, geoarcheology, geomorphology

DE L'EXPRESSION PARIÉTALE SCHÉMATIQUE À LA GÉOGRAPHIE CULTURELLE DU NÉOLITHIQUE EUROPÉEN. LE NÉCESSAIRE DÉVELOPPEMENT D'APPROCHES INTÉGRÉES

Claudia Defrasne¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

L'expression schématique rupestre néolithique, présente de la péninsule ibérique au Piémont italien, est abordée comme un vecteur de compréhension des sociétés du Néolithique ouest-européen. Vestige matériel, indice d'une socialisation de l'environnement,

le vestige graphique s'enracine dans un territoire culturellement construit. La sémiotique cognitive nous informe que le schématisme n'est pas un style mais un registre cognitif transculturel employé à la communication. L'expression schématique se trouve ainsi actrice et indice de la transmission d'états mentaux, de représentations collectives et de leurs (ré)appropriations régionales et est en mesure d'aider à la restitution de la géographie culturelle néolithique et des dynamiques d'échanges et de circulation qui l'ont animée. Ceci requiert de développer une approche intégrée et multiscalaire pour aborder le vestige graphique dans la pluralité de ses dimensions (archéologie, anthropologie sociale, sémiotique cognitive et pragmatique de la culture visuelle, psychologie cognitive) et de ses matières et supports (géomorphologie, caractérisation physico-chimique des matières colorantes). Seront présentés des exemples d'application à quelques abris à peintures alpins.

Mots-Clés : art rupestre, Néolithique, Alpes, schématisme, approche intégrée

**LE SITE ARCHÉOLOGIQUE ET SON CADRE PHYSIQUE : APPORTS DE
L'APPROCHE GÉOMORPHOLOGIQUE MULTI-SCALAIRE DANS L'ÉTUDE
CHRONO-CULTURELLE D'UN SITE D'ART RUPESTRE.
APPLICATION AU SITE DE
CHUCHUWAYHA (COLOMBIE BRITANNIQUE, CANADA)**

Julien Jacquet¹, Jean-Jacques Delannoy¹, Anita Quiles², Jean-Michel Geneste³,
Susan Rowley⁴, Brenda Gould⁵, Johan Berthet⁶

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

² *Institut français d'archéologie orientale du Caire – Égypte*

³ *Laboratoire PACEA, CNRS-UMR 5199, Université de Bordeaux, Pessac, France*

⁴ *Museum of Anthropology - University of British Columbia – Canada*

⁵ *Simon Fraser University – Canada*

⁶ *STYX4D*

La concentration importante de sites d'art rupestre de la vallée Similkameen (Colombie Britannique, Canada) lui confère une place particulière dans l'étude de la culture traditionnelle des Plateau Microblades. L'abri sous-roche de Chuchuwayha qui en est un des sites majeurs, se situe le long d'une route ancestrale reliant la Côte Pacifique à la région intérieure de l'Okanagan. Son ornementation et la conservation de ses niveaux culturels ont été l'objet d'études archéologiques pionnières en Colombie britannique (Teit, 1928 ; Caldwell, 1947 à 1952 ; Armstrong et al., 1993 ; Copp, 2006). Depuis 2018, de nouveaux travaux ont été engagés dans le cadre d'un programme franco-canadien. L'objectif est de

préciser le cadre chrono-culturel de Chuchuwayha en intégrant dans une même chaîne de raisonnement les données ethno-archéologiques, archéologiques, sédimentaires et morphogéniques. Dans cette approche intégrative, les apports de l'approche géomorphologique sont de différents ordres : fixer le cadre physique dans lequel s'inscrit le site archéologique, définir les différentes étapes de sa mise en place et définir l'état des parois syn- et post-ornementation. Une des étapes initiales à toute approche archéo-géomorphologique est de préciser l'enveloppe du cadre d'étude pour disposer du plus large et précis spectre de supports de datation. Cette étape passe par l'identification préalable des surfaces-repères topographiques qui structurent le site et son environnement physique. Il est question de comprendre leur nature, leur évolution propre mais surtout leur articulation entre-elles afin de disposer de la plus large base de raisonnement possible pour appréhender leur mise en place et leur temporalité. Cette démarche a été appliquée au site de Chuchuwayha et à la vallée de la Similkameen. Différentes échelles d'analyse ont été distinguées : (1) celle du bassin versant pour préciser l'évolution générale de la vallée depuis le Dernier Maximum Glaciaire ; (2) échelle du transect de la vallée au droit du site pour définir les emboitements des morphologies entre les versants et le fond de vallée ainsi que la place du site au contact versant/terrasses alluviales ; (3) échelle des objets géomorphologiques proches de l'abri pour affiner les analyses sur des formations sédimentaires et leurs emboitements avec les évolutions de paroi. Cette approche multi-scalaire a permis de renseigner quatre grandes phases morphogéniques et les conditions d'évolution paléogéographiques qui leur sont associées. Elles ont permis de définir une chronologie relative robuste d'évolution du paysage physique dans lequel a évolué le site au cours de ces fréquentations. La création de cette base de référence spatio-temporelle permet d'engager l'étape suivante : celle des datations absolues. Cette approche, par étapes successives à différentes échelles d'analyse, est aujourd'hui appliquée à d'autres sites d'art rupestre de montagne (Alpes).

Mots-Clés : Abri sous, roche, art rupestre, archéo, géomorphologie, multi, échelle, morphogénèse, paléogéographie

**CARACTÉRISATION DES PROCESSUS MORPHOGÉNIQUES À L'ŒUVRE
SUR LES SITES ORNÉS DE PLEIN-AIR EN MILIEU TROPICAL HUMIDE :
L'EXEMPLE DES ROCHES GRAVÉES PRÉCOLOMBIENNES DE
TROIS-RIVIÈRES (GUADELOUPE, PETITES ANTILLES)**

Julien Monney¹, Jean-Jacques Delannoy¹, Johan Berthet², Christian Stouvenot^{3,4}

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie*

L'art rupestre de Guadeloupe se présente sur des blocs de dimensions variables dont le caractère souvent mobile interroge quant aux déplacements qu'ils ont pu subir avant et/ou après ornementation, ainsi qu'à la nature de ces déplacements. L'identification des processus naturels et/ou anthropiques à l'œuvre au sein de ces sites de plein-air (gravitaires, biologiques, hydrologiques...), de même que leur chronologie relative, s'avèrent alors cruciales afin d'appréhender d'une part, la morphologie initiale des lieux au moment de l'ornementation, mais également l'évolution générale des sites et les remobilisations postérieures ainsi que d'éventuels aménagements anthropiques de blocs contemporains de l'ornementation. Cette étape est par ailleurs un préalable essentiel à la discussion des pratiques socio-culturelles associées à la création d'art rupestre aux périodes précolombiennes. Afin de caractériser les processus morphogéniques à l'origine de la géométrie des ensembles gravés et de leur répartition dans l'espace une approche archéo-géomorphologique a été menée sur deux espaces ornés du complexe de sites de Trois-Rivières (Parc Archéologique des Roches Gravées et lieu-dit Petit-Carbet). Cette approche s'est appuyée sur une cartographique géomorphologique à haute résolution, associée à une numérisation 3D.

En dehors des actions anthropiques modernes ou coloniales, l'analyse met en évidence des actions phytomécaniques dans le déplacement des roches gravées. La prise en compte de ces différents processus permet de restituer l'agencement de blocs gravés au moment de leur ornementation. Elle fait notamment ressortir l'existence d'ensembles organisés de dimensions modestes dont l'agencement ne peut être mis sur le compte de processus naturels et dont l'ancienneté précolombienne est soulevée. L'analyse anthropo-géomorphologique offre au final la possibilité de discuter de l'état de structuration des ensembles ornés de Trois-Rivières et de ses implications socio-culturelles au regard des agencements de blocs connus ailleurs dans la Caraïbes (terrains de jeu de balle, batey ou autres).

Mots-Clés : Roche gravée, art rupestre, époque précolombienne, archéo, géomorphologie, processus morphogéniques, Trois Rivières, Guadeloupe, Aire caribéenne

INVESTISSEMENT SOCIAL ET COÛTS DE PRODUCTION : UNE NOUVELLE APPROCHE ÉCONOMIQUE À L'ART PARIÉTAL PALÉOLITHIQUE

Diego Garate¹, Olivia Rivero², Martin Arriolabengoa³, María Ángeles Medina-Alcaide⁴,
Iñaki Intxuarbe³

¹ IIIIPC-Universidad de Cantabria – Espagne

² Universidad de Salamanca – Espagne

³ Euskal Herriko Unibertsitatea – Espagne

⁴ Universidad de Córdoba – Espagne

La production graphique pariétale est peut-être la plus impressionnante de toutes les activités développées par les groupes de chasseurs-cueilleurs au Paléolithique supérieur en Europe. Du point de vue de la recherche scientifique, l'analyse archéologique de cette activité graphique dépasse potentiellement la création artistique elle-même. C'est à dire, l'engagement des ressources humaines et matérielles destinées à la production symbolique est un aspect qui peut et doit être traité et évalué, à partir de la perspective globale de l'étude des grottes ornées.

Il ne fait aucun doute que l'anthropisation des grottes avec des manifestations graphiques paléolithiques va au-delà de leur réalisation, englobant également des actions très diverses - volontaires ou fortuites - telles que l'altération thermique des surfaces endokarstiques, les impressions de parties anatomiques ou d'objets, les transformations géomorphologiques de l'espace naturel, l'extraction de matières premières et le dépôt de matériaux de diverses natures. Chacune de ces actions se matérialise dans les différents vestiges archéologiques enregistrés dans ces sites.

L'étude interdisciplinaire de ces vestiges de l'activité humaine à l'intérieur des grottes fournit un large éventail d'informations qui comprend, entre autres : quand les sociétés préhistoriques sont entrées dans la grotte (par exemple, la datation radiométrique des charbons et des os) ; à quoi ressemblait la scène karstique anthropisée ou comment ils ont progressé à l'intérieur (par exemple, étude géomorphologique et d'accessibilité) ; quel a été le combustible utilisé pour l'éclairage et sa durée et son intensité (par exemple, étude anthracologique des charbons et analyse des zones rubéfactées) ; quel était le sexe, l'âge ou les pathologies des personnes auteurs des œuvres d'art (étude anthropologique des restes humains, des empreintes humaines et de l'écriture manuscrite) ; quels matériaux ils transportaient et quel usage ils en ont fait à l'intérieur des grottes (par exemple, étude traceologique des pièces lithiques), etc.

À travers l'étude des différentes chaînes opérationnelles qui interfèrent avec la création artistique, nous pouvons établir la valeur économique et le degré de complexité dérivés des actions symboliques. De cette manière, nous pouvons reconstruire les efforts maté-

riels et humains consacrés par les sociétés paléolithiques à l'activité symbolique dans les grottes.

Finalement, cette perspective de recherche s'agit d'évaluer l'importance sociale de ces activités, comme facteur déterminant pour comprendre et interpréter leur signification.

Mots-Clés : grotte ornée, chaînes opératoires, géomorphologie, production, coûts

POSTERS - SESSION 1B

DES POINTS AUX TRAITS : APPORT DES DONNÉES 3D À LA CARTOGRAPHIE ANTHROPO-GÉOMORPHOLOGIQUE À HAUTE RÉSOLUTION SPATIALE [S1B_P01]

Jules Kemper¹, Jean-Jacques Delannoy¹, Stéphane Jaillet¹, Pablo Arias²,
Ontañón Roberto³, Deplhine Dupuy⁴

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

² *Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria [Santander] (IIIPC) –
Edificio Interfacultativo Avda. de los Castros,s/n Tel. 942 202090 E-39005 Santander
Cantabria, Espagne*

³ *Director Museo de Prehistoria y Arqueología de Cantabria y de Cuevas Prehistoricas
de Cantabria – Espagne*

⁴ *Responsable gestion et développement de la Grotte de Saint-Marcel – Mairie de Saint-Marcel
– France*

Si les paysages possèdent une double dimension, médiale et anthropique, le cadre physique des sites archéologiques est généralement abordé sous le seul aspect naturel. Or de récents travaux ont souligné que la morphologie de nombreux sites archéologiques a l'empreinte d'actions et de transformations anthropiques. Celles-ci, même infimes, changent le statut du site et lui confère un statut de "paysage". L'étude de Nawarla Gabarnmang (Australie), de La Garma (Espagne), des grottes Chauvet et de Bruniquel (France) a souligné cette dimension particulière des sites ornés en distinguant dans le paysage souterrain les processus naturels et les actions anthropiques. Un des enjeux de l'anthropo-géomorphologie est de comprendre la facture de l'espace souterrain en intégrant les gestes humains. Cela passe par l'identification des moteurs (naturels, animal ou humain) de toutes les formes observables, de leur répartition spatiale et de leur emboîtement. L'échelle de certains objets étudiés dans cette perspective (spéléothèmes brisés, blocs déplacés, etc.) oblige à (re)penser l'échelle d'observation, d'acquisition des don-

nées et de leur représentation cartographique. Ce faisant l'objet anthropo-géomorphologique oblige à réfléchir à des supports de relevé précis et exhaustifs ; notamment par le biais de techniques de discrétisation 3D. Ainsi l'utilisation de MNT millimétriques à une échelle au 100^{ème}, voire moindre, et la mobilisation de différents traitements numériques d'image (ombrage, degré de pente) forme un panel d'outils utiles, voire indispensables, pour dresser une cartographie précise et détaillée des sites archéologiques et ainsi discriminer la part des transformations du relief par des actes volontaires et réfléchis des communautés anciennes.

Mots-Clés : Anthropo, géomorphologie, MNT, Cartographie, Grotte

DES STALAGMITES À CUPULES UTILISÉES COMME DISPOSITIF D'ÉCLAIRAGE : RÉFÉRENTIELS POUR DISTINGUER UNE ORIGINE NATURELLE D'UN AMÉNAGEMENT ANTHROPIQUE [S1B_P02]

Catherine Ferrier¹, Léna Bassel¹, Jean-Claude Leblanc², María Ángeles Medina-Alcaide³

¹ PACEA : *de la Préhistoire à l'Actuel, Cultures, Environnement, Anthropologie* – CNRS : UMR5199 – France

² TRACES : *Travaux et Recherches Archéologiques sur les Cultures, les Espaces et les Sociétés.* UMR5608 – CNRS – France

³ *Departamento de Historia, Universidad de Córdoba/ Department of History* – Espagne

Des stalagmites comportant une dépression à leur sommet ont été observées dans différentes grottes, occupées ou non au Paléolithique. Certaines d'entre elles ont été utilisées comme dispositif d'éclairage, par exemple dans la grotte ornée de Nejra en Espagne.

L'objectif de notre étude est d'identifier la genèse de ces dépressions : s'agit-il d'une formation naturelle par corrosion biochimique ou d'un aménagement anthropique ? Deux démarches conjointes ont été entreprises pour établir des référentiels de comparaison : 1 – Etude par archéologie expérimentale du comportement mécanique de la calcite.

Les matériaux utilisés sont une stalagmite provenant du site de Coudoulous (Lot) et deux galets siliceux provenant des alluvions de la Garonne. Notre démarche s'appuie sur des méthodes techno-opératoires acquises dans le cadre de la réalisation de lampes à graisse en calcaire (Programme LAsCO [1]). Le protocole comprend trois étapes : la préparation du plan de travail (écrêtement par percussion directe du sommet de la stalagmite), l'amorçage de la cupule par percussion glissée, la concrétion étant statique puis son creusement, la stalagmite étant mobile en rotation.

La taille de la calcite génère des stigmates de rupture mécanique caractéristiques : la propagation de l'onde de choc provoque le décollement des lamines sur les bords de la

cupule et la surface interne de celle-ci présente un aspect piqueté, en raison de l'organisation et de la morphologie des cristaux de calcite. Les déchets produits sont des éclats détachés du bord et de la poudre de calcite issue de la pulvérisation du matériau lors du frottement dû à l'utilisation du perceur.

2 – Etude archéométrique de cupules produites par corrosion biochimique.

L'altération biochimique des concrétions, due à la présence de colonies de chauves-souris, a été mentionnée dès les années 70. Cependant, la rareté des études géochimiques et minéralogiques sur les transformations de la calcite nous conduit à élaborer un référentiel, sur la base de méthodes non vulnérantes pouvant être déployées *in situ* dans les sites d'intérêt patrimonial. Il a été réalisé dans la grotte de Leye (Dordogne) à partir de l'analyse d'une cupule créée par biocorrosion au sommet d'une stalagmite. Les méthodes portables mises en œuvre sont les suivantes : spectrométrie de fluorescence des rayons X, spectrométrie Raman et Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). L'étude par XRF a permis d'associer les états de surface des concrétions, à la fois dans et hors de la cupule et le degré de corrosion biochimique, par la reconnaissance du phosphore. Des tests préliminaires en laboratoire ont été menés pour optimiser le réglage de l'appareil afin d'obtenir le meilleur signal et s'affranchir du pic d'échappement de la calcite. Par ailleurs, des mesures sur des éléments riches en hydroxyapatite (ossements, cailloux calcaires altérés) ont servi de comparaison.

LAsCO : "Lascaux reconnu ? Contextualisation des sols paléolithiques de la cavité – Projet Collectif de Recherches – 2018-2020" – Porté par M. Langlais et S. Ducasse, UMR 5199 PACEA.

Mots-Clés : Paléolithique, lampe, mode opératoire, calcite, biocorrosion, archéométrie

LA RÉAPPROPRIATION DES ESPACES SYMBOLIQUES SOUTERRAINS AU PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR : UNE NOUVELLE PROPOSITION MÉTHODOLOGIQUE DE SYSTÉMATISATION ET ANALYSE [S1B_P03]

Lucía María Díaz-González¹, Diego Garate²

¹ *Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira – Espagne*

² *Universidad de Cantabria – Espagne*

Nous présentons notre objectif principal de développer une nouvelle méthodologie pour l'étude de l'art rupestre qui nous permette de mieux comprendre les codes culturels humains développés au Paléolithique supérieur. Cette méthodologie aborde l'étude des dessins à partir de perspectives d'analyse spatiale, temporelle, technique et stylistique, appliquant de nouvelles méthodologies à l'art (Matrix Harris, indices de récurrence et types de superposition) afin de systématiser et d'analyser le comportement humain.

Il s'agit donc d'améliorer la compréhension des systèmes de réappropriation de l'espace souterrain à travers le Paléolithique supérieur, en se concentrant sur l'étude des grottes avec des évidences d'usages récurrents. L'application de cette méthodologie dans certains panneaux diachroniques dans des grottes de la région cantabrique, nous a permis de vérifier deux faits. D'une part, nous avons identifié des figures qui jouent un rôle principal dans ces panneaux, comme un lien entre les différentes phases décoratives, qui les mettent en relation avec le concept de sanctuaire paléolithique (Breuil, 1952 ; Laming-Emperaire, 1962 ; Leroi-Gourhan, 1964, 1965 ; Freeman, 2005). Et, d'autre part, nous avons localisé des exemples de réutilisation de figures dans des périodes postérieures à leur réalisation, à la suite de l'interprétation ethnoarchéologique des sites d'agrégation (Lee, 1976, 1979 ; Conkey, 1980 ; Lorblanchet, 1980, 1994).

Par conséquent, cette méthode d'étude franchit une étape supplémentaire dans la compréhension du comportement des sociétés qui ont habité la région cantabrique pendant cette longue période, en relation avec leurs manifestations graphiques pariétales.

Bibliographie:

BREUIL, H. 1952. 400 Siècles d'Art Pariétal. Les cavernes ornées de l'âge du renne.

Montignac: Centre d'Études et de documentation préhistoriques.

FREEMAN, L.G. 2005. La cueva como santuario paleolítico. En: LASHERAS CORRUGHAGA, J.A.; GONZÁLEZ ECHEGARAY, J. (dir). El significado del Arte Paleolítico. Madrid: Secretaría General Técnica, Ministerio de Cultura, pp. 163-180.

CONKEY M.W. 1980. The Identification of Prehistoric Hunter-gatherer Aggregation Sites: the Case of Altamira. *Current Anthropology*, 21, 5, p. 609-360.

LAMING-EMPERAIRE, A. 1962. La signification de l'art rupestre paléolithique. Méthode et applications. Paris: Université de Paris, Editions A. et J. Picard et Cie.

LEE, R.B. 1976. !Kung socio-spatial organization. En: LEE, R.B.; DEVORE, I. (eds).

Kalahari hunter-gratherers. Cambridge: Harvard University Press, pp. 73-97.

LEE, R.B. 1979. The !Kung San: Men women, and work in a foraging society. Cambridge: Cambridge University Press.

LEROI-GOURHAN, A. 1964. Les Religions de la Préhistoire. Paris: Presses Universitaires de France.

LEROI-GOURHAN, A. 1965. Préhistoire de l'art occidental. Paris: Mazenod.

LORBLANCHET, M. 1980. Les gravures de l'Ouest australien, leur rénovation au cours des âges. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 77, fascicule 10-12, pp. 463-477.

LORBLANCHET, M. 1994. Le mode d'utilisation des sanctuaires paléolithiques. En: LASHERAS, J.A. (ed). Homenaje al Dr. Joaquín González EcheGARAY. *Monografías del Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira*, no. 17. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2013, pp. 235-251.

Mots-Clés : Art rupestre, Réappropriation, Espaces symboliques souterrains, Paléolithique supérieur

THÈME 1

SESSION 1C

PARCOURIR, VIVRE ET EXPLOITER LA MONTAGNE : REGARDS CROISÉS ET ARCHIVES DES PRATIQUES ET DES ENVIRONNEMENTS PASSÉS



COORDINATEURS : CHARLINE GIGUET-COVEX, ERWAN MESSAGER,
LUCIE MARTIN, KEVIN WALSH

L'organisation du colloque du GMPCA à Chambéry avec une forte implication du laboratoire EDYTEM sera l'occasion de partager avec une large communauté une des thématiques de prédilection du laboratoire : l'histoire de la montagne, de son environnement et de son exploitation. Ce milieu, à la fois attractif grâce à ses nombreuses ressources minérales et biologiques, mais aussi contraignant d'un point de vue climatique et topographique, attire les populations depuis la Préhistoire. Les communautés humaines qui s'y sont installées de manière pérenne ou saisonnière, ont dû s'adapter et adopter des techniques et des pratiques bien spécifiques, soulevant de nombreuses questions concernant :

- l'histoire de l'occupation de ces milieux, incluant l'exploitation et la gestion des ressources ;
- la place qu'occupent les montagnes au sein de réseaux d'échanges économiques et culturels ;
- les interactions avec cet environnement particulier soumis à des aléas climatiques et des risques naturels, comme les crues, les éboulements et les avalanches.

D'un point de vue méthodologique, se posent aussi les questions de comment et à quelles échelles peut-on mesurer la présence et l'impact des hommes sur ces milieux. L'identification des macro- et des micro-restes végétaux (graines, charbons, pollen, phytolithes), des restes fauniques, les analyses physiques et géochimiques (élémentaires, isotopiques) ou encore la biologie moléculaire permettent d'identifier les activités économiques telles que le pastoralisme, l'agriculture ou les activités minières, ainsi que

les processus de mobilité (verticale) des hommes et des troupeaux, la saisonnalité, la gestion des espaces forestiers, la création de pâturages, etc.

Cette session se veut interdisciplinaire et a pour objectif de présenter des approches multiples et intégrées mobilisées autour des sites en milieu de montagne et regroupant des archéologues et bio-archéologues spécialistes de la culture matérielle (lithique, céramique, art rupestre...) et de l'analyse des vestiges d'origine biologique (flore, faune) ainsi que des paléoenvironmentalistes exploitant les archives naturelles (lacs, tourbes, spéléothèmes...).

Les nouvelles méthodes et/ou approches combinant archives archéologiques et naturelles mettant l'accent sur les verrous que cela permet de lever, seront particulièrement attendues car elles permettent d'approfondir nos connaissances des interactions homme-milieus au-delà des limites propres à chaque discipline.

Mots-Clés : montagne, altitude, mobilité verticale, bioarchéologie, archives naturelles, agro-pastoralisme, mines

DYNAMIQUE ENVIRONNEMENTALE, MOBILITÉ DES GROUPES HUMAINS ET FONCTION DES SITES À LA FIN DU PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR ENTRE ALPES FRANÇAISES DU NORD ET JURA MÉRIDIONAL

Gilles Monin¹, Christophe Griggo², Ingrid Gay³, Christine Oberlin⁴, Pierre Bintz⁵, Régis Picavet⁶

¹ *Chercheur Indépendant, 4 rue de Valbonnais 38 000 Grenoble - France*

² *Université Grenoble Alpes, Laboratoire EDYTEM, UMR5204, Maître de conférence – France*

³ *Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire, Europe, Afrique (LAMPEA) – UMR 7269 Aix-Marseille Université, CNRS, MMSH, Chercheur associé – France*

⁴ *Laboratoire ArAr UMR 5138, Villeurbanne, CNRS – France*

⁵ *Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire, Europe, Afrique (LAMPEA) – UMR 7269 Aix-Marseille Université, CNRS, MMSH, maître de conférence, Chercheur associé – France*

⁶ *Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire, Europe, Afrique (LAMPEA) – UMR 7269 Aix-Marseille Université, CNRS, MMSH, Chercheur associé – France*

A la fin du Pléistocène, suite à la décrue glaciaire, le peuplement humain des Alpes du Nord françaises et du Jura méridional débute peu avant 14 000 BP. C'est le début d'une présence qui ne sera plus interrompu jusqu'à nos jours.

Dans une démarche intégrant la datation absolue (¹⁴C), les données paléoenvironnementales sur l'évolution de la végétation, les faunes chassés et la saisonnalité d'abattage des proies, ainsi que l'approche culturelle et la localisation altitudinale des occupations, nous mettrons en évidence les stratégies de subsistance appliquées dans cet espace montagnard par les chasseurs du Tardiglaciaire. Au cours de cette période, la pénétration de la chaîne alpine et du Jura par les groupes humains n'a pas livré de témoins au-delà des massifs subalpins. Dans ce contexte de fin de glaciation la montée en altitude des populations est conditionnée par le climat qui influe directement sur l'environnement et l'espace exploitable disponible. Ainsi les témoins de présence humaine culminent à 1250 m d'altitude au Magdalénien et 1500 m à l'Azilien. La limite altitudinale des sites habités ne dépasse pas l'étage montagnard l'actuel.

L'organisation des occupations humaines se répartit entre, d'une part des, sites à vocation résidentielle saisonnière, localisés en fond de vallée des piémonts, caractérisés par une diversification des activités techniques, ainsi que la présence d'art mobilier, et, d'autre part, des sites considérés comme des haltes de chasse satellites, souvent plus enclavés, utilisés pour des activités cynégétiques saisonnières de courte durée. Le tout correspond un système logistique d'exploitation du territoire, basé sur une forte mobilité des populations de chasseurs. Il traduit une optimisation saisonnière des ressources cynégétiques offertes par les diverses niches écologiques telles que les fonds de vallées et les piémonts (Renne et Cheval au Magdalénien ; Cerf - Chevreuil, Sanglier - à l'Azilien)

les versants rocheux - milieux rupicoles (Bouquetin), et les pelouses alpines (Marmotte).

Mots-Clés : montagne, altitude, paléoenvironnement, mobilité verticale, stratégies de subsistance, Paléolithique supérieur, archéozoologie, saisonnalité, datation radiocarbone

DYNAMIQUES MILLÉNAIRES DE LA VÉGÉTATION ET DES PRATIQUES AGRO-PASTORALES SUR DEUX SITES DES ALPES DU NORD : LA TOURBIÈRE DES GLIÈRES ET LE LAC DES LAOUCHETS

Andréa Julien¹, Quentin Pourrier¹, Charline Giguet-Covex¹, Elise Doyen²,
David Etienne³, Erwan Messenger¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac cedex, France*

² *Paleobotanab – France*

³ *UMR CARTELE, INRAE, Université Savoie Mont-Blanc, Thonon, France*

Les études paléoécologiques réalisées sur l'ensemble de la chaîne alpine ont permis de reconstruire l'évolution de la végétation depuis le début de l'Holocène et d'identifier les différents facteurs (climatiques et/ou anthropiques) qui ont influencé les dynamiques végétales. Ces changements ne sont pas homogènes sur l'ensemble des Alpes, des différences de trajectoires des socio-écosystèmes sont en effet observées à l'échelle régionale et/ou locale.

Afin d'obtenir la meilleure résolution possible des reconstructions paléoenvironnementales, il est nécessaire de multiplier les sites d'étude. Dans cette communication, nous présenterons donc deux nouveaux sites : la tourbière des Glières (1435 m, Massif des Bornes) et le lac des Laouchets (2142 m, Massif du Haut-Giffre). Sur ces deux sites, nous avons croisé les analyses du pollen, des spores de champignons coprophiles, de l'ADNe et des macro-charbons. Ces travaux ont livré de nouvelles informations sur les interactions homme-milieu, permettant ainsi d'identifier l'impact des activités anthropiques sur le paysage depuis 7 000 ans dans deux secteurs différents de Haute-Savoie.

Les dynamiques de végétation qui ont été reconstruites sur ces deux sites sont assez cohérentes avec les autres enregistrements régionaux, malgré quelques disparités locales. Dans les deux cas, une phase dominée par le sapin est observée jusqu'à 4500 cal BP. Le déclin du sapin laisse place à l'expansion de l'épicéa dans les étages supérieurs et l'essor du hêtre et de l'aulne (vert) dans les étages inférieurs. Dans les deux enregistrements, l'Antiquité marque le début de phases très intenses d'activités agro-pastorales dans ces milieux de montagnes. Alors que les indicateurs d'activités pastorales augmentent, le début de la période Romaine dans l'enregistrement des Glières est caractérisé par l'appa-

rition des premières espèces issues de l'arboriculture (noyer, châtaignier). En revanche, celles-ci ne sont enregistrées aux Laouchets que plus tardivement, au début du Moyen-Age. A la suite de ces deux millénaires d'intensification des pratiques agropastorales, une phase de reforestation est observée sur les deux sites, conséquence de la déprise agricole ayant eu lieu au cours du 20^{ème} siècle.

L'étude de ces deux sites a permis d'identifier des similitudes, mais aussi quelques disparités à l'échelle locale. En effet, l'enregistrement des différentes pratiques anthropiques, propres à chaque bassin versant, est en partie masqué par les pluies polliniques régionales. Pour mieux discerner les contributions locales et régionales des étages de végétation et des différentes pratiques agropastorales, nous aurons recours à la modélisation dans le cadre d'une thèse (nommée MODALP) qui débute au laboratoire EDYTEM.

Mots-Clés : Pollen, ADN environnemental, Montagne, Paléoécologie, Pratiques agro-pastorales

NOURRIR LA TERRE, NOURRIR LE TROUPEAU EN MONTAGNE : APPROCHES BIOARCHÉOLOGIQUES ET ISOTOPIQUES D'UN SYSTÈME AGROPASTORAL NÉOLITHIQUE

Lucie Martin^{1,2}, Claire Delhon³, Estelle Herrscher⁴, Thierry Blasco⁵,
Maryline Montanes⁶, Manon Vuillien³, Lionel Gourichon³, Cédric Lepère³,
Janet Battentier¹, Guy André⁴, Alain Carré³, Arnaud Mazuy³

¹ *Université de Genève, Laboratoire d'archéologie préhistorique et anthropologie – Uni Carl-Vogt, Carl-Vogt 66, 1211 Genève 4, Suisse*

² *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

³ *Culture et Environnements, Préhistoire, Antiquité, Moyen-Age (CEPAM) – CNRS : UMR7264, Université de Nice Sophia-Antipolis – France*

⁴ *UMR 7269 LAMPEA – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Aix Marseille Université (Aix-en-Provence), Ministère de la Culture et de la Communication – France*

⁵ *LOV – Université Pierre et Marie Curie - Paris 6, CNRS : UMR7093, INEE, INSU – France*

⁶ *Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (LOV) – Université Pierre et Marie Curie [UPMC] - Paris VI, CNRS-UMR7093 – France*

Le site de Pertus 2 (Méailles, 04) est un exemple des "grottes-bergeries" qui se développent à partir du Néolithique dans le Sud de la France. Ces sites, en grotte ou sous abri, sont souvent localisés dans des zones plutôt montagneuses et se caractérisent par un remplissage sédimentaire largement issu d'accumulations de fumier, témoignant de leur utilisation à des fins pastorales. Leur place dans le système agro-pastoral, leur lien avec les grands sites de plein-air connus en plaine et sur les terrasses alluviales et dont

la vocation agricole semble plus marquée, la saisonnalité de leurs occupations et les pratiques pastorales auxquelles ils renvoient posent question.

A Pertus 2, les conditions de conservation des restes bioarchéologiques sont particulièrement favorables. La richesse des spectres botaniques et fauniques évoque pour le Néolithique moyen et final (3850-3000 av. n.è.) un système agropastoral élaboré, associant cultures et élevage diversifiés, dans une zone d'écotone entre végétation méditerranéenne et montagnarde, à 1000 m d'altitude. L'archéobotanique suggère un affouragement du bétail avec des branches de feuillus et peut-être aussi, avec des sous-produits du traitement des céréales et/ou des légumineuses. La diversité des productions agricoles (céréales, légumineuses) permet d'envisager, à titre d'hypothèse, des pratiques de fertilisation des champs.

Afin de mieux évaluer la part des végétaux sauvages et des résidus du traitement des récoltes dans l'alimentation du bétail et de rechercher des indices de fertilisation des sols, par apport de fumier et/ou par des pratiques culturales associant céréales et légumineuses (fixatrices de N₂), nous avons eu recours aux isotopes stables du carbone et de l'azote. Dans le cadre du projet AgroPastCN (défis ISOTOP, MITI-CNRS), les $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ d'un vaste corpus de vestiges archéobotaniques et archéozoologiques servent à tracer les flux de matière entre sphère agricole et sphère pastorale. Par ailleurs, la constitution d'un référentiel actuel de céréales obtenues en co-culture avec des légumineuses vise à établir le signal isotopique de l'utilisation de ces dernières comme "engrais vert".

Pour mieux comprendre les modes d'affouragement du troupeau et l'importance de cette pratique par rapport au pâturage, une large palette de restes végétaux rentre dans notre corpus : légumineuses, céréales (grains et balle, dont les signaux isotopiques et l'usage différent), mais aussi végétaux sauvages, qui feront l'objet d'une mesure directe, rendue possible par la préservation exceptionnelle de bourgeons, fruits et feuilles d'arbres. Habituellement, les valeurs de ces plantes sont déduites des mesures effectuées sur les herbivores sauvages. Par ailleurs, en plus des analyses du collagène total, certains ossements font l'objet de mesures sur acides aminés spécifiques (CSIA *Compound Specific Isotope Analysis*). Il s'agit de déterminer précisément le $\delta^{15}\text{N}$ de l'alimentation des herbivores domestiques, en analysant séparément la phénylalanine (acide aminé essentiel, apporté par l'alimentation) et la glutamine (acide aminé non-essentiel, synthétisé par les herbivores).

Les travaux menés à Pertus 2 ces dernières années, s'intègrent dans une dynamique de développement des approches isotopiques en bioarchéologie. Au-delà des enjeux méthodologiques qu'ils comportent, ils visent à apporter un éclairage nouveau sur le fonctionnement des systèmes agropastoraux néolithiques.

Mots-Clés : systèmes agropastoraux, isotope stables, archéobotanique, archéozoologie, Alpes

APPROVISIONNER UN SITE DE HAUTE ALTITUDE DANS LES ALPES POENINES À L'ÉPOQUE ROMAINE : ANALYSES BIOARCHÉOLOGIQUES SUR LE MUR (DIT) D'HANNIBAL (2650 M A.S.L., VALAIS, SUISSE)

Alexa Dufraisse¹, Lucie Martin^{2,3}, Jacqueline Studer², Fabien Langenegger⁴,
Romain Andenmatten⁵

¹ *Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements (AASPE) – CNRS :
UMR7209, Sorbonne Universités, UPMC – France*

² *Université de Genève, Laboratoire d'archéologie préhistorique et anthropologie –
Uni Carl-Vogt, Carl-Vogt 66, 1211 Genève 4, Suisse*

³ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

⁴ *Laboratoire de dendrochronologie de Neuchâtel*

⁵ *Etat du Valais - Office cantonal d'Archéologie*

Située à 2650 m, la position fortifiée du Mur (dit) d'Hannibal a été occupée par des militaires servant Rome entre 57 et 16/15 av. J.-C. Elle surplombe la voie d'accès principale nord du Col du Grand-St-Bernard et permet d'en contrôler une voie de rocade latérale. Entre 2009 et 2018, les fouilles ont livré du mobilier, des niveaux d'occupation, des foyers et des couches de défournement. Diverses analyses combinées permettent de supposer une occupation événementielle sur quelques saisons estivales successives par une troupe évaluée entre 150 et 300 personnes.

Lors des fouilles, un peu plus de 1 400 kg de sédiments ont été prélevés et tamisés. Des os calcinés et des macrorestes végétaux carbonisés (graines, fruits et charbons) ont ainsi été étudiés. L'analyse de ces restes permet aujourd'hui, non seulement de se questionner sur l'alimentation et la vie quotidienne mais également sur les modes d'approvisionnement de la troupe. S'agit-il d'une logistique organisée, de corvées et/ou de collectes plus individuelles ?

Certains de ces modes sont-ils combinés ? Aucun référentiel n'existe à ce jour pour ce type de site et cette étude interdisciplinaire peut être considérée comme pionnière.

Les premiers résultats tendent à montrer que les occupants de la position bénéficient d'une alimentation plutôt complète et variée tandis que le ravitaillement semble avoir été organisé au niveau du site. Ainsi, les données carpologiques montrent un apport riche en plantes cultivées, accompagnées de plantes de cueillette et de condiments. Les os, tous calcinés et très fragmentés en raison d'une utilisation comme combustible, indiquent la prépondérance de morceaux préparés dans les parties riches en viande de la cage thoracique. Les charbons de bois montrent une utilisation du combustible différenciée selon que l'on se place dans les foyers d'intérieur ayant servi aux activités quotidiennes ou dans les foyers extérieurs dont les rôles de feux pour la garde nocturne ou de signalisation restent à confirmer. Cette analyse pluridisciplinaire permet aussi de décrire la mobilité

des occupants de la position, dont la situation particulière, à l'étage alpin, combine à la fois une exploitation du milieu environnant et des apports de plus basse altitude. Le Mur (dit) d'Hannibal n'est pas un cas isolé et semble faire partie d'un réseau de près d'une trentaine de sites avec des caractéristiques et des datations similaires. Un programme d'investigations est en cours sur ces positions et pourra peut-être permettre à l'avenir des réflexions à plus large échelle.

Mots-Clés : Période romaine, bioarchéologie, alimentation, combustible, haute altitude, Valais

L'ALPAGE DE SALES : DES PRATIQUES PASTORALES IMMUABLES DEPUIS DES SIÈCLES ?

Christophe Guffond¹, Alain Mélo¹

¹ Unité Archéologie et Patrimoine Bâti du Département de Haute-Savoie – France

De 2015 à 2019, des recherches archéologiques se sont développées sur l'alpage de Sales à Sixt-Fer-à-Cheval (74), intégrées à partir de 2018 dans le cadre plus large d'un Projet Collectif de Recherche consacré aux Ecosystèmes montagnards, croisant approches historiques et environnementales.

La tradition orale, l'herbe comme ressource essentielle et un certain nombre de données factuelles (dont la remarquable stabilité des territoires) offrent d'emblée l'image d'une immuabilité des pratiques au sein de ces espaces d'altitude.

Toutefois, les données archéologiques montrent que, sur un temps long, les occupations humaines présentent une succession de ruptures, que ce soit sur la forme, comme sur le fond. Sur la forme, les déplacements des chalets, l'évolution des groupements voire de l'architecture des chalets, les modifications du milieu (changements climatiques) et l'évolution des accès attestent de ruptures souvent subies et subites.

Sur le fond, l'intégration de l'exploitation de l'alpage à un circuit pastoral circonscrit aux limites paroissiales, étayé d'une multitude de textes depuis le Moyen Âge, a nécessité un recours régulier au cadre juridique, souvent en réaction, pour conforter des pratiques en constante transformation sur le long terme (organisation sociale, traitement du lait, techniques d'élevage et de pâturage, agencement territorial...).

La perception d'une immuabilité n'est donc qu'un leurre.

Mots-Clés : Exploitation de la montagne, changement climatique, architecture, ressorts territoriaux, société, échanges, techniques

GESTION DES FORÊTS POUR PÉRENNISER LES RESSOURCES COMBUSTIBLES : LE CAS DU CHARBONNAGE HISTORIQUE DANS LES ÉCOSYSTÈMES MONTAGNARDS FRANÇAIS

Vanessa Py-Saragaglia¹, Sandrine Paradis-Grenouillet², Léonel Fouédjeu¹,
Sylvain Burri³, Mélanie Saulnier¹, Alain Mélo⁴, Laurent Larrieu⁵

¹ *Géographie de l'environnement – CNRS-UMR5602, Université Toulouse Jean Jaurès – France*

² *Laboratoire GEOLAB, CNRS- UMR6042, Clermont-Ferrand*

³ *Laboratoire TRACES, CNRS-UMR5608, Université Toulouse - Jean Jaurès – France*

⁴ *Unité Archéologie et Patrimoine Bâti du Département de Haute-Savoie – France*

⁵ *Laboratoire Dynamiques et Ecologie des Paysages Agriforestiers DYNAFOR, CNRS-UMR1201, Castanet-Tolosan, France*

Le charbonnage consiste à produire du charbon de bois pour alimenter une grande variété d'activités domestiques, artisanales et préindustrielles telles que la métallurgie. Cette activité a longtemps été considérée comme un des moteurs de la dégradation et du morcellement de la couverture forestière. Depuis une trentaine d'années, le développement de l'archéologie forestière accéléré avec l'utilisation de la télédétection par laser (LiDAR) montre que le charbonnage a été pratiqué de façon quasi systématique, bien qu'à des intensités variables, dans les forêts européennes. De nombreux peuplements actuels considérés comme étant anciens ont été marqués par cette pratique traditionnelle. Les progrès de l'analyse des charbons de bois conservés dans les anciens replats de charbonnage combinés à l'étude des sources historiques révèlent la pérennité et la cyclicité des activités étroitement connectées à des pratiques communautaires et/ou des politiques de gestion des forêts garantissant la pérennité de la ressource. Ces pratiques, en particulier sylvicoles, et la combinaison des prélèvements charbonniers avec d'autres activités forestières, sont mal connues car rarement décrites dans les sources écrites. Or leur caractérisation est indispensable pour reconstruire les dynamiques forestières pluriséculaires ainsi que leurs héritages écologiques dans les peuplements qui ont été maintenus jusqu'à nos jours en dépit des changements de pratiques après la Seconde Guerre mondiale. Elle impose le développement de nouvelles méthodes et référentiels pour dépasser plusieurs verrous majeurs tels que la faible résolution de l'analyse des temporalités ou le prisme des pratiques de charbonnage perturbant la stratigraphie de l'archive et complexifiant la lecture des charbons de bois. Cette communication réflexive, collective et interdisciplinaire, en s'appuyant sur un état des recherches conduites dans plusieurs massifs forestiers montagnards (Pyrénées, Massif central, Alpes), propose de discuter de ces pratiques transmises de génération en génération pour activer la production de ressources ligneuses combustibles. Elle débouche sur des questionnements sur l'intégration de ces connaissances dans une réflexion plus large sur la construction de

forêts bioculturelles au détriment de l'intégrité des écosystèmes forestiers, et de leur gestion future visant à accroître leur capacité de résilience face aux changements globaux.

Mots-Clés : Gestion des forêts, ressources combustibles, charbonnage, écosystèmes montagnards

PREMIERS RÉSULTATS D'UNE ÉTUDE ARCHÉOLOGIQUE ET GÉOCHIMIQUE DES SITES D'HABITAT SUPPOSÉS MÉDIÉVAUX DE LA HAUTE-VALLÉE DE LA BYAISSE (FREISSINIÈRES, HAUTES-ALPES)

Roxanne Cesarini¹, Arthur Laenger²

¹ *Laboratoire d'Archéologie Médiévale et Moderne en Méditerranée – Aix Marseille Université, CNRS : UMR7298 – France*

² *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – Le Mans Université, CNRS : UMR6566 – France*

La vallée de la Byasse est située sur la commune de Freissinières, dans la haute vallée de la Durance. Elle appartient au secteur de l'Argentiérois-Vallouise du Parc national des Ecrins qui est étudié depuis la fin des années 1990 par une équipe interdisciplinaire des laboratoires du CNRS, d'Aix Marseille Université, de l'Université Savoie-Mont Blanc, de l'Université Rovira i Virgili à Tarragone (Espagne) et du Département d'archéologie de l'Université de York (Royaume-Uni). À la suite d'études archéologiques, bioarchéologiques et paléoenvironnementales menées dans le cadre de programmes de recherche internationaux, il a été démontré que cet espace est occupé sur la très longue durée.

L'occupation médiévale se matérialise par de nombreuses structures d'habitat de typologie variée et par l'exploitation de plusieurs petits gîtes polymétalliques. Les secteurs d'exploitation agropastorale et minière se superposent sur ces alpages ce qui crée un problème d'interprétation des structures à l'échelle de la prospection. Si les grands enclos pastoraux sont facilement reconnaissables par leur morphologie, ce n'est pas le cas des structures plus petites, souvent définies comme des unités d'habitation temporaire. En effet, ces structures, dénommées "cabanes" dans la littérature scientifique, peuvent avoir été occupées voire réoccupées pour différents usages. Les sources écrites n'éclairent malheureusement pas la question de la matérialité de l'exploitation des ressources naturelles de l'Argentiérois-Vallouise. Aussi, pour pallier ce problème d'identification, les auteurs de cette communication proposent de développer une nouvelle méthode d'étude des sites ruraux d'altitude couplant archéologie et géochimie des sols. Cette expérimentation est menée dans le cadre de deux thèses de doctorat.

Les analyses géochimiques des sols sont ici considérées comme un moyen de définir la fonction des sites autrement que par leur aspect morphologique. Au cours de l'été 2020,

une prospection archéologique et géochimique a été menée sur deux sites distants de 2 kilomètres : le Pré Gauthier, implanté à 1770 mètres d'altitude et Chichin I, à 2078 mètres d'altitude. Cette opération avait pour but de documenter le bâti des différentes structures qui composent ces sites, de définir des zones d'activités et de les spatialiser. Au cours de l'été 2021, les deux sites ont été sondés. Ce sont ces premiers résultats qui seront communiqués. Ils seront mis en perspective avec les données paléoenvironnementales et archivistiques disponibles afin d'obtenir une lecture fine de l'occupation de la haute-vallée de la Byasse au cours du Moyen Âge et de la première modernité.

Mots-Clés : occupation, montagne, Moyen Âge, époque moderne, agropastoralisme, mines, prospection archéologique, archéologie sédimentaire, analyse géochimique

**À LA CROISÉE DES MÉTHODES : ENTRE ANALYSES
BIOARCHÉOLOGIQUES, PALÉOENVIRONNEMENTALES ET
ARCHÉOLOGIE CULTURELLE OU COMMENT APPRÉHENDER
L'HISTOIRE PASTORALE DES SOCIÉTÉS PROVENÇALES ET ALPINES
SUR LE LONG TERME**

Kevin Walsh¹, Juliette Knockaert¹, Katharina Dulias¹, Dianne Unsain²,
Charline Giguet-Covex³, Alistair Pike⁴, Pierre Magniez⁵, Florence Mocchi⁶

¹ Bioarch/Department of Archaeology - University of York, York, UK – Royaume-Uni

² Centre Camille Jullian, A*MIDEX, Aix Marseille Univ, CNRS, CCJ – France

³ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France

⁴ Department of Archaeology, University of Southampton, Southampton, UK – Royaume-Uni

⁵ UMR 7269 LAMPEA – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Aix Marseille
Université (Aix-en-Provence), Ministère de la Culture et de la Communication – France

⁶ Centre Camille Jullian - Archéologie méditerranéenne et africaine (CCJAMA) – CNRS-
UMR7299, Université de Provence - Aix-Marseille I – France

Depuis deux décennies, la recherche archéologique alpine tend à aller au-delà de la simple caractérisation des activités humaines passées, en identifiant des pratiques et des techniques spécifiques. Cette démarche contribue ainsi à l'histoire du pastoralisme alpin. Le projet de recherche européen PATHWAY (A*MIDEX-France et ARHC-UK) se concentre sur l'étude des systèmes pastoraux et leurs impacts sur les paysages des Alpes occidentales aux plaines provençales, de l'âge du Fer à l'époque médiévale. La question de l'origine antique de la transhumance, à moyenne et longue distance, suscite un intérêt considérable dans cette région des plus importantes pour le pastoralisme transhumant actuel. Toutefois, les indices archéologiques tangibles permettant de retracer de telles

pratiques demeurent parcellaires.

Dans cette étude, résolument interdisciplinaire, la croisée des méthodes bioarchéologiques (études de la faune, analyses isotopiques) et paléoenvironnementales (sedDNA, palynologie), combinées à l'archéologie "culturelle", vise à mettre en lumière : les ressources animales exploitées, la reconstruction des modèles de mobilité des espèces domestiquées, les zones de haute altitude exploitées comme alpages, l'impact, et la résilience de ces zones de pâturage et enfin, les techniques et pratiques d'élevage des communautés agropastorales de la Gaule transalpine aux sociétés entrepreneuriales provençales du Haut Moyen Âge. Cette communication présentera nos cadres analytiques et intégratifs et les premiers résultats acquis.

Mots-Clés : alpes, archeologie, pastoralisme, faune, isotopes, sedADN

HOLOCENE FIRES AND MOUNTAIN COMMUNITIES IN THE GRASSLANDS OF ARMENIA

Amy Cromartie¹, Chéïma Barhoumi², Guillemette Menot³, Erwan Messenger⁴,
Odile Peyron², David Etienne⁵, Pierre Sabatier⁴,
Sebastien Joannin^{2,6}

¹ *Department of Anthropology [Cornell University] – États-Unis*

² *Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS : UMR5554 – Université de Montpellier - France*

³ *Laboratoire de Géologie de Lyon - Terre, Planètes, Environnement [Lyon] – École Normale Supérieure - Lyon – France*

⁴ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Université Savoie Mont Blanc, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204 – France*

⁵ *CARRETEL – Université de Savoie, Institut national de la recherche agronomique (INRA) – France*

⁶ *Université de Lyon – UMR CNRS 5276 LGLTPE – France*

This paper explores the relationship between wildland fires and human communities living in and near the Kasakh valley, Armenia in the mountainous lesser Caucasus. In this valley, cereal agriculture and pastoralism have been practiced for the past 6,000 years. In conjunction with agriculture, grassland fires have been recorded throughout the Holocene and large fires have been recorded on the site during the Bronze Age. This paper examines the relationship between these grassland and site fires to try and untangle human and natural fire events and their cultural significance on the Bronze and Iron Age mountain communities. To do this we utilize a multi-proxy approach including macro-charcoal, pollen, and the paleo-temperature lipid biomarker glycerol dialkyl glycerol tetraether (GDGTs). Macro-charcoal and pollen analysis were conducted on four cores at different altitudes to help untangle this complex relationship between fire, ve-

getation, and human communities. Initial results suggest that natural (lightning) driven grassland fires occurred during the early and mid-Holocene driven by precipitation and temperature change. During this time these fires may have threatened the Early Bronze Age communities and entered the human settlements. During the Late Bronze Age, settlement fires appear to be human driven and confined to the site, while over the last 2000 years landscape fires appear to be driven by human activities.

Mots-Clés : Mountain Communities, Fire, Pollen, Lesser Caucasus, Bronze, Iron Age

MIEUX COMPRENDRE LES OCCUPATIONS HUMAINES DANS LES MONTAGNES DE GÉORGIE AU CHALCOLITHIQUE ET ÂGE DU BRONZE ANCIEN : APPORTS DE L'ARCHÉOZOOLOGIE, LA CÉMENTOCHRONOLOGIE ET LA GÉOCHIMIE ISOTOPIQUE

Adeline Vautrin¹, Rémi Berthon¹, Marie Balasse¹, Giorgi Bedianashvili², Denis Fiorillo¹, Irina Gambashidze², Giorgi Gogochuri², Lionel Gourichon³, Michel Lemoine¹, Thomas Stöllner^{4,5}, Marjan Mashkour¹

¹ *Muséum national d'Histoire naturelle – UMR 7209 : Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements – France*

² *Georgian National Museum – Géorgie*

³ *Université Côte d'Azur, France – UMR 7264 CEPAM - Cultures et Environnement, Préhistoire, Antiquité, Moyen Âge – France*

⁴ *German Mining Museum Bochum, Leibniz-Research Museum of Georesources, Research Department – Allemagne*

⁵ *University of Bochum, Institute for Archaeological Studies – Allemagne*

L'exploitation des écosystèmes montagnards par les communautés agro-pastorales a joué un rôle important dans le développement de ces sociétés dans le Caucase. Donnant accès à des matières premières tel que l'obsidienne et des minerais de cuivre nécessaires à la confection d'outils, les montagnes offrent aussi aux éleveurs de nombreux pâturages disponibles pour les troupeaux. Néanmoins, en hiver ces espaces d'altitude semblent moins propices à l'installation pérennes des sociétés agro-pastorales notamment à cause de la neige qui empêchent l'accès à ces pâturages et contraignent le parage des animaux. Les occupations archéologiques de montagne en Géorgie étant encore peu étudiées, l'approche archéozoologique que nous utilisons permet de tester l'hypothèse selon laquelle les innovations zootecniques ont permis une implantation plus pérenne des sociétés dans les écosystèmes montagnards aux périodes du Chalcolithique et de l'Âge du Bronze Ancien. Pour tenter de répondre à cette hypothèse, un premier temps d'étude a été consacré à l'enregistrement de restes archéozoologiques permettant de véri-

fier que les sites étaient bien investis par des éleveurs. La saison d'occupation des sites est testée grâce à la cémentochronologie, dont les premiers résultats seront présentés. Enfin des mesures des rapports isotopiques enregistrés dans les carbonates (émail dentaire) et collagène (os) ont été réalisées afin de rendre compte des pratiques d'élevage (mobilité, alimentation, saisonnalité des naissances).

Mots-Clés : Bioarchéologie, Archéozoologie, Géochimie isotopique, Cémentochronologie, Caucase, Géorgie

MOUNTAIN AGRO-ECOSYSTEMS LONG-TERM TRAJECTORIES IN THE NORTH WESTERN ALPS

Charline Giguet-Covex¹, Manon Bajard², Wentao Chen³, Kevin Walsh⁴,
Pierre-Jérôme Rey⁴, Erwan Messenger¹, David Etienne⁵, Pierre Sabatier¹,
Gentile Francesco Ficetola⁶, Ludovic Gielly², Claire Blanchet¹, Christophe Guffond⁷,
Fabien Arnaud¹, Jérôme Poulenard¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – France*

² *Department of Geosciences MetOs, University of Oslo*

³ *Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS-UMR5554 – Université de Montpellier - France*

⁴ *Department of Archaeology, University of York*

⁵ *CARRETEL – Université de Savoie, Institut national de la recherche agronomique (INRA) – France*

⁶ *Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze e politiche ambientali - Italia*

⁷ *Université de Lyon – UMR CNRS 5276 LGLTPE – France*

Past trajectories of alpine agro-ecosystems are legacies that we should consider in the context of current global changes. By integrating archaeology, history and multi-proxy palaeoenvironmental records, we reconstructed the precise nature of agro-pastoral activities.

We investigated their spatio-temporal trajectories and interactions with the landscape evolution (erosion and vegetation) in the Northwestern Alps, between 880 and 2440 m a.s.l. We demonstrate that the origins of current vegetation cover in the "Alpages" date to the Mid to Late Bronze Age. However, at the lower limit of the subalpine belt and below this zone, the first significant plant cover changes date to a later period, from the Early to High Middle Ages.

From the Bronze Age, we see anthropogenic disturbances of the natural erosion cycle, especially on some sites in the subalpine belt. This erosion became generalized across all

sites during the Roman period. Then, decreasing anthropogenic impacts on the erosion are recorded everywhere, which suggests the beginning of efficient soil management strategies, with protection of the soil resource. This important change arose as part of the development of local power structures, such as monastic orders and parish communities in the County of Savoy.

Mots-Clés : Alpine agro-ecosystems, soil erosion, landscape, trajectories, lake sediment DNA, interdisciplinarity

THÈME 2

RESTITUER LES VIES DE L'OBJET

De sa conception à son étude, un objet conserve les traces des actions liées à sa fabrication mais également plus largement à sa vie et son évolution post-dépositionnelle. Ainsi cet objet change de statut du fait de ses interactions sociales et naturelles. Les études physico-chimiques permettent de caractériser les matériaux constitutifs de l'objet afin d'identifier et restituer différentes étapes de sa vie en accédant à la mémoire enregistrée dans la matière. Dans ce cadre, la biographie de l'objet est une notion-clé de l'anthropologie intéressante à appliquer. Faire la biographie d'un objet consiste à identifier différents moments de sa vie et les dynamiques sociales et culturelles dans lesquelles il est imbriqué. Il s'agit tout d'abord de questionner sa « genèse », c'est-à-dire sa provenance et son mode d'élaboration dans un contexte culturel donné, puis de retracer ses trajectoires de vie, ses différents usages et fonctions, et enfin d'aborder ses conditions de transmission en abordant la question de son altération et de sa conservation. En effet, l'étude des objets anciens ne peut se départir des marques d'altération enregistrées dans la matière. Révéler les différentes étapes de vie d'un objet demande de caractériser les conditions de conservation dans lesquelles il est parvenu jusqu'à nous.

Cette perspective de recherche permet de dépasser l'approche purement matérialiste de l'objet et de questionner les dynamiques culturelles et sociales à l'œuvre dans sa conception, ses usages et sa pérennité. Cette thématique sera donc particulièrement sensible à la question des pratiques, des gestes et de la transmission des connaissances, que ce soit pour ce qui est de la fabrication ou des usages. Restituer « les vies » de l'objet revient également à étudier comment il est nommé et décrit au cours du temps, en réinscrivant l'objet dans les dynamiques qu'il entretient avec son environnement naturel, social et culturel.

SESSION 2A

Matérialité et esthétique des objets et des œuvres d'art

P. 79

SESSION 2B

Genèse des objets. Fabrication, procédés et systèmes techniques

P. 80

SESSION 2C

Vie(s) des objets. Fonctions, usages, remplois et recyclages

P.96

SESSION 2D

Devenir des objets. Altération, dégradation, enjeux de conservation et restauration

P.106

THÈME 2

SESSION 2A

MATÉRIALITÉ ET ESTHÉTIQUE DES OBJETS ET DES ŒUVRES D'ART



COORDINATRICES : LAURENCE RIVIÈRE, MARIE-CLAIRE SAVIN,
HÉLÈNE SALOMON

Les développements du poststructuralisme et le tournant sensoriel pris dans les sciences humaines et sociales traitant de la culture matérielle offrent de nouveaux cadres conceptuels aux archéomètres. Mais, sur le plan pratique, comment les protocoles issus des domaines des sciences naturelles et des sciences des matériaux peuvent-ils se nourrir de ces développements théoriques ? Comment peuvent-ils contribuer à l'évaluation des interactions entre les propriétés des matériaux et la façon dont elles affectent leur utilisation sociale et leur perception esthétique et culturelle ?

Nous invitons dans cette session tous les travaux qui tentent d'entrelacer intimement les composantes conceptuelles et concrètes des vestiges en partant des objets eux-mêmes. Sont attendues des présentations questionnant nos manières d'aborder les propriétés visuelles (couleur, transparence, brillance, texture), physiques (durabilité, plasticité, rugosité, dureté, résistance, conductivité de la chaleur, aptitude à prendre le poli, etc.), auditives, voire olfactives et gustatives des artefacts. Une priorité sera donnée aux travaux engageant une réflexion sur les œuvres d'art où l'intentionnalité esthétique transcende la substance. De quelle manière l'usage particulier des matériaux contribue-t-il à oblitérer dans ces cas de figure la nature factuelle de l'objet produit ?

Mots-Clés : art, esthétique, matérialité, perception

THÈME 2

SESSION 2B

GENÈSE DES OBJETS.FABRICATION, PROCÉDÉS ET SYSTÈMES TECHNIQUES



M.-C. Savin

COORDINATEURS : CLAIRE CHANTERAUD, HÉLÈNE SALOMON,
ARIANE PINTO, PHILIPPE SCIAU

Cette session réunit les recherches concernant les procédés techniques mis en œuvre pour l'élaboration des matériaux et la mise en forme des objets du patrimoine. Remonter les différentes étapes des chaînes opératoires implique d'étudier les matières et matériaux, les outils de fabrication et les moyens techniques de production afin d'appréhender le travail des matières premières ainsi que les conditions de transformation, de mise en forme, d'assemblage et de finition impliquées dans ces procédés techniques.

Interroger le système technique dans son ensemble en prenant en compte les acteurs humains, revient à identifier des normes et conventions stylistiques et techniques et ouvre sur les problématiques relatives à la transmission des connaissances (apprentissage) et des traditions. Quelle que soit l'organisation de la production (atelier, contexte domestique), elle laisse des traces de gestes techniques. Ces derniers peuvent correspondre à une norme productive ou témoigner d'aptitudes individuelles, de transferts culturels et de l'adaptabilité des fabricants entre prescription et variabilité technique.

L'approche intégrée restitue les techniques, les savoirs et les gestes en combinant l'étude et l'analyse physico-chimie des objets, des différentes traces matérielles de leurs vies techniques et fonctionnelles, avec l'analyse des textes anciens et l'archéologie expérimentale.

Mots-Clés : savoir-faire, techniques, geste, tradition, connaissances, chaîne opératoire

APPROCHE DES RÉSEAUX ÉCONOMIQUES ET DES TRADITIONS TECHNIQUES ARTISANALES DU NÉOLITHIQUE ANCIEN EN ALSACE (FRANCE) : L'APPORT DES ANALYSES DES MATÉRIAUX CÉRAMIQUES

Benjamin Gehres¹, Mikaël Guiavarc'h¹

¹ *CreAAH, UMR 6566 – CNRS : UMR6566 – France*

L'arrivée des premiers porteurs du mode de la culture rubanée en Alsace est datée d'environ 5355/5240 av. J.-C. Cette culture est caractérisée par une forte proximité qui touche l'architecture domestique, les pratiques funéraires, mais aussi les décors et les formes des poteries. Toutefois, des variations stylistiques locales sont observables notamment en Alsace, où deux groupes stylistiques ont été identifiés. Ils sont installés en Basse et Haute Alsace, séparés par une frontière stylistique située dans la région de Colmar. Cette distinction est particulièrement observable au niveau de leurs céramiques et de leurs décors. Comment expliquer cette partition en termes de peuplement du territoire ? Cette frontière est-elle uniquement observable du point de vue stylistique, ou bien se reflète-t-elle également dans les traditions techniques des poteries ? Ces problématiques sont questionnées au sein du programme collectif de recherche "Partition stylistique territoriale au Néolithique ancien en Alsace". Cette communication présentera les premiers résultats des analyses menées sur les matériaux céramiques. Les approches développées sont multiples, alliant analyses pétrographiques (études en lame mince) et géochimiques (analyses chimiques globales par spectrométrie de fluorescence des rayons X portable, P-XRF ; analyses chimiques ponctuelles par spectrométrie de masse à source plasma, couplée à une ablation laser, LA-ICP-MS) des poteries. Il s'agit d'identifier l'extension des territoires d'exploitation des matières premières argileuses, mais aussi de modéliser l'extension des communautés de pratiques du point de vue du traitement de leurs terres par les potiers (ajout de dégraissant, tri des inclusions, broyage de la pâte...). Nous présenterons les données obtenues pour les sites de la vallée de la Bruche (Rosheim - Sainte-Odile et Rittergass ; Bischoffsheim - AFUA du Stade et Le Village ; Bas-Rhin). Ces occupations ont la particularité de se situer au sein d'un ensemble de villages organisés de manière satellitaire autour du site de Sainte-Odile. Ces analyses nous ont permis d'identifier un territoire d'exploitation préférentiel des terres, dont les sources sont situées à plusieurs kilomètres, mais aussi l'existence de transferts sur plusieurs dizaines de kilomètres de céramiques. Ces résultats inédits nous fournissent dès lors de nouvelles pistes de recherche pour questionner la structuration de l'identité territoriale du Rubané alsacien, mais aussi à dessiner les premiers traits d'un fonctionnement socio-économique entre plusieurs occupations.

Mots-Clés : Céramique, Traditions techniques, Système économique, Pétrographie, Néolithique ancien, Alsace

MODES DE FAÇONNAGE DE POTERIE DANS LES ANDES SUD-CENTRALES. VERS LA RESTITUTION DES CHÂÎNES OPÉRATOIRES DE LA CÉRAMIQUE HUMAHUACA (JUJUY, ARGENTINE, 13^e-16^e SIÈCLES)

Agustina Scaro¹, María Beatriz Cremonte¹

¹ *Instituto de Ecorregiones Andinas - CONICET/UNJu – Argentine*

Les traditions technologiques sont constituées par des choix techniques qui permettent d'identifier des chaînes opératoires dans le cadre d'un "savoir-faire" partagé configuré dans un système subjectif de structures internalisées. Cette perspective permet de reconstituer les choix technologiques des groupes d'artisans, qui s'inscrivent dans les traditions technologiques de la céramique. Ces choix permettent d'identifier des communautés de pratique, en tant que réseaux sociaux où une tradition technologique est partagée. Dans ce cadre, on présente un modèle de chaîne opératoire pour la poterie Humahuaca à partir du 13^e siècle. Nous considérons que dans les Andes Sud-Centrales, des diverses communautés de pratique ont existé avec leurs traditions technologiques particulières établies à partir des différents choix techniques des potiers locaux.

Pour Quebrada de Humahuaca, l'existence d'un style régional Humahuaca a été proposée, mettent en évidence un langage commun partagé par les habitants de la région. Néanmoins, les études réalisées dans le secteur méridional de Quebrada de Humahuaca ont permis de proposer l'existence de particularités par rapport aux pratiques de fabrication et usage des pièces céramiques : la prédominance de pâtes foncées, révélant une cuisson oxydante incomplète, et un très élevé pourcentage de récipients décorés montrant une exposition directe au feu. Bien que la tradition régionale d'utilisation de la roche broyée comme dégraissant (principalement des schistes fins et des siltites de la Formation "Puncoviscana") soit partagée, on a enregistré la tendance à des proportions plus élevées de quartz et de quartzite dans les pâtes du secteur méridional. Par rapport aux finitions, traitement et décor, on a identifié la récurrence de la bande réticulée de maille ouverte et rhomboïdale en lignes grossières, le "tige" et la présence d'engobe rouge fugitif. Ces particularités s'inscrivent dans les choix techniques de ceux qui ont fabriqué et consommé ces récipients au sein d'une communauté d'identité.

L'étude des différents moments de la chaîne opératoire, nous a permis d'élargir notre compréhension des communautés de pratiques dans le secteur méridional de Quebrada de Humahuaca, où une méthode particulière de fabrication de poterie a été établie qui aurait inclus la sélection de sédiments argileux lacustre d'âge Quaternaire situés à proximité des sites archéologiques. Les analyses archéométriques ont permis d'identifier deux étapes pour la cuisson de récipients peints en noire (magnétite) sur rouge (hématite) : une cuisson oxydante (500-600 °C) pour fixer la couleur rouge et une autre réductrice

(environ 700 °C) pour fixer la couleur noire. Les techniques de façonnage sont variées, les plus récurrents incluent l'élaboration d'une base/corps inférieur modelé par pincement, sur laquelle le corps supérieur a été élaboré avec des colombins, et le façonnage complet par colombins. Des variantes incluent la présence de battage, une technique peu courante à la région, mais enregistrée aux Andes Centrales, notamment au Pérou. Le façonnage en colombins sur pâte humide a été enregistré pour des récipients de cuisson/stockage de contextes pré-incas. Ces deux variantes moins fréquentes pourraient avoir une signification chronologique, liée à la domination inca de la région.

Mots-Clés : Chaîne opératoires, Céramique, Savoir-faire, Andes Sud Centrales, Humahuaca

DÉTERMINER L'ORIGINE DE FONDANTS SODIQUES ET DE PIGMENTS COBALTIFÈRES UTILISÉS DANS LES GLAÇURES DES PREMIÈRES CÉRAMIQUES OTTOMANES PAR LA-ICP-MS

Jacques Burlot^{1,2}, Sylvie Yona Waksman², Brandi L. Macdonald¹, Barry Higgins³

¹ *Archaeometry Laboratory, Research Reactor Center, University of Missouri – États-Unis*

² *Laboratoire ArAr. Archéologie et Archéométrie, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, UMR 5138 – France*

³ *Special Projects, Research Reactor Center, University of Missouri – États-Unis*

De nombreuses études basées sur des analyses LA-ICP-MS ont permis de retracer l'origine de fondants et de pigments utilisés dans la production de décors céramiques. Il a notamment pu être prouvé que des potiers ottomans utilisaient des évaporites de type Na-HCO₃ issues de sources hydrothermales ouest-anatoliennes comme fondant sodique pour produire les glaçures de la célèbre céramique d'Iznik ; ou bien encore qu'il soit possible d'identifier l'origine de certains minerais à base de cobalt en provenance d'Allemagne ou d'Iran.

En se basant sur ces références, une série d'analyses par LA-ICP-MS a été entreprise afin de déterminer la provenance des fondants et des pigments bleu-cobalt utilisés dans les glaçures d'une des premières productions de céramiques ottomanes : la "Miletus Ware". Des analyses préalables des pâtes ont montré qu'il en existe plusieurs productions, dont celle d'Iznik, et d'autres sites probablement également ouest anatoliens. Des analyses MEB-EDS des glaçures indiquent des compositions présentant des similitudes avec les évaporites sodiques de cette région. Par ailleurs, les glaçures bleues présentent toutes l'association Co-Ni-Fe-Cu. Les analyses par LA-ICP-MS permettent de déterminer les teneurs d'éléments traces qui sont des signatures d'origine plus spécifiques, respectivement Li et B pour les fondants sodiques, et As, Zn ou bien In pour les minerais à base

de cobalt.

Nous présenterons ici les nouvelles données issues des analyses par LA-ICP-MS, qui devront nous permettre d'approfondir cette étude de provenance. Ces résultats serviront à mieux définir les techniques de production des décors céramiques des premières productions ottomanes et à suggérer de nouveaux réseaux commerciaux dans l'industrie de la céramique en Anatolie occidentale ; données qui enrichiront nos connaissances sur l'histoire des techniques de la céramique ottomane.

Mots-Clés : LA, ICP, MS, céramique ottomane, fondants sodiques, pigment, cobalt, glaçure, technique de production

ÉTUDE DU PROTOCOLE DE CUISSON DES GLAÇURES SAUCES DE LA DYNASTIE SONG À TRAVERS LA FORMATION DE LA PHASE ϵ -Fe₂O₃

Clément Holé¹, Zhao Ren², Tian Wang², Gilles Wallez³, Philippe Sciau¹

¹ Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales (CEMES) – CNRS : UPR8011 – France

² Institute of silicate cultural heritage, School of material science and engineering, Shaanxi key laboratory of green preparation and functionalization for inorganic materials, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an – Chine

³ Institut de Recherche de Chimie Paris (IRCP) – Paris Sciences et Lettres, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris – France

L'étude des techniques de fabrication des objets est un domaine qui a pris une importance considérable en archéologie et plus récemment en histoire de l'art. Ces recherches se basent en général sur une combinaison d'analyses physico-chimiques, d'études de traces d'outils, de réalisations de recreations et de données historiques et ethnographiques.

Les matériaux qui composent les objets étudiés sont des systèmes riches qui gardent souvent en mémoire des indices sur les techniques de fabrication, c'est pourquoi leur étude en appliquant une méthodologie utilisée dans les sciences des matériaux peut être pertinente pour enrichir la compréhension de ces techniques.

C'est le cas par exemple des céramiques chinoises à glaçure brune dite "sauce", dont la glaçure contient une grande quantité de cristaux de l'oxyde de fer epsilon, un oxyde de fer métastable découvert en 1934¹, intermédiaire entre l'hématite et la maghémite². Cet oxyde ayant des conditions de cristallisation assez spécifiques, son étude se prête parfaitement à la compréhension de la technique de fabrication des glaçures sauces.

Les céramiques à glaçures de couleur brune et noire, dont font partie les glaçures sauces, ont été fabriquées par nombreux complexes de fours dans l'ensemble de la Chine dès

l'époque Han (205 av. JC - 220 ap. JC) et ont connu un véritable essor lors de la Dynastie Song (960- 1279)³. Même si la production de ces objets est très diffuse, le four de Yaozhou (Tongchuan, Shaanxi) a été un des centres de production de glaçure sauce les plus importants⁴.

Cette étude a pour but de comprendre le mécanisme et les conditions de formation de la phase epsilon dans les glaçures sauces chinoises. Elle se base d'une part sur des échantillons témoins prélevés au fil d'une cuisson réalisée en condition traditionnelles actuelles pour étudier le mécanisme de croissances de cristaux, d'autre part sur des échantillons de matières premières d'origine variée (Shaanxi et Fujian en Chine) soumis à des traitements thermiques sous différentes conditions pour vérifier l'influence de la composition de la matière première, de l'atmosphère et de la durée de cuisson. Ces échantillons seront ensuite comparés à des fragments de céramiques à glaçure sauce du four de Yaozhou. Les résultats obtenus suggèrent que la cristallisation de la phase epsilon s'effectue par un mécanisme de diffusion et oxydation lors du refroidissement des pièces dans le four. Ils montrent également que le temps de cuisson et l'atmosphère sont des paramètres clés pour obtenir (ou non) un résultat comparable aux objets de la dynastie Song.

¹ Forestier and G. Guiot-Guillain, 1934, C.R. des séances de l'Académie des Sciences (Paris), 199, 720-724

² Zboril, M. Mashlan, D. Petridis, 2002, Chem. Mater., 14, 969-982

³ Powell, A History of Song Dynasty Ceramics, Chapter 17, 2012, Troubador Publishing Ltd, Leicester, UK, 297-298

⁴ Wen, D. Wang, L. Wang, Y. Dang, 2019, Ceramics International, 45, 10586-10595

Mots-Clés : céramique, Chine, glaçure, phase epsilon, ϵ -Fe₂O₃

LE SEL DANS LES PÂTES CÉRAMIQUES : AGENT DÉCOLORANT ?

Nadia Cantin¹, Laura Teodorescu¹, Ayed Ben Amara¹, Ronan Ledevin²,
Aurélien Mounier¹, Valentine Roux³

¹ Institut de recherches sur les Archéomatériaux - Centre de Recherche en Physique appliquée à l'Archéologie (IRAMAT-CRP2A), Université Bordeaux Montaigne (UBM), CNRS : UMR5060 – France

² PACEA - De la Préhistoire à l'actuel : Culture, Environnement et Anthropologie (PACEA) – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5199 – Université de Bordeaux

³ CNRS, Université de Paris Nanterre, UMR 7055 Préhistoire et Technologie – France

L'usage du sel dans la chaîne de fabrication de céramiques à des fins de blanchiment a été observé dans des ateliers de potiers contemporains en Inde et en Palestine par Valentine Roux lors de ses enquêtes ethnographiques. Afin de comprendre les mécanismes

physico-chimiques mis en jeu sur le plan du matériau, nous avons réalisé un premier échantillonnage à partir des différents éléments de la chaîne opératoire, depuis la sélection des matières premières jusqu'au produit fini, en particulier sur le site d'Hébron. Un deuxième jeu de données issu de matériaux fabriqués au laboratoire, à partir des argiles sources utilisées par les potiers d'Hébron, a été réalisé en contrôlant la concentration en sel d'une part, et la température de cuisson d'autre part. Les matières premières et matériaux céramiques produits en atelier ont fait l'objet d'analyses minéralogiques (pétrographie, diffraction de rayons X) et chimiques (MEB-EDS). Au-delà de ces approches classiques, les changements de couleur observés sur le référentiel de céramiques expérimentales ont été caractérisés par colorimétrie. Des études complémentaires par imagerie hyperspectrale dans le proche infra-rouge (900-2500 nm) et le visible (400-800 nm) ont été appliquées. Cette méthode, actuellement peu utilisée pour l'étude des céramiques anciennes, permet l'acquisition rapide de spectres de réflectance de manière non destructive. Les résultats aboutissent à la caractérisation de phases minéralogiques, dont la présence est directement corrélée aux conditions de température de cuisson.

Par ailleurs, afin de mieux comprendre les changements de la microtexture, observés sur les sections polies des échantillons expérimentaux, nous avons exploré le réseau poreux à l'aide de la micro-tomographie X. Les premiers résultats permettent de mieux cerner les conséquences de l'ajout du sel sur le développement, la distribution et la forme des pores en fonction de l'augmentation du taux de sel et de la température de cuisson.

Outre les réponses obtenues sur le rôle catalyseur joué par le sel accélérant la néoformation de silicates de calcium, la compilation de l'ensemble des résultats obtenus à l'aide de méthodes différentes mais complémentaires a permis d'approfondir notre compréhension du phénomène de blanchiment lié à l'ajout de sel. De plus, les résultats laissent entrevoir l'imagerie hyperspectrale comme un outil prometteur pour l'étude des céramiques anciennes, notamment dans la construction de référentiels de cuisson.

Mots-Clés : Céramique, sel, blanchiment, ethnographie, imagerie hyperspectrale, micro, tomographie X

ÉTUDE ARCHÉOMÉTALLURGIQUE DES ARMURES DE CHALCIS : RECHERCHES SUR L'ORIGINE, LA NATURE ET LA TRANSFORMATION DU MÉTAL

Emilie Berard¹, Philippe Dillmann¹, Federico Carò²

¹ LAPA-IRAMAT/NIMBE CEA CNRS – CNRS : UMR3685, CNRS : UMR5060, CEA-DRF-IRAMIS, CEA – France

² Metropolitan Museum of Art – États-Unis

A la fin du Moyen Âge, la pratique de la guerre a conduit à une production massive des armures en Europe. Constituées d'alliages ferreux, leur fabrication nécessitait la mise en œuvre de gestes et savoirs techniques spécifiques, sur lesquels les sources écrites restent peu disertes. Interroger la matière par l'analyse physico chimique du métal permet de fournir des éléments de réponse sur ces questions.

Si les témoins matériels de cette époque restent rares, les armures de Chalcis font figure d'exception. Découvertes dans la ville de Chalcis (Île d'Eubée, Grèce) en 1840, cet ensemble est composé de plusieurs centaines de pièces, de natures variées, aujourd'hui conservées en grande partie au Metropolitan Museum of Art à New York et au Musée National Historique d'Athènes. Ces défenses sont, pour la plupart, identifiées comme issues d'ateliers italiens et datées du XV^e siècle. L'étude archéométallurgique de ce corpus avait pour but de déterminer la nature des matériaux employés et les gestes techniques mis en œuvre par les armuriers au sein des différents ateliers, mais aussi de cerner l'homogénéité et les origines géographique des fournitures en métal. Au contraire, parmi les armures de Chalcis, plusieurs pièces présentaient des caractéristiques stylistiques de construction particulières, contrastant avec le style italien.

L'objectif était ici de déterminer si l'analyse du métal permettait de confirmer ces spécificités.

Les résultats des analyses effectuées sur une sélection d'une vingtaine d'objets ont révélé l'emploi d'alliages de natures variées, comptant à la fois des alliages ferritiques, acierés mais aussi des fers phosphoreux. Un travail particulier du métal semble avoir été mis en œuvre pour un certain type de défenses protégeant le torse, réalisées à partir d'acier trempé ou d'alliages acierés de dureté importante. Ce résultat pourrait suggérer qu'une qualité particulière de métal était requise pour certains objets. Il participe aussi à la discussion menée sur la signification des poinçons apposés sur les objets, en particulier du point de vue de la nature des alliages.

Par ailleurs, l'analyse des éléments traces des inclusions non métalliques par LA-ICP-MS a révélé la présence d'au moins trois signatures chimiques, l'une d'elle compatible avec un groupe d'armures de style italien étudié précédemment. Ce résultat vient renforcer l'hypothèse d'une fabrication italienne pour ces pièces. D'autres signatures chimiques, caractérisées notamment par leur haute teneur en Titane dans les inclusions, suggèrent au contraire l'existence d'une fabrication locale d'armures à l'échelle de la Grèce actuelle. Replacés dans un contexte plus large, les résultats permettent de discuter les choix des matériaux employés, la nature des gestes techniques mis en œuvre afin d'atteindre les propriétés mécaniques recherchées mais aussi la complexité des marchés européens au travers de la circulation du métal.

Mots-Clés : armure, archéométallurgie, Moyen Âge

QUELS CRITÈRES POUR MESURER L'EFFICACITÉ D'UNE TECHNIQUE DE RÉDUCTION DU MINÉRAI DE FER ?

Mélissa Morel¹, Ildiko Katona Serneels¹, Vincent Serneels¹

¹ *Département de Géosciences, Université de Fribourg – Suisse*

Le concept d'efficacité d'une technique n'est pas encore défini de manière satisfaisante. L'efficacité devrait être approchée à travers une réflexion sur des paramètres techniques (rendement, etc), mais aussi économiques (rapport coûts/valeur) et même sociaux et symboliques.

Dans cette présentation, nous nous attacherons au cas de la réduction du minerai de fer par la méthode directe qui a été pratiquée avant la généralisation du haut fourneau.

En comparant l'architecture des fourneaux, les dispositifs de ventilation ou encore la morphologie des scories et des tuyères, on constate une grande variété dans les techniques. A priori, les techniques complexes sont considérées comme plus efficaces que les techniques simples.

Les scories et matériaux associés se prêtent bien aux analyses chimiques et minéralogiques (XRF, ICP-MS, XRD, Microscopie optique et électronique, etc). La teneur en fer des scories est souvent le critère utilisé pour discuter l'efficacité, mais on fait aussi appel à d'autres observations comme les degrés d'oxydation du fer ($\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$), la présence de wüstite (FeO "libre") ou le comportement des éléments moins réductibles que le fer ($\text{P}/\text{As}/\text{Mn}/\text{V}/\text{Cr}$). Les calculs de balance de masses (minerai = scorie + fer) permettent de chiffrer le rendement (rapport entre la quantité de fer produite et la quantité de fer présente dans le minerai) et la production (rapport entre la quantité de fer produite et la quantité de scorie produite).

Pour illustrer cette problématique, nous allons présenter une comparaison entre des vestiges archéologiques étudiés à Madagascar et au Burkina Faso.

A Madagascar (Tradition Rasikajy, XI^e-XV^e AD), la réduction du minerai de fer est effectuée dans une simple fosse creusée dans le sable (diamètre 30 cm), sans superstructure. La ventilation est assurée par des soufflets. La scorie s'accumule au fond du foyer et n'est écoulee à l'extérieur qu'en faible proportion. Ces scories sont riches en fer à tous les degrés d'oxydation (65% Fe_2O_3 tot). Une opération de réduction produit une dizaine de kilos de scorie. Les tonnages des amas atteignent entre 1 et 30 t.

Au Burkina (Tradition Korsimoro KRS2, XI^e-XIII^e AD), les fourneaux sont très grands (diamètre > 100 cm, hauteur > 200 cm). La ventilation est obtenue par tirage naturel. Les scories sont composées de fayalite et hercynithe (55% Fe_2O_3 tot). Les blocs de scories produits pèsent jusqu'à 500 kg. Les amas de scories atteignent plusieurs milliers de tonnes.

A priori, la technique malgache est très simple et n'a été mise en œuvre qu'à petite échelle. Au contraire, au Burkina, il s'agit d'une technique sophistiquée atteignant une production de masse.

Paradoxalement, les calculs de rendements et de production aboutissent à des résultats qui sont supérieurs pour la technique malgache. Les résultats de ces deux calculs sont trompeurs car ils sont en fait directement liés à la teneur du minerai et donnent des résultats supérieurs lors de l'utilisation de minerais riches. Ces minerais riches sont faciles à traiter et ne demandent pas la mise en place d'une technique sophistiquée. Au contraire, la valorisation des minerais pauvres qui ne peuvent offrir que de faibles rendements, n'est possible que si les métallurgistes sont des experts qui maîtrisent des techniques sophistiquées.

Mots-Clés : Métallurgie du fer, Madagascar, Burkina Faso, efficacité

APPORT DES ANALYSES MULTIVARIÉES POUR L'INTERPRÉTATION ET LA COMPARAISON DES ENSEMBLES DE SCORIES DE FORGE À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE

Rémy Jeannot¹, Marion Berranger¹

¹ *Laboratoire "Métallurgies et Cultures" (UMR7065 IRAMAT CNRS) – Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, CNRS-UMR5060 – France*

Les méthodes d'étude des scories de forge, principaux témoins archéologiques du travail du fer, ont connu une forte standardisation depuis les années 2000, en particulier en France et en Suisse. De telles méthodologies sont exposées dans les travaux de nombreux chercheurs (parmi lesquels : Mangin (dir) 2004, Serneels & Perret 2003, Le Carlier et al. 2007, Berranger 2014, Cabboi & Leroy 2019). Cette standardisation permet de disposer d'inventaires basés sur des classements typologiques comparables, ouvrant le champ à des rapprochements entre sites, dans l'optique de mieux appréhender l'évolution et l'organisation économique des activités sidérurgiques anciennes. Dans cette démarche, on se propose de discuter ici de l'utilisation d'analyses statistiques multivariées pour l'interprétation et la comparaison des assemblages de ces déchets issus des sites archéologiques, sur la base de leur enregistrement à l'échelle macroscopique.

En effet, si l'approche microscopique permet de déterminer la nature des activités et des matières premières utilisées, l'approche macroscopique est indispensable en préambule pour définir la typologie des déchets présents, les individus caractéristiques et la variabilité des ensembles. En outre, c'est souvent à cette étape que s'achèvent les études, en particulier dans le contexte contraint de l'archéologie préventive. Dans ce cadre, les approches multivariées semblent être un outil intéressant pour démontrer statistiquement

la cohérence de la typologie, quantifier la variabilité des types définis et comparer directement des assemblages issus de sites différents sans simplification de l'information. En multipliant les individus étudiés à l'échelle microscopique, elles permettent aussi de mieux comprendre les liens entre caractères macroscopiques, processus taphonomiques et interprétations fonctionnelles de ces déchets.

Développée dans un premier temps pour disposer d'une vision d'ensemble objective d'un corpus de nombreux petits lots de scories étudiés séparément, l'approche présentée ici s'appuie sur un total de 2 300 culots de forge, issus de 20 opérations archéologiques, programmées et préventives, totalisant près de 70 contextes exploitables. En plus de répondre aux objectifs énoncés plus haut, elle permet aussi de mieux argumenter des observations réalisées à l'échelle d'un site, par exemple l'existence d'activités très standardisées ou le rapprochement de plusieurs contextes que les seules structures archéologiques ne suffisaient pas à justifier. Cette approche apparaît donc comme un outil supplémentaire, non seulement pour l'interprétation des assemblages de culots de forge, mais aussi pour la compréhension des sites archéologiques et leur comparaison.

Mots-Clés : statistique, culot, scorie, forge, sidérurgie, fer

POSTERS - SESSION 2B

CONTINUITÉ ET CHANGEMENTS DANS LES TRADITIONS TECHNIQUES DE LA CÉRAMIQUE À ARMATAMBO (LIMA –PÉROU) ENTRE 1250-1530 AD [S₂B_P₀₁]

Dante Pareja¹, Javier Iñáñez², Rémy Chapoulie¹, Ayed Ben Amara¹, Nadia Cantin¹,
Luisa Díaz Arriola³

¹ *Institut de recherches sur les Archéomatériaux - Centre de Recherche en Physique appliquée à l'Archéologie (IRAMAT-CRP2A) Université Bordeaux Montaigne (UBM), CNRS : UMR5060 – France*

² *Ramón y Cajal Researcher, GPAC, C. I. Micaela Portilla, Universidad del País Vasco (UPV/EHU) – Espagne*

³ *Grupo de Investigación Sociedades Prehispánicas del Litoral-Yungas, Escuela de Arqueología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Pérou*

La société Ychsma a été l'une des plus importantes civilisations andines ayant occupé la région de la côte centrale entre 900-1530 AD. Ce territoire comprend la vallée du Chilon, la vallée du Rímac et la vallée du Lurín, dans le département de Lima (Pérou). Entre 1470- 1530 AD, il a été conquis et placé sous dépendance étroite par l'empire Inca ce

qui a permis aux élites locales de maintenir leur position et le contrôle de la population. Notre recherche concerne l'étude des traditions techniques de fabrication de céramiques provenant du site archéologique d'Armatambo, un des principaux sites associés à la société Ychsma qui l'a occupé entre la période Ychsma Moyen (1250-1350 AD) et Ychsma Récent (1350-1530 AD). Armatambo a constitué un espace géographique et culturel de communication et d'échange entre les différents sites côtiers associés à la société Ychsma. Les premiers résultats obtenus grâce à l'observation macroscopique de fractures de tessons et du traitement de surface des vases, ont mis en évidence une continuité dans la tradition technique entre l'Ychsma Moyen et l'Ychsma Récent. Nous avons également effectué des analyses minéralogiques (pétrographie, XRD) et chimiques (ICP-MS) sur 65 échantillons correspondant à ces deux périodes. Les résultats de l'analyse ICP-MS ont révélé une variabilité importante dans la composition chimique des échantillons appartenant à l'Ychsma Moyen principalement pour les objets de type marmites. On peut ainsi supposer que durant l'Ychsma Moyen, les ateliers utilisaient différents types de matières premières pour la production de céramiques alors que pendant l'Ychsma Récent, le type de matière première s'est standardisé.

La question reste de savoir si cette standardisation impliquait un contrôle renforcé de la production de céramique pour cette période.

Pour pouvoir apporter des éléments de réponse, toutes ces données doivent être comparées avec les analyses des productions céramiques des autres sites archéologiques de la côte centrale (Pachacamac, Aznapuquio, Mateo Salado, Maranga) et les analyses de terres argileuses issues des prospections géologiques dans la basse vallée du Rímac et du Lurín.

Mots-Clés : Ychsma, céramique, Armatambo, tradition technique, Pérou, ICP, MS.

DE LA CHRYSOLLE AU CUIVRE : RETRACER LES SAVOIR-FAIRE DES MÉTALLURGISTES PRÉHISPANIQUES [S₂B_P02]

Sibylle Manya^{1,2}, Benoit Mille^{2,3}, Thierry Bataille¹,
Jean-Baptiste D'espinoze De Lacaille⁴, Laurent Le Pollès¹, Valentina Figueroa Larre⁵

¹ Institut des Sciences Chimiques de Rennes – Université de Rennes 1, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, CNRS-UMR6226 – France

² Centre de recherche et de restauration des musées de France – CNRS-UMR171, Ministère de la Culture et de la Communication – France

³ Préhistoire et Technologie – Université Paris Nanterre : UMR7055, CNRS-UMR7055 – France

⁴ Sciences et Ingénierie de la Matière Molle (UMR 7615) – Ecole Supérieure de Physique et de

Les populations successives vivant dans l'Atacama ont toujours profité de l'abondance des ressources minérales, et en particulier celle du cuivre. Une tradition métallurgique andine s'est ainsi développée de façon indépendante, longtemps avant l'arrivée des Incas au XV^{ème} siècle. Une équipe de l'IRP Atacama-SHS (International Research Project du CNRS) associant des archéologues, anthropologues, archéométallurgistes et géologues, français et chiliens, a découvert à Ujina-Collahuasi un camp de mineurs et plus d'une cinquantaine de fours de réduction, constituant ce qui semble être le plus important site de production de cuivre préhispanique connu pour le Nord du Chili. Ces découvertes ont notamment permis de collecter de nombreux témoins du fonctionnement de ces fours : fragments de minerai, outils, scories, cuivre métallique. Parmi les minerais de cuivre employés, la chrysocolle, un hydroxysilicate de cuivre, est toujours présente en proportion conséquente. Une étude préliminaire montre que la forte teneur en silice des scories associée à la présence de la chrysocolle est une particularité des procédés métallurgiques de Collahuasi.

Le premier objectif du projet INKACOPPER est donc de mener une étude approfondie de la chrysocolle et de sa décomposition thermique. Mal cristallisée ou amorphe, la structure de la chrysocolle reste largement controversée. Cette complexité structurale de la chrysocolle et la présence dans les roches d'autres phases cristallines et amorphes qui lui sont intimement liées nous a conduit à recourir à une combinaison de techniques d'études structurales (MEB-EDX, ATG-ATD, spectroscopies Raman et IR, DRX, RMN du solide des noyaux ²⁹Si et ¹H, RPE) pour tenter de mieux appréhender son organisation à l'échelle atomique. En parallèle, l'étude de la transformation thermique de la chrysocolle en cuivre a été initiée ; en particulier avec le suivi du comportement de la chrysocolle au cours de la chauffe, puis celle de l'évolution de sa microstructure à différentes températures. Les premiers résultats de ce travail ont permis d'identifier plusieurs étapes de décomposition thermique (déshydratation puis formation de ténorite et de cuprite), mais ont également révélé des phases complexes à identifier formées au cours de la chauffe.

Cette étude de la chrysocolle et de sa décomposition thermique a pour but de comprendre comment les artisans métallurgistes de Collahuasi ont réussi à réduire ce minerai de cuivre en métal en contrôlant sa décomposition d'un point de vue cinétique et thermodynamique.

Mots-Clés : chrysocolle, cuivre, époque préhispanique, archéométallurgie

LES TECHNIQUES DE FABRICATION DES MONNAIES GRECQUES ET ROMAINES EN ALLIAGE CUIVREUX : UN SAVOIR-FAIRE ET DES GESTES VARIÉS [S₂B_P₀₃]

Alexandre Bodet¹

¹ IRAMAT-Centre de recherche en physique appliquée à l'archéologie – Institut de Recherches sur les Archéomatériaux – France

Le projet FRAPPER MONNAIE, Métallurgie, production et quantification de la monnaie ancienne, financé par la région Nouvelle Aquitaine, a pour but de mieux connaître les différents procédés techniques de fabrication des monnaies anciennes en testant des moyens innovants et en les couplant aux méthodes traditionnelles de l'archéologie et de l'archéométrie.

Contrairement à des études qui se sont plutôt intéressées aux techniques de fabrication d'un monnayage ou d'une période en particulier ici les échantillons mis à notre disposition proviennent à la fois d'un cadre géographique (pourtour méditerranéen) et chronologique (5^{ème} siècle avant J.-C. au 3^{ème} siècle après J.-C.) large. L'intérêt est alors de pouvoir comparer les techniques de fabrication entre elles pour des zones géographiques et des périodes vastes. Plus de 140 monnaies en alliage cuivreux ont alors été découpées nous permettant d'accéder au cœur de la pièce et donc de révéler, par sa microstructure, les techniques métallurgiques qui ont pu être utilisées à l'époque. En effet, selon les traitements thermiques et mécaniques qui ont pu subvenir au cours du processus certains vont y laisser des caractéristiques propres. C'est grâce à ces caractéristiques que nous pouvons déterminer certaines étapes et reconstituer la chaîne opératoire. D'ores et déjà des disparités importantes apparaissent selon les périodes et les zones géographiques laissant penser que des gestes et des savoir-faire différents ont été employés lors de la production des monnaies. Si une part importante des monnaies a connu une chaîne opératoire simple (brut de fonderie et frappe) ; sur une part non-négligeable (plus de la moitié de notre corpus), on peut observer des microstructures recristallisées ainsi que des plans de glissement qui laissent penser que leur histoire métallurgique est plus complexe et que d'autres étapes ont dû être menées entre la coulée des flans et la frappe. La Fluorescence X et la Microscopie Electronique à Balayage fournissent des informations sur la composition élémentaire de nos échantillons et sur leurs homogénéités, nécessaires à la compréhension des alliages utilisés par les Anciens pour la frappe monétaire. Des mesures de macrodureté et microdureté ont aussi été effectuées sur les échantillons pour pouvoir appréhender l'impact de la dureté du flan sur la frappe monétaire et donc sur la durée de vie des coins (matrice utilisée pour imprimer les légendes et types sur les pièces de monnaie) utilisés pour la frappe, un diagramme de dureté selon

l'alliage et la microstructure peut ainsi être réalisé.

Enfin, dans un objectif de rendre compte des savoir-faire et gestes qui ont pu être employés au cours de la chaîne de fabrication monétaire, des expérimentations ont également été mises en place sur la plateforme archéométallurgique et Arts du Feu de Melle, pour vérifier l'applicabilité de certaines étapes et de pouvoir réaliser un référentiel de comparaison pour le mettre en parallèle des résultats obtenus sur nos échantillons de monnaies Antiques.

Mots-Clés : Monnaies Antiques, alliage cuivreux, chaîne opératoire, métallographie

INVESTIGATIONS PAR GC-MS DU CONTENU DE JARRES DE L'ÉPAVE PHANOM SURIN (THAÏLANDE, VIII^{ème} AP JC) [S₂B_P₀₄]

Elodie Mezzatesta¹, Céline Joliot¹, Carole Mathe¹

¹ Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale – Avignon Université : UMR7263, Aix Marseille Université, Institut de recherche pour le développement [IRD] : UMR237, Centre National de la Recherche Scientifique – France

En septembre 2013, l'épave de Phanom Surin, située entre les deltas des rivières Tha Chin et Chao Praya, a été découverte. Au sein de celle-ci ont été découverts de nombreux fragments de jarres de Torpedo. Ces grandes amphores sans poignée ont été fabriquées dans la région du golfe Persique au cours de l'Antiquité tardive et du début de l'ère moderne. Elles semblent avoir été utilisées principalement pour le transport par voie d'eau (fluvial et maritime) de produits liquides en vrac. Elles sont donc très proches de la tradition des amphores romaines de la Méditerranée, mieux connues. Contrairement aux amphores romaines, nous savons encore relativement peu de choses sur les jarres Torpédo en terme de chronologie, de provenance et/ou de fonction.

Plusieurs échantillons provenant de ces jarres ont été analysés, le but étant d'identifier les substances organiques présentes à l'aide de techniques analytiques telles que la Chromatographie en Phase gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (CPG-SM) ou bien l'Infrarouge à Transformée de Fourier (IR-TF). Ces informations peuvent aider à établir des liens commerciaux entre les communautés anciennes et à identifier les provenances de chaque matière première utilisées au cours du commerce maritime asiatique du VII^{ème} au VIII^{ème} siècle de notre ère.

Les échantillons analysés traduisent la présence de bitume et de résine dammar appartenant à la famille des *Dipterocarpaceae* et au genre *Shorea*. La lecture de ces résultats permet d'interpréter des origines géographiques distinctes des matériaux. La substance bitumineuse proviendrait d'Asie occidentale et notamment d'Iran et de l'Irak actuels.

Quant à la résine triterpénique de dammar *Shorea* spp. est endémique à la Malaisie, à l'Indonésie, aux Philippines et à l'Inde.

Mots-Clés : Asie, matière organique, céramique, GC, MS, économie

THÈME 2

SESSION 2C

VIE(S) DES OBJETS. FONCTIONS, USAGES, EMPLOIS ET RECYCLAGES



COORDINATRICES : ARIANE PINTO, MARIE-CLAIRE SAVIN

L'objet, dans sa matière et sa forme, est produit pour une ou plusieurs fonctions initiales précises. Il peut toutefois être ré-employé pour remplir des fonctions diverses et variées, parfois surprenantes voire en totale contradiction avec la destinée originelle de l'objet. Les études permettant de restituer l'usage passé de l'objet, par exemple la tracéologie ou les analyses des résidus, ainsi que les analyses des marques de réappropriation des objets, trouveront naturellement leur place dans cette session. L'objet peut également garder sa fonction initiale mais bénéficier d'ajouts et de modifications afin de l'embellir ou de le faire évoluer au goût de l'époque.

La question du recyclage de l'objet pour l'usage opportuniste de sa matière première sera également abordée. Des verres et objets métalliques peuvent être refondus pour produire de nouveaux objets. Des céramiques peuvent être broyées et des pierres retaillées pour être réinvesties dans des constructions. Enfin, certains produits ou sous-produits de chaînes opératoires peuvent être utilisés comme matière première pour la fabrication de nouveaux matériaux. C'est le cas par exemple des restes métallurgiques utilisés comme matières colorantes pour certains pigments.

Cette session invite à questionner des trajectoires singulières d'objets (objets finis ou produits de chaînes opératoires) et la manière dont les techniques de caractérisation, d'imagerie ou de datation permettent de mettre en évidence ces pratiques. Les communicants sont invités à se pencher sur un ou quelques objets plutôt que sur une série afin de réajuster par le bas nos approches globales.

Mots-Clés : usages, tracéologie, recyclage, réemploi, modification

LA TRIBUNE EN BOIS DE L'ÉGLISE ABBATIALE D'ABONDANCE (HAUTE-SAVOIE). CONCEPTION, UTILISATION, RÉUTILISATION (XV^e-XIX^e SIÈCLE)

Sidonie Bochaton ^{1,2,3}

¹ *Archéologie et Archéométrie – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5138,
Université Lumière - Lyon 2 – France*

² *Langages, Littératures, Sociétés, Études Transfrontalières et Internationales – Université
Savoie Mont Blanc – France*

³ *Université Lumière - Lyon 2 – France*

L'ancienne abbaye d'Abondance, fondée vers 1100 dans une vallée du massif préalpin du Chablais, bénéficie depuis 2015 d'une étude globale, tant historique qu'archéologique, dans le cadre d'un doctorat dirigé par Anne Baud à l'Université Lyon 2. Dans ce cadre, une attention particulière a été portée à l'église abbatiale, amputée de sa nef médiévale vers 1440 et sur laquelle plusieurs chercheurs et ecclésiastiques se sont déjà penchés, tels Raymond Oursel, Maurice Dumolin, l'abbé Georges Baud, etc.

Construite au tournant du XIII^e siècle, l'église abbatiale d'Abondance étonne par son gigantisme et en particulier par son chevet développé comprenant sept chapelles rayonnantes, mais aussi par sa courte nef de seulement quatre travées dont deux ont été ajoutées à l'extrême fin du XIX^e siècle. Victime de plusieurs incendies – un par siècle entre le XV^e et le XVIII^e siècle – dont le premier connu est le plus grave, elle porte encore les traces de ces destructions et des reconstructions qui ont suivi. L'étude archéologique du bâti, la reprise des archives narrant ces destructions puis les restaurations et la prise en compte du mobilier liturgique conservé dans l'église, a permis de comprendre l'impact de ces divers incendies et de rétablir chronologiquement les faits.

Se faisant, nous avons élucidé la présence, dans le bras sud du transept, d'une tribune composite de bois. Étudiée en 2008 par Christine Mouterde et Florence Cremer

Mots-Clés : archéologie du bâti, Moyen Âge, tribune, bois, stalles

**"[...] COMME LE SEL GÂTE LE MIEL" ? ABORDER L'ESTRAN ACTUEL
ET LA FONCTION D'UN VASE NÉOLITHIQUE ; VASE 01, TERDOUX-LA
BASSEE, CHÂTEAU D'OLÉRON, ÎLE D'OLÉRON, FRANCE**

Camielsa Prévost¹, Martine Regert¹, Ludovic Soler^{2,3}, Anne-Charlotte Philippe-Lelong⁴,
Vincent Ard⁵

¹ *Culture et Environnements, Préhistoire, Antiquité, Moyen-Age – Université Côte d'Azur (UCA), CNRS : UMR7264 – France*

² *Service d'Archéologie Départementale Charente-Maritime – Département de Charente Maritime – France*

³ *De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie (PACEA) – Université de Bordeaux – France*

⁴ *Contractuelle – Service d'Archéologie Départementale Charente-Maritime – France*

⁵ *Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES) – Université Toulouse 2, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5608 – France*

"[...] Comme le sel gâte le miel" est une comparaison littéraire extraite d'un proverbe algérien. Le choix de cette image illustre l'importance du miel comme produit adoucisseur depuis déjà un très long temps. Mais si le sucre et le sel sont bien des condiments opposés dans le monde culinaire, peut-on vraiment dire que le sel gâte le miel au sens propre du terme ?

Ici, nous posons cette question en lien avec un cas d'étude issu des analyses menées dans le cadre d'une recherche doctorale portant sur les contenus lipidiques, et la fonction de céramiques néolithiques et protohistoriques retrouvées sur la façade atlantique de l'estuaire de la Gironde à la Bretagne.

Ce cas d'étude concerne un vase néolithique mis au jour en position intertidale, préservé à moins de 40 cm de la surface actuelle, sur le site de Terdoux-La Bassée sur l'île d'Oléron (Château-d'Oléron, dir. L. Soler). Dans le but d'interroger, dans un milieu quotidiennement recouvert par l'océan, la qualité et le taux des lipides potentiellement conservés dans une céramique, nous avons effectué des analyses en chromatographie en phase gazeuse équipée d'un détecteur à ionisation de flamme (GC-FID), puis en chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC-MS) sur deux fragments de poteries issus du même vase. Il est à noter que ce vase ne présente pas de résidus amorphes sur ses parois, qui sont, par ailleurs, particulièrement altérées. Ces analyses ont révélé un cortège moléculaire de faible intensité, mais riche d'informations attestant d'une exploitation de produits apicoles et de graisses sous-cutanées thermo-transformées provenant d'animaux terrestres ruminants. La découverte d'une faible, mais bonne conservation des lipides en contexte intertidal et salin est en soi exceptionnelle, et la caractérisation de ces molécules offre de précieuses informations pour chercher à reconstituer l'utilité du vase - possiblement sa fonction -, et fournit des indices quant aux

modes de vie et pratiques "culinaires" des populations du passé.

Cette communication propose de présenter l'état actuel de l'étude, la méthodologie employée et de discuter des interprétations pouvant être effectuées à partir du contenu lipidique, du récipient, et de son contexte d'enfouissement.

Mots-Clés : Lipides, Cire d'abeilles, Produits laitiers, Céramique, Fonction, Néolithique, Estran actuel, Submersion marine

PHOTOGRAMMÉTRIE ET ANALYSE DE SURFACE DES MODÈLES 3D POUR L'ÉTUDE DES SUPPORTS ÉPIGRAPHIQUES D'INSCRIPTIONS ANTIQUES DE VAISON-LA-ROMAINE (VAUCLUSE FRANCE)

Elsa Roux¹

¹ LUHCIE (Patrimalp) – UGA – France

Ce présent travail a été réalisé lors d'un contrat postdoctoral dans le cadre du Patrimalp. Plusieurs inscriptions antiques de Vaison-la-Romaine ont fait l'objet de relevés photogrammétriques assez précis pour pouvoir observer les traces d'outils. Le projet d'étude des supports épigraphiques par le biais de la photogrammétrie et de l'analyse de surface est né d'une constatation : les épigraphistes travaillent généralement sur le texte, mais personne ne s'intéresse véritablement au support de l'inscription, surtout s'il s'agit de simples plaques sans ornement. Dans le cadre de cette présentation, nous allons revenir en détail sur deux inscriptions découvertes en 1912 dans les hypocausta du théâtre antique de Vasio Vocontorium.

Il s'agit de l'inscription en l'honneur de Claude divinisé (ILGN 205a) et de l'inscription en l'honneur de Britannicus César (CAG, 84/1, p. 237, n 250). Ces deux inscriptions gravées sur des plaques de marbre sont fragmentaires. Elles ont suscité un grand intérêt de la part des épigraphistes, mais l'enjeu principal reste la datation. Plusieurs hypothèses ont été proposées et reposent sur l'association des inscriptions, l'une avec l'autre mais aussi avec la statue de Claude type Cassel. Notre travail consiste donc à apporter de nouvelles données permettant d'orienter le débat et de préciser la datation. Ce projet est basé sur l'étude de toutes les traces laissées par les outils lors de la phase de confection des éléments, mais aussi toutes les traces dues à la mise en œuvre (trous de fixation, traces de mortier, retailles d'ajustement ...) et toutes les traces d'usures, altérations ou accidents. Ce type d'observations a été développé dans le cadre de notre thèse. Notre pratique de la taille de pierre et l'archéologie expérimentale, nous ont permis d'acquérir de solides connaissances sur les techniques de taille, sur les étapes du travail et sur les outils employés. Une étude attentive des traces observables sur toutes les faces d'une plaque permet de comprendre son positionnement dans le décor. Enfin, l'étude tracéologique peut

également être réalisée sur les traces observables au niveau du champ épigraphique et dans le creux des lettres. Ces observations - outre le fait d'apporter des informations sur la fonction du support inscrit - livrent des renseignements sur le travail des artisans et sur les méthodes de confection. Il est ainsi possible de caractériser la nature des supports épigraphiques et de retracer l'ensemble des étapes de "vie" des supports épigraphiques, avant et après la gravure des textes. Les facsimilés numériques issus de la photogrammétrie offrent de nouvelles possibilités pour cette étude. Si dans un premier temps, la photogrammétrie apparaît comme un simple moyen d'enregistrer les données brutes, il est possible d'intervenir sur les modèles afin de produire des analyses de surfaces, de visualiser certains détails et d'obtenir de meilleurs rendus. Toutes ces données peuvent être utilisées à des fins comparatives, notamment lorsque l'on cherche à déterminer si plusieurs inscriptions ont été réalisées par un même artisan ou si plusieurs artisans sont intervenus.

Mots-Clés : Photogrammétrie, Analyse de surface, Tracéologie, Epigraphie antique, traces d'outils

EXPLORER L'INFORMATION FONCTIONNELLE ISSUE DES CONCENTRATIONS DE LIPIDES DANS LES CÉRAMIQUES : UNE APPROCHE ETHNOARCHÉOLOGIQUE

Léa Drieu¹, Martine Regert¹, Arnaud Mazuy¹, Julien Vieugé^{2,3}, Anne Mayor⁴

¹ *Cultures et Environnement. Préhistoire, Antiquité, Moyen Age (CEPAM) – Université Côte d'Azur, CNRS : UMR7264 – Nice, France*

² *Centre de recherche français à Jérusalem – Israël*

³ *Préhistoire et Technologie – Université Paris Nanterre, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7055 – France*

⁴ *Laboratoire Archéologie et Peuplement de l'Afrique – Unité d'Anthropologie - Genève, Suisse*

Les analyses de résidus organiques, absorbés au cours de l'utilisation des céramiques et préservés dans les parois, ont démontré depuis plusieurs décennies leur potentiel pour étudier les usages des récipients archéologiques. Force est pourtant de constater que la recherche a été principalement orientée vers l'identification des substances contenues dans les céramiques, et très peu sur les modalités d'usage des récipients. Ce constat est d'autant plus regrettable que les travaux fondateurs de la discipline ont très tôt constaté que la matière organique, et en particulier les lipides, s'absorbent différemment selon les modes d'utilisation. Les modèles disponibles pour interpréter ces modalités d'absorption en termes de fonctionnement, issus de l'expérimentation, restent très restreints, ce qui explique peut-être le désintérêt pour les études fonctionnelles. Dans cette commu-

nication, nous proposons d'enrichir ce référentiel en étudiant la distribution des lipides dans vingt-neuf récipients de fonctions différentes, collectés au Pays Bédik et en Casamance, au Sénégal, parmi des groupes utilisant encore la céramique dans les activités quotidiennes. Les analyses, réalisées dans un premier temps en aveugle par rapport aux usages actuels connus, ont révélé une grande diversité des quantités de lipides absorbés et des profils d'absorption le long des transects verticaux des récipients. Une dégradation préférentielle des lipides (hydrolyse des triglycérides, oxydation des acides gras insaturés) à certains niveaux du profil vertical a également été observée. Une variabilité équatoriale a été constatée, mais reste peu significative par rapport aux profils verticaux. Des hypothèses interprétatives, basées sur les biomarqueurs détectés, les quantités de lipides et les profils d'absorption et de dégradation verticaux, ont été proposées : récipients de cuisson (ébullition) de produits plus ou moins gras, récipients de stockage ou de fermentation, filtration de substance pâteuse, usages pour des substances non grasses ou usages impliquant des dégradations importantes (ex : chauffage intense). La comparaison avec les usages documentés sur le terrain par des enquêtes au Sénégal a démontré la grande complexité des modalités d'absorption des lipides dans les parois, suggérant que de nombreux paramètres les influencent (niveau de remplissage, durée d'usage, température de cuisson, ajout d'ingrédients acides, etc.). Ces résultats constituent une première étape vers la constitution d'un référentiel interprétatif des profils d'absorption des lipides en termes de fonction des récipients, qui pourra être mis à profit pour une étude fonctionnelle détaillée des récipients archéologiques.

Mots-Clés : usage des céramiques, résidus organiques, lipides, ethnoarchéologie

COMMERCE VINAIRE EN TERRITOIRE PICTON : PREMIERS APPORTS DE L'ÉTUDE DES AMPHORES RÉGIONALES ET DE LEUR CONTENU

Camille Frugier^{1,2}, Isabelle Pianet², Nadia Cantin², Christelle Absalon³,
Valérie Thirion-Merle⁴, Séverine Lemaître¹

1 *HeRMA, Hellénisation et romanisation dans le monde antique – Université de Poitiers : EA3811 – France*

2 *Archéosciences Bordeaux, Matériaux, Temps, Images et Sociétés – CNRS : UMR6034, Université Bordeaux Montaigne, Université de Bordeaux – France*

3 *ISM, Institut des Sciences Moléculaires – CNRS : UMR5255, Université de Bordeaux – France*

4 *ArAr, Archéologie et Archéométrie – CNRS : UMR5138, Université Lumière - Lyon II – France*

Au cœur du centre-ouest de la Gaule, en territoire picton, des amphores produites localement ont été exhumées sur plusieurs sites archéologiques. Typologiquement, elles reprennent les formes d'amphores vinaires importées de Tarraconnaise (Dressel 2/4,

Pascual 1) et de Narbonnaise (Gauloise 4 et 5). Elles ont notamment été mises au jour à *Limonum*, ancienne capitale pictonne et actuelle Poitiers (Vienne), dans l'agglomération secondaire de *Rauranum* à Rom (Deux-Sèvres), et dans le sanctuaire du Gué-de-Sciaux à Antigny (Vienne).

Toutefois, ces productions régionales ne sont encore que peu documentées d'un point de vue archéométrique. La caractérisation du mobilier amphorique de plusieurs ateliers pictons, dont ceux du Bourg-est à Gourgé (Deux-Sèvres) et des Groseilliers à Naintré (Vienne), a été poursuivie. Les amphores de ces officines ont fait l'objet d'un examen macroscopique, pétrographique et ont été analysées par fluorescence de rayons X en dispersion de longueur d'onde. Les résultats obtenus ont permis de discriminer ces productions sur la base de leurs compositions chimiques et minéralogiques bien que les pâtes soient macroscopiquement proches.

Parallèlement, des récipients découverts en contexte de consommation sur 4 sites pictons ont été échantillonnés. Il s'agit des amphores régionales découvertes au Sanctuaire du Gué-de-Sciaux, à Rom, et lors des fouilles des Cordeliers et de la Rue de la Marne à Poitiers. L'étude de ce mobilier a permis de commencer à évaluer la diffusion des contenants produits par les ateliers pictons. Toutefois, elle a également mis en lumière la présence de productions à l'origine inconnue.

Par ailleurs, nous nous sommes interrogées sur la nature du produit commercialisé dans les amphores pictonnes. En effet, ces amphores imitent toutes des formes méditerranéennes dédiées au transport du vin alors que les indices de la culture de la vigne en territoire picton sont minces pour l'époque à laquelle elles ont circulé. Pour tenter d'obtenir des éléments de réponse, des récipients retrouvés en contexte de consommation ont été soumis à des analyses par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Cette étude, menée dans un premier temps sur les amphores de Poitiers, a permis de montrer que les résidus organiques conservés étaient compatibles avec l'utilisation des récipients comme amphore vinaire. Afin de mieux définir les réseaux de diffusion des contenants pictons et les différents faciès d'approvisionnement existants à l'échelle du territoire, l'étude des assemblages d'une agglomération secondaire (*Rauranum*) et d'un site à vocation cultuelle (Gué-de-Sciaux) est actuellement en cours.

Mots-Clés : Amphores pictonnes, Haut, Empire, production et diffusion, étude du contenu, vin, pétrographie, WDXRF, GCMS.

ÉCHANGE ET RÉUTILISATION DES MIROIRS DE MINÉRAI DE FER EN MÉSOMÉRIQUE ET EN AMÉRIQUE CENTRALE : APPORTS DE L'ARCHÉOMÉTRIE PHYSICO-CHIMIQUE ET DE LA TRACÉOLOGIE

Matthieu Ménager^{1,2}, Emliano Ricardo Melgar Tísoc³, Carolina Cavallini²,
Paula Sibaja Conejo², Nataly Barboza², Silvia Salgado²

¹ *Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale – Avignon Université, Institut de recherche pour le développement [IRD], CNRS-UMR237, UMR7263 – France*

² *Universidad de Costa Rica – Costa Rica*

³ *Instituto Nacional de Antropología e Historia [Mexico] – Mexique*

Les sociétés mayas ont développé un système politique de royauté sacrée où les rituels et la politique étaient fortement liés. Dans ce cadre, les miroirs de minerai de fer étaient des artefacts essentiels pour les rois divins et les individus de haut rang. À ce jour, les seuls sites de fabrication identifiés sont situés sur les territoires correspondant aux Guatemala, Mexique ou Belize actuels. Les miroirs étaient fabriqués à partir de trois éléments caractéristiques : une base de pierre, un adhésif et des tesselles de minerai de fer.

De nombreux miroirs de minerai de fer ont été retrouvés dans des contextes funéraires de sites archéologiques datant de 300 à 600 après J.-C. localisés au Costa Rica. Ces territoires, distants de plus de 800 km de la zone maya, étaient alors habités par des communautés parlant un dialecte de la famille du Chibcha. La présence d'artefacts méso-américains aussi prestigieux et rares au Costa Rica est d'une importance primordiale pour comprendre le lien entre ces deux zones archéologiques.

Dans ce cadre, une approche combinant la chimie analytique et la tracéologie a été utilisée afin d'étudier 8 fragments de miroirs retrouvés sur le site archéologique de Sojo dans la région du Pacifique Nord du Costa Rica. Les bases en pierre, les adhésifs et les tesselles ont été caractérisés par spectroscopie infrarouge (FT-IR), Microscopie électronique à Balayage (MEB/EDX), spectroscopie Raman, et fluorescence X (FRX). Les techniques utilisées pour leurs fabrications ont été élucidées en utilisant la tracéologie. Ce travail constitue la première étude archéométrique de miroirs méso-américains trouvés en dehors de la Méso-Amérique.

Les analyses physico-chimiques ont démontré que les bases des miroirs étaient toutes constituées de muscovite, de phlogopite et de quartz. L'étude spectroscopique de tous les adhésifs a montré la présence de dickite non chauffée et mélangée à une matière organique inconnue. Les adhésifs étudiés présentaient également des traces des produits de dégradation de la pyrite ou de l'hématite. En outre, deux fragments en forme de tesselles faisaient très probablement partie d'un miroir composite, fabriqué en collant des nodules d'hématite sur des tesselles de pierre à l'aide d'une argile mélangée à un liant

organique. Ce type de technique n'était pas utilisé par les artisans de la zone Chibcha à cette période.

Les analyses en tracéologie ont montré l'utilisation homogène d'outils en silex et en obsidienne pour réaliser les perforations et les bords des miroirs. En contraste avec cette homogénéité, trois techniques différentes ont été retrouvées sur les surfaces des bases de pierre : (i) une abrasion avec un calcaire, (ii) une abrasion avec du basalte et un polissage avec des nodules de silex, et (iii) une abrasion avec du granit. Cette diversité d'outils utilisés pour un même type d'artefact retrouvé sur un même site est peu commune en Mésoamérique. Cette dernière observation, associée à l'homogénéité des matériaux identifiés et des techniques utilisées pour les perforations et les bords, semble indiquer un recyclage local des bases. Pour finir, ces analyses ont démontré une probable origine maya et écarté une origine de Teotihuacan.

Mots-Clés : Miroirs, Maya, Chibcha, Archéométrie physico-chimique, Tracéologie, vie des artefact, provenance

LA PETITE VRILLETTE (*ANOBIUM PUNCTATUM L.*) : UN XYLOPHAGE, UN NUISIBLE, UN MARQUEUR ARCHÉOLOGIQUE ?

Magali Toriti¹, Aline Durand¹, Fabien Fohrer²

¹ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CRéAAH) – Le Mans Université, Université de Nantes, Université de Rennes 1, Ministère de la Culture et de la Communication, Institut national de recherches archéologiques préventives, Université de Rennes 2, CNRS-UMR6566 – France

² CICRP – Ministère de la Culture et de la Communication – Marseille, France

La petite vrillette (*Anobium punctatum L.*) est un insecte xylophage très commun dans les habitations actuelles comme anciennes. Elle est notamment l'un des plus grands ravageurs du bois manufacturé et de bois de construction faisant ainsi l'objet de véritables campagnes d'éradication, principalement dans les musées et chez les particuliers. Du point de vue de l'entomologie sédimentaire et en raison de sa synanthropie, sa présence est régulièrement attestée dans les assemblages entomologiques dès lors qu'un contexte d'habitat est à proximité. En parallèle, les bois gorgés d'eau ou carbonisés mis au jour au sein de structures variées (bois de construction mais aussi foyers, combustibles...) offrent une certaine image du patrimoine ligneux : essences sélectionnées, emploi, travail et techniques de débitage, provenance, gestion des forêts...

De récentes approches alliant archéologie, xylo-anthracologie et entomologie attestent de la présence de ce ravageur à travers les traces typiques qu'il laisse dans le bois. L'observation de la répartition de sa présence, le nombre de galeries et leur distribution au

sein de l'ensemble de la structure, couplée aux données archéologiques, ouvrent des perspectives d'interprétation pour approcher et évaluer l'état sanitaire des bois archéologiques. Ces infestations peuvent avoir lieu dans différentes circonstances telles qu'à divers moments de la vie du bâtiment (phase d'utilisation ou d'abandon) voire après la mise au jour des vestiges (entre deux campagnes de fouille, ou lors de leur stockage, conditionnement et présentation au public).

L'analyse systématique des traces de cet insecte et la répétition attestée de sa présence sur différents sites gallo-romains, qui seront présentés, et contextes d'analyses (charpentes, planchers, paroi en bois, seaux et tonneaux, mais aussi foyers domestiques et aménagements de berge) en font un marqueur archéologique intéressant. En effet, elles participent à la restitution des événements de la vie d'un bâtiment (source et durée minimale de l'infestation, point faible de la structure), aident à comprendre l'attractivité du bois dans le domaine de la conservation patrimoniale ou encore à mettre en évidence l'attestation de bois de réemploi...

Mots-Clés : xylophage, bois d'œuvre, conservation, Protohistoire, Antiquité romaine

THÈME 2

SESSION 2D

DEVENIR DES OBJETS. ALTÉRATION, DÉGRADATION, ENJEUX DE CONSERVATION ET RESTAURATION



COORDINATEURS : MICHELINE DRAYE, KARINE FROMENT,
PHILIPPE RAFFAELLI

L'observation des objets anciens qui sont parvenus jusqu'à nous témoigne des agressions du temps, en particulier des milieux variables dans lesquelles ils ont été conservés (atmosphère, sédiment, eau etc.) et parfois également des interventions humaines plus ou moins impactantes dont ils ont subi les effets. La compréhension des dégradations liées au temps et à l'environnement (milieu d'enfouissement, lieu de conservation) nous permet d'une part de mieux comprendre les observations des « restes » encore conservés aujourd'hui, mais également de mieux restaurer les surfaces ou objets dégradés. Par la présentation d'étude de cas, les communications illustreront le lien entre altérations, dégradations, compréhension des mécanismes physico-chimiques impliqués, allant jusqu'à suggérer des produits et techniques particuliers de restauration.

Cette session est également l'occasion de créer un lieu de dialogue et de collaboration entre les acteurs des archéosciences et ceux de la conservation. Elle a vocation d'accueillir les questionnements autour de l'impact de nos pratiques de caractérisation et de conservation-restauration et du devenir des objets.

Mots-Clés : altération, dégradation, transformation, mécanisme, restauration, conservation

COMPARER LES ROUGES. L'ÉTUDE TAPHONOMIQUE DES PAROIS, UN PRÉ-REQUIS DE L'ANALYSE DES MATIÈRES COLORANTES LIÉES À L'ART RUPESTRE

Aurélie Chassin de Kergommeaux¹, Claudia Defrasne¹, Quentin Lemasson²,
Florian Kergourlay^{3,4}, Pauline Martinetto³, Eric Goemaere⁵,
Emilie Chalmin¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac cedex, France*

² *Centre de recherche et de restauration des musées de France – Centre National de la Recherche
Scientifique : UMR171, Ministère de la Culture et de la Communication – France*

³ *Institut Néel – Institut polytechnique de Grenoble - Grenoble Institute of Technology, Univer-
sité Grenoble Alpes, CNRS-UPR2940 – France*

⁴ *European Synchrotron Radiation Facility – The European Synchrotron, ESRF, beamline
ID22, Grenoble – France*

⁵ *Geological Survey of Belgium, Royal Belgian Institute of Natural Sciences –
Brussels, Belgique*

Le Rocher du Château (Bessans, Savoie) est un pointement rocheux de serpentinite, remarquable dans la topographie de la vallée de l'Arc, sur les parois duquel ont été identifiées des peintures pariétales mentionnées en 1869 par M. Truchet puis étudiées dès 1975 (Nehl 1976). Des sondages archéologiques ont été réalisés au pied de la paroi et ont mis en évidence des périodes d'occupation datées du Néolithique moyen et final (Thirault 2003, Thirault et Pallier 2006). Situation exceptionnelle, des matières colorantes ont été mises au jour dans les niveaux archéologiques de la seconde moitié du V^e millénaire BC attribués à la culture des Vases à Bouche Carrée. A partir de 2015, une recherche sur l'expression schématique néolithique de France méridionale et des Alpes occidentales visant notamment une meilleure contextualisation chrono-culturelle de cette expression graphique, a conduit à la reprise des études aux Rocher du Château. Dans ce cadre, la comparaison des matières colorantes issues des niveaux archéologiques et des peintures est apparue comme une occasion d'apporter de nouveaux arguments d'ordre chronologique. Des analyses en spectroscopie Raman in situ ont été couplées à la réalisation de microprélèvements. La caractérisation de ces différentes matières avait pour objectifs de questionner leur homogénéité et leur provenance. Pour aborder ces questions de contextualisation des peintures, de stratégies d'approvisionnement et de savoirs faire techniques, la première difficulté est celle de la comparaison entre des matières de morphologies différentes (artefacts cohésifs, poudres, poudres appliquées et échantillons géologiques). En effet, les matières picturales sont des matières ayant pu être extrêmement modifiées avec tout d'abord une réduction en poudre entraînant une perte de la morphologie de la roche initiale et une perte de cohésion, mais aussi de po-

tentiels tris, ajouts de phases minérales ou organiques, transformations thermiques... De plus chaque objet a subi des altérations différentes dues à une conservation dans des environnements divers (sédiments, plein-air, affleurement) ; il ne reste ainsi qu'une épaisseur de quelques micromètres de peinture. Afin de pouvoir dissocier les différents constituants d'une peinture (pigments, charges, substrats...) des signaux liés à l'altération de la paroi, il a donc été nécessaire de développer une méthodologie robuste de comparaison des matières à différentes échelles faisant intervenir de multiples proxys et prenant en considération les phénomènes d'altérations et leurs implications dans la désignation de signatures géochimiques. Cette méthodologie nécessite des descriptions pétrographiques aussi bien au niveau macro- et mésoscopique (œil nu, loupe binoculaire, microscope optique) que microscopique (MEB) pour faire le lien entre les différentes échelles d'observation et guider les caractérisations géo-physico-chimiques (sonde EDX sur MEB, syn-DRX, Raman, PIXE).

Nehl G. 1976. Peintures rupestres de Haute-Maurienne (Bessans, Savoie). Bulletin du GERSAR, 3, 6. ; Thirault, E. 2003. Le Château à Bessans (Savoie) Rapport de fouille programmée Campagne 2003. 39. ; Thirault E., Pallier C. 2006. Apport de la fouille archéologique du Rocher du Château à la compréhension de la dynamique sédimentaire holocène de la plaine de Bessans (Savoie, France). Travaux scientifiques du Parc naturel de la Vanoise, n.13. 20.

Mots-Clés : matière colorante, art rupestre, taphonomie de paroi, caractérisation géochimique, Néolithique

**ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES DE DÉGRADATION DE MATIÈRES
ORGANIQUES ET DÉVELOPPEMENT DE PROTOCOLES POUR
L'ÉCHANTILLONNAGE ET L'ANALYSE STRUCTURALE DE MARQUEURS
ORGANIQUES PIÉGÉS DANS DES VESTIGES DU
PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR**

Charlotte Saint-Raymond¹, Grégory Chatel¹, Christine Piot¹, Hélène Salomon¹,
Micheline Draye¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – Le Bourget du Lac, France*

Parmi les matières et les matériaux possiblement utilisés par les chasseurs-collecteurs du Paléolithique, les matières organiques sont souvent les plus altérées, lorsqu'elles n'ont pas totalement disparu, et également les moins bien repérées lors des fouilles, du fait, en particulier, de processus taphonomiques. Cependant, lorsqu'elles sont suffisamment

conservées, elles apportent des informations pertinentes et essentielles pour la compréhension des modes de vie et du fonctionnement des groupes humains du passé, qu'il s'agisse de leurs pratiques alimentaires, prophylactiques, artisanales voire esthétiques. Les outils en pierre employés au Paléolithique ont pu faire office de pièges, de par leurs caractéristiques pétrophysiques, renfermant des résidus de diverses matières mises à leur contact. L'accès aux informations que pourraient apporter ces résidus est conditionné par la mise en place de protocoles fiables pour la récupération des résidus organiques, pour leur conservation, ainsi que pour la séparation et l'identification des molécules les constituant. De plus, ces résidus présentant un état de dégradation avancé, il est primordial d'étudier les schémas de dégradation des marqueurs organiques d'intérêt des matières étudiées, afin de pouvoir les identifier.

Cette présentation s'intéresse ainsi à l'étude des phénomènes de dégradation affectant les marqueurs d'intérêt spécifiques de matières organiques, d'origine animale (graisse animale, cire, os) ou végétale (exsudats, écorce, matière ligneuse, champignon), ainsi qu'à l'identification et l'extraction de ces marqueurs, au travers de l'étude de vestiges mis au jour et d'expérimentations réalisées sur un campement de plein air du Paléolithique supérieur, le site archéologique de Pincevent. Ces expérimentations reproduisent des utilisations réalistes d'outils en grès de Fontainebleau et de silex pour travailler différentes matières organiques. Les outils lithiques utilisés ont ensuite été enfouis sur place afin d'observer l'influence de l'enfouissement sur la dégradation des résidus produits lors du travail de ces matières. Ces expérimentations complèteront l'étude des phénomènes et des mécanismes de dégradation de marqueurs organiques de ces matières, réalisée en laboratoire par dégradation accélérée.

Mots-Clés : chimie analytique, dégradation, matières organiques, marqueurs organiques, Paléolithique supérieur

**RETHINKING THE PROCESS OF ANIMAL MUMMIFICATION:
A MULTI-PLATFORM APPROACH FOR THE CHEMICAL
CHARACTERIZATION OF EMBALMING MATERIALS OF VOTIVE ANIMAL
MUMMIES FROM THE SITE OF KOM MEREH, EGYPT**

Milan Markovic¹, Omar Lezrak¹, Gérald Culioli¹, Stéphanie Porcier², Didier Berthet³,
Cathy Vieillescazes¹, Carole Mathe¹

¹ IMBE, UMR7263/IRD237, Avignon University/CNRS/IRD/AMU, Restoration Engineering of Natural and Cultural Heritage – France

² Laboratoire CNRS "Histoire et Sources des Mondes Antiques" (HiSoMA-UMR 5189), Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon – France

³ Musée des Confluences, Lyon – France

While anthropogenic body preservation is a practice that has been used in past communities ranging from today's northern Chile to modern Japan (Arriaza et al., 1998; Sakurai et al., 1998), the deliberate mummification of animals appears as a ritual practice exclusively limited to societies in Ancient Egypt. Thanks to the large amount of data gathered from numerous archaeological excavations, it has been discovered that Ancient Egyptians mummified millions of animals of which many have been classified as "votive mummies" offered to gods and goddesses. Ancient writers, such as Herodotus, Strabo and Pliny the Elder, indeed mentioned that animals were subjected to this ritual practice but only provided scarce information about the organic components used during mummification processes.

To date, only few scientific articles have been devoted to the analysis of organic substances used in animal mummification practices through chromatographic and spectroscopic techniques (Brettel et al., 2017; Buckley et al., 2004., Marković et al., 2020).

Taking into account the importance of the study of mummified animals and their vital role in social, economic, religious and political context of Ancient Egypt, the relevance of this talk would be twofold: (i) providing valuable insights about the innovative possibilities of physico-chemical analyses in this type of research projects and (ii) contributing of new datasets comparable to the already existing and narrow corpus of knowledge concerning organic substances used for animal mummification.

Given the sophisticated and heterogeneous nature (resins, plant oils, beeswaxes, animal fats...) of organic commodities used for mummification, this study applied a multi-platform analytical approach based on Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) analyses of the embalming agents used for mummification. Furthermore, an original part of this research consisted of introducing Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS)-based untargeted metabolomics coupled to molecular networking for enlarging our analytical capacity to characterize organic commodities used by Ancient Egyptians during the mummification practices.

Regarding the analytical techniques applied, FT-IR allows a global characterization of different materials (both organic and inorganic) and thus has been used in this study for an initial screening of the samples. Therefore, GC-MS demonstrated invaluable help in identifying specific compounds, qualified as archaeological molecular markers, which are diagnostic in their nature and can be found in ancient balms or produced during ageing and/or other alteration processes. This study has been completed by a LC-MS-based metabolomic approach including the analysis of modern natural ingredients which allowed the detection of a wider range of potential molecular markers. Moreover, the annotation of these chemical markers was done through the implementation of the recent and original molecular networking approach.

Mots-Clés : FTIR and GCMS techniques, Organic residue analysis, Untargeted metabolomics, Alteration and ageing, Animal mummies, Cultural heritage

DÉGRADATION DES FEUILLES MÉTALLIQUES DE SCULPTURES POLYCHROMES : LE CAS DES BROCARTS APPLIQUÉS DE SAVOIE

Ariane Pinto^{1,2}, Pauline Martinetto², Pierre Bordet², Caroline Bouvier³,
Sébastien Pairis², Valérie Reita², Florence Lelong¹

¹ ARC-Nucléart – Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) -
France

² Institut Néel, CNRS : UPR2940, Université Grenoble Alpes - France

³ LAMS – Laboratoire d'Archeologie Moléculaire et Structurale (LAMS), CNRS UMR 8220,
Sorbonne Université – France

Les "brocarts appliqués" sont des décors visant à imiter en léger relief les soieries brodées de fils d'or ou d'argent portées par la noblesse durant l'époque médiévale. Originaires d'Europe du Nord, où elle émerge dès le XIV^e siècle, cette technique se diffuse rapidement et connaît son apogée entre le milieu du XV^e et le milieu du XVI^e siècle. Leur complexité technique, alliant de nombreux matériaux, en fait l'un des décors les plus sophistiqués de la fin du Moyen Âge. Les brocarts appliqués sont composés d'une feuille d'étain moulée renforcée d'une masse de remplissage et la feuille d'étain est presque systématiquement dorée et rehaussée de glacis colorés.

La fragilité de ces décors rend cependant leur identification et, *in fine*, leur conservation, difficile. La dégradation importante et la perte de matière, notamment au niveau des feuilles métalliques, limitent fortement la reconnaissance des œuvres porteuses de brocart et nos connaissances sur leur technique de fabrication. Mieux comprendre les mécanismes de dégradation devient donc une prérogative nécessaire à leur analyse. Les rares études qui se sont penchées sur l'étain dans les brocarts appliqués soulignent l'absence ou la faible quantité d'étain métallique (β -Sn) sur les œuvres. Bien que souvent considérée comme le mécanisme principal de détérioration pour les objets en étain dans les musées, la "peste de l'étain" avec sa phase dégradée α -Sn, n'a jamais été identifiée dans le cas des "brocarts appliqués" de Savoie. Cette piste est donc écartée et laisse place à d'autres hypothèses. Cette communication sera dédiée aux mécanismes de dégradation des feuilles métalliques dans les brocarts appliqués présents sur des sculptures polychromes de l'ancien Duché de Savoie (1470-1525). Par une approche multi-analytique couplant la microscopie électronique à balayage, la spectroscopie Raman, la μ XRD sur synchrotron et le Tof-SIMS, nous aborderons l'identification des produits de dégradation au niveau de l'étain et de la dorure, leur localisation, leur quantification et leur réaction avec les composés des couches environnantes afin de proposer des pistes quant aux mécanismes de dégradation impliqués.

Mots-Clés : dégradation, sculpture polychrome, feuilles métalliques, étain, or, oxydation

MICROORGANISMS AND MOONMILK IN THE CAVES FROM THE VÉZÈRE VALLEY (DORDOGNE, FRANCE) [S2D_P01]

Sriradha Bhattacharya^{1,2}, Ana Teresa Caldeira², Rémy Chapoulie¹, Catherine Ferrier³, José Mirão², Delphine Lacanette⁴, Léna Bassel³, Cátia Salvador²

¹ IRAMAT-CRP2A, UMR 5060 CNRS, Université Bordeaux Montaigne - France

² HERCULES Laboratório, Universidade de Évora, Department of Chemistry, School of Science and Technology – Portugal

³ PACEA, UMR 5199 CNRS, Université de Bordeaux, – France

⁴ I2M, UMR 5295 CNRS, Université de Bordeaux – France

Caves are the best examples of a glimpse into the subsurface world and into human past through its art work. Moonmilk, a secondary speleothem is a problem that plagues this art. The environment is very distinct as they differ vastly from the exterior owing to it being divided by the soil and the epikarst. Caves are considered as extreme environments due to very little or complete absence of sunlight and limited interaction with the outside ecosystem. This determines the growth of microorganisms that can easily adapt to these extreme conditions playing an important role in the development of biotransformations inside the caves, namely biomineralization and probably in the formation of moonmilk and leading to potential degradation of cave art. Moonmilk is identified by its distinctive crystalline fibre, referred to as Needle Fibre Calcite (NFC).

Moonmilk formation is not completely understood being attributed to abiotic processes and/or mediated by biotic processes. This study deals with the identification of the microorganisms sampled in three non-ornated caves (named Leye, Pillier and Racine) in the Vézère Valley (Dordogne, France). Leye is considered as a "laboratory cave", because it is very similar to Lascaux, located in the same region but without any cave art, mimicking the environmental conditions and making it an ideal cave to carry out multidisciplinary studies where sampling is allowed. The other two caves (Pillier and Racine) are also important because they show the same moonmilk presence and enable to check the variability of these bioinduced minerals.

These two caves have not been submitted to any kind of study yet. *In situ* DinoLite Microscopy confirmed the existence of microorganisms and needles. *In vitro* culture showed the presence of bacteria, fungi and yeast. High Throughput Sequencing (HTS) was used to explore, compare and characterise the microbial communities present in the cave. Scanning Electron Microscopy helped us discriminating the different types of

needles along with microbial deposits present in the caves. SEM micrographs show the presence of various needles: monocrystalline, polycrystalline and serrated, which occur due to biomineralisation. Bacterial communities are mainly composed by *Proteobacteria*, *Actinobacteria* and *Firmicutes*. *Phylums* like *Nitrospirae*, *Tenericutes*, *Spirochaetes* and *Verrucromicrobia* are also present in the caves. Taking into account these data, the next step is to perform some simulation assays to better understand the microbial involvement for the growth of moonmilk.

Mots-Clés : Moonmilk, Needle Fibre Calcite, prehistoric caves, Vézère Vallée, HTS, SEM imagery, conservation

CONSERVATION DES MÉTAUX PEINTS : DE L'ÉTUDE DES OBJETS ANCIENS À L'ÉVALUATION DE TRAITEMENTS DE PROTECTION [S₂D_P02]

Julie Gordon^{1,2}, Ludovic Bellot-Gurlet², Solenn Reguer³, Céline Paris²,
Anne Genachte-Le Bail⁴, Marie-Anne Loeper Attia⁴, Rémi Catillon,
Anne-Laure Carre, Lionel Dufaux, Sigrid Mirabaud⁵, Mandana Saheb⁶,
Aurélie Verney-Carron⁶, Julie Schröter⁷

¹ DiffAbs beamline – Synchrotron SOLEIL – France

² Laboratoire "MONARIS - De la Molécule aux Nano-objets : Réactivité, Interactions et Spectroscopies", CNRS-UMR8233, Sorbonne Université UPMC Paris VI – France

³ Synchrotron SOLEIL – SOLEIL – France

⁴ Laboratoire de l'Institut national du patrimoine – Ministère de la Culture et de la Communication – Département des restaurateurs, France

⁵ Institut National d'Histoire de l'Art – INHA – France

⁶ Laboratoire inter-universitaire des systèmes atmosphériques (LISA) – CNRS-UMR7583, INSU, Université Paris VII - Paris Diderot, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (UPEC) – France

⁷ Haute Ecole Arc – Suisse

Cette communication va présenter les résultats issus d'un projet rassemblant une équipe pluridisciplinaire autour de la question de la conservation des objets métalliques peints présents dans des collections muséales (New Strategies for the Conservation of Paintings on Metal - CoPaiM).

Le premier axe de recherche du projet CoPaiM se concentre sur l'étude analytique d'un corpus d'objets patrimoniaux issu des collections du Musée des Arts et Métiers : ce sont des objets du patrimoine industriel ou technique des XIX^e et XX^e siècles, composés principalement d'une structure en alliage ferreux et d'un revêtement de peinture. Dans un objectif de conservation-restauration, il s'agit de décrire et caractériser les matériaux

constitutifs, ainsi que les altérations représentatives de ce type de système composite. Cette étape est nécessaire pour définir les spécificités des objets et documenter les processus d'altération du système "métal peint".

Sur ce type d'objets, la surface peinte sert à la fois de protection pour le support métallique et de décor, et peut présenter par exemple des motifs artistiques ou publicitaires. Il est par conséquent nécessaire de développer des méthodes de conservation adaptées permettant de conserver l'aspect original de l'objet tout en stabilisant les différents matériaux présents.

Le deuxième axe d'étude du projet CoPaiM suit l'évolution d'échantillons modèles du système métal peint lors d'altérations artificielles dans le but d'évaluer l'efficacité de deux traitements de conservation-restauration. Pour ce faire, des coupons en fer peints ont été traités soit avec un mélange de résine Regalrez® 1126 et de cire microcristalline Cosmoloïd® H80 (30:10 % m), soit avec un inhibiteur de corrosion NaC14.

L'objectif final du projet est de déterminer les processus de dégradation de ces systèmes métal-peinture et de proposer des stratégies pour améliorer leur conservation au sein des musées. La présentation fera le point sur l'avancée du projet avec une synthèse des principaux résultats obtenus sur l'étude du corpus historique et sur l'évolution des échantillons modèles.

Mots-Clés : métaux peints, conservation, restauration, altération, dégradation, Raman, FTIR, GCMS, XRF, XAS, synchrotron

THÈME 3

LES OUTILS MÉTHODOLOGIQUES COMMUNS

Ce thème a pour objectif de présenter les dynamiques émergentes et actuelles de recherche sur les sites archéologiques (pré)historiques notamment celles qui mobilisent une approche intégrant d'emblée dans la construction des connaissances les processus physiques, environnementaux et anthropiques.

Développer le concept d'approche intégrée via l'émergence de nouvelles approches méthodologiques et le croisement de disciplines constitue un enjeu scientifique fort. Il engage de nouvelles façons de percevoir et de travailler sur les sites archéologiques en interrogeant les relations entretenues par les communautés passées avec leur environnement. Cette démarche n'est pas neutre car elle associe l'environnement des sites à des dimensions sociales et culturelles.

Penser les relations entre les sites archéologiques et leurs environnements, naturel, culturel, territorial et technologique est au cœur de ce thème. Trois entrées sont proposées pour discuter des apports de l'approche intégrée.

SESSION 3A

Accéder à la matière : de l'in situ au laboratoire

P. 116

SESSION 3B

Datation et chronologie : de l'objet au site, restituer la dynamique du temps (dater les événements marqueurs des sites archéologiques)

P. 146

SESSION 3C

Imager les milieux : géophysique, imagerie haute résolution, analyse 3D

P. 165

THÈME 3

SESSION 3A

ACCÉDER À LA MATIÈRE : DE L'IN SITU AU LABORATOIRE



COORDINATEURS : PAULINE MARTINETTO, PIERRE BORDET,
MARINE COTTE, CATHERINE DEJOIE, LAURENCE DE VIGUERIE

Dans certains cas, entre autres lorsque les sources écrites font défaut, pour restituer les vie(s) d'un objet et/ou comprendre les interactions sociétés/environnement, les seules informations disponibles sont «archivées» dans la matière elle-même et il faut donc procéder à une analyse intrinsèque de cet objet pour les révéler. L'archéologie et l'histoire de l'art et des techniques se sont longtemps heurtées à une difficulté : comment étudier les matériaux utilisés par les artistes du passé sans déplacer les œuvres ou sans prélever d'échantillons ?

Cependant, depuis une vingtaine d'années, des instruments mobiles ont été développés, permettant d'analyser des objets sur site (musée, site archéologique ...). Le panel des techniques pouvant être mis en œuvre in situ et de manière non invasive ne cesse d'augmenter et concerne aujourd'hui aussi bien des analyses spectroscopiques, vibrationnelles ou structurales. Les mesures sur site peuvent aussi aider à la sélection de zones où réaliser les micro-prélèvements les plus significatifs pour l'objet. L'analyse de ces micro-prélèvements (voire des objets dans leur intégralité) par des techniques de laboratoire et/ou sur grands instruments s'avère en effet souvent indispensable pour compléter les études d'objets et décrire la complexité des matériaux anciens.

Cette session sera un lieu d'échange privilégié pour partager toute expérience, méthodologique ou appliquée, concernant :

- le développement de nouvelles instrumentations mobiles ;
- les approches combinant les mesures non invasives/non destructives sur objets et/ou sur micro-prélèvements, en laboratoire et/ou sur grands instruments ;
- le croisement de données analytiques ;
- la localisation de points d'analyse ou de zones de prélèvement sur un objet.

Mots-Clés : altération, dégradation, transformation, mécanisme, restauration, conservation

LUMIÈRE DANS LA GROTTÉ : STIMULATION UV ET DÉTECTION DE FILMS D'OPALE EN CONTEXTE D'ART PARIÉTAL PALÉOLITHIQUE

Claire Chanteraud¹, Marine Quiers^{1,2,3}, Andréa Maris-Froelich^{1,3}, Emilie Chalmin¹,
Hélène Salomon¹, Yves Perrette¹, Julien Monney¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – France*

² *Envisol – Entreprise privée – France*

³ *SpecSolE – Laboratoire commun – France*

Les minéralisations en grotte que ce soit au sol, sur les plafonds et sur les parois sont courantes et ont déjà fait l'objet de nombreuses études. Elles se sont notamment révélées être utiles à la connaissance des conditions climatiques et des processus géomorphologiques qui ont affecté les cavités dans le passé, autorisant parfois l'identification en leur sein de traces de fréquentations humaines préhistoriques.

Si, du fait de leur fréquence, les minéralisations de calcite sont bien connues, celles à base de silice le sont moins. Leur présence à la grotte aux Points (Aiguèze, Gard, France) offre ainsi l'opportunité de les étudier en lien avec une ornementation pariétale paléolithique. Dans un contexte marqué par les impératifs de conservation inhérents aux grottes ornées, cette communication questionne : 1/la caractérisation de minéralisation siliceuses naturelles sur les parois et au contact des entités graphiques et 2/l'identification des phases d'altération. Enfin, une réflexion est menée sur 3/ le recours aux techniques d'analyse *in situ* de l'art pariétal afin d'aborder les modes de vie des sociétés du passé.

La réflexion est ici centrée sur la détection et l'identification de l'opale en contexte d'art pariétal. En s'appuyant sur une approche en laboratoire, il a été possible de proposer une méthode rapide et non destructive, basée sur la fluorescence UV en phase solide, permettant d'identifier et de caractériser l'opale sur des écailles issues des parois ornées. Elle repose sur l'identification spectrale de l'uranyle, piégé dans la matrice siliceuse. Cette méthodologie a été adaptée de sorte à réaliser des mesures *in situ*, directement dans la grotte, en couplant une détection optique spatialisée sous illumination UV (270 nm), validée par des mesures ponctuelles de fluorescence via un spectrofluorimètre portable développé par le laboratoire commun SpecSolE. Cette méthodologie a été comparée à des analyses *in situ* habituellement recommandées (pRaman et pXRF) afin d'évaluer *in fine* l'apport des méthodes d'analyses transportable pour caractériser les matières picturales composant les entités graphiques de la grotte aux Points.

Mots-Clés : silice, karst, art pariétal, spectrofluorimétrie UV

DÉVELOPPEMENT D'ANALYSES ISOTOPIQUES (Pb, Cu ET Fe) IN SITU PAR FS-LA-MC-ICP-MS SUR MATRICE ARCHÉOLOGIQUE EN OR DANS UNE PERSPECTIVE D'ÉTUDE DE PROVENANCE

Louise De Palaminy^{1,2}, Sandrine Baron¹, Franck Poitrasson², Maryse Blet-Lemarquand³,
François-Xavier Fauvelle^{1,4}

¹ *Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES) – CNRS-UMR5608, Université Toulouse Jean Jaurès – France*

² *Géosciences Environnement Toulouse (GET) – Observatoire Midi-Pyrénées, Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, CNRS-UMR5563 – France*

³ *IRAMAT Centre Ernest-Babelon – CNRS-UMR5060, Université d'Orléans – France*

⁴ *Collège de France – EHESS, CNRS – France*

L'origine de l'or des dinars islamiques est un sujet de questionnement et de fantasme depuis l'époque même de la frappe de ces monnaies. Les auteurs anciens mais également les historiens et numismates contemporains s'accordent à penser que la source majeure se situe par-delà le Sahara, en Afrique de l'Ouest. Néanmoins, les preuves archéologiques font cruellement défaut pour valider cette hypothèse. Les études menées jusqu'à présent sur ces monnaies, via une approche d'analyse élémentaire, restent limitées pour la recherche géographique d'une source (Gondonneau et Guerra, 2002).

Ce travail a pour objectif de retrouver l'origine de l'or via le traçage isotopique. Dans le domaine des études de provenance des archéomatériaux et notamment des métaux non ferreux, l'utilisation de la signature isotopique du Pb est largement répandue car elle a pu montrer sa grande efficacité. Ses quatre isotopes (²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb et ²⁰⁸Pb), dont trois sont radiogéniques, permettent de remonter à l'origine géographique des matériaux par comparaison entre des minerais potentiels et des objets. Ce système isotopique permet également de calculer des âges modèles (Albarède et al., 2012) qui permettent de mettre en lumière des contextes géodynamiques hébergeant des minéralisations lorsqu'il n'est pas possible d'accéder aux minerais archéologiques (Albarède et al., 2020 ; Baron et al., 2020).

En vue d'optimiser le traçage, nous proposons d'utiliser d'autres systèmes isotopiques. Dans le cadre de cette étude, le choix des isotopes du Fe s'est fait en relation avec leur développement récent et prometteur, réalisé notamment sur des minerais et artefacts en fer (Milot et al., 2016) mais aussi sur des minerais d'argent (Milot et al., 2018). Les monnaies d'or contiennent suffisamment de fer pour prétendre à des mesures fiables. Par ailleurs, le fer ne semble pas être ajouté durant la chaîne opératoire de l'or. Les isotopes du Cu permettront, comme le fer, d'apporter des informations sur le type de minéralisation des gisements aurifères, mais aussi de s'assurer de l'exemption d'ajout d'autres métaux pour alliage ou du mélange de différents ors.

Ils présentent également l'avantage d'être plus simple à mesurer que les isotopes du fer. La combinaison de ces trois systèmes isotopiques, si aucun obstacle analytique majeur n'apparaissait pour leur mesure dans une matrice d'or, permettront d'assurer une triple validation de la signature géochimique d'un métal donné.

Aujourd'hui, ces analyses isotopiques s'effectuent par la mise en solution d'un prélèvement effectué sur les matériaux archéologiques pour garantir une grande justesse et une grande précision des mesures. Afin de préserver l'intégrité des monnaies archéologiques, l'ablation en laser femtoseconde (fs-LA) avec couplage d'un spectromètre de masse à multicollection à plasma couplé à induction (MC-ICP-MS) est préférée. Le laser femtoseconde offre la capacité de réduire drastiquement les effets de matrice responsables, entre autres, des fractionnements chimiques et isotopiques (Poitrasson et d'Abzac, 2017). Il constitue une véritable plus-value dans la recherche sur les matériaux non ferreux qui ont souvent des matrices minéralogiques hétérogènes posant problème lors de la calibration des mesures.

Dans le cadre de cette contribution, nous présenterons les résultats préliminaires obtenus sur des étalons en or et des monnaies tests.

Mots-Clés : or, isotopes, laser femtoseconde, provenance

NATURE ET MÉCANISME DE FORMATION DU CONTRASTE CHROMATIQUE DES GRAVURES RUPESTRES DU MONT BÉGO

Jérémy Berthonneau¹, Jean-Marc Vallet¹, Philippe Bromblet¹, François Martin²,
Franck Suméra³, Olivier Grauby⁴

¹ *Centre Interdisciplinaire de Conservation et Restauration du Patrimoine – Ministère de la Culture et de la Communication – Marseille, France*

² *Géosciences Environnement Toulouse (GET) – Observatoire Midi-Pyrénées, Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, CNRS-UMR5563 – France*

³ *Centre Camille Jullian - Histoire et archéologie de la Méditerranée et de l'Afrique du Nord de la protohistoire à la fin de l'Antiquité – Aix Marseille Université : UMR7299, Ministère de la Culture et de la Communication : CNRS-UMR7299 – France*

⁴ *Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille (CINaM) – CNRS-UMR7325 – Marseille, France*

Les vallées du Mont Bégo (Parc National du Mercantour) sont parsemées de plusieurs milliers de pétroglyphes majoritairement datés entre 1800 et 1500 av. J.-C. Le répertoire iconographique est principalement composé de cornés, de dagues, d'outils agricoles, de formes géométriques et de quelques figures anthropomorphiques. La méthode employée pour la réalisation de ces gravures est relativement uniforme. Elle consiste en une succession de perforations par percussion d'une très fine couche rouge recouvrant

les affleurements rocheux pour mettre au jour la méta-pélite permienne verdâtre sous-jacente, créant ainsi un contraste chromatique accentuant la lisibilité des gravures. Or, cette couche présente de nombreuses figures d'altération allant jusqu'à la disparition de certaines gravures par desquamation en plaques, décoloration ou recouvrement biologique.

Dans le but d'assurer la pérennité du site, un programme de recherche a été initié par le Service Régional d'Archéologie (SRA) de la DRAC PACA, le Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine (CICRP), le Centre Interdisciplinaire de Nanosciences de Marseille (CINaM) et le Musée de Tende afin de définir les conditions nécessaires à la conservation des gravures. Une étude minéralogique et pétrographique multi-échelles du contraste chromatique a donc été conduite sur des échantillons prélevés in situ à proximité des gravures. Elle a permis de déterminer que la couche rouge résulte de la mobilisation, sous forme d'(hydr)oxydes, du fer structural des phyllosilicates (phengites et ripidolites) constitutif du matériau rocheux. L'histoire géologique récente atteste que les affleurements ont été recouverts d'un glacier il y a environ 5 Ma, induisant des circulations d'eau et des sollicitations mécaniques considérables. Le retrait glaciaire s'est produit entre 13 500 et 6 100 av. J.-C., et a été directement suivi par un optimum climatique chaud et humide. Cette succession d'événements ayant pu conduire à la formation de la couche rouge, différentes voies (variations thermiques, circulation de fluides) de formation d'(hydr)oxydes de fer ont été étudiées. Un suivi des évolutions chromatiques et minéralogiques des surfaces a été mis en place en parallèle afin d'établir le ou les mécanisme(s) à l'œuvre. Au terme de cette étude, une piste plausible de formation de la couche rouge peut être formulée grâce au couplage de l'augmentation de la température, de la surface spécifique accessible des minéraux et de la circulation d'eau correspondant à l'optimum climatique ayant suivi le retrait glaciaire.

Cette hypothèse de formation nécessite, cependant, d'être confirmée par des techniques de datations avancées (paléomagnétisme, thermoluminescence TL IRSL, isotopes U/Be, etc.). De plus, la répartition et l'épaisseur de la couche rouge sur les affleurements devront être appréhendées par une étude géomorphologique du site à grande échelle afin d'une part de confirmer l'hypothèse émise et d'autre part d'anticiper l'évolution de la couche rouge dans le temps vis-à-vis des différents phénomènes d'altérations observés. Néanmoins, les conclusions de ce travail permettent de mieux appréhender le mécanisme physico-chimique ayant abouti à la formation du contraste chromatique ainsi que de formuler un certain nombre de préconisations pour la conservation des gravures.

Mots-Clés : Pétroglyphes, Conservation, Phyllosilicates, (Hydr)oxydes de fer

L'APPORT DE LA RMN DES SOLIDES (CARBONE, CALCIUM ET MAGNÉSIUM) POUR L'IDENTIFICATION DE LA PROVENANCE DE MARBRES DOLOMITIQUES

Isabelle Pianet¹, Anna Gutiérrez Garcia-Maria², Nicolas Frérebeau¹,
Marie-Claire Savin¹, Pilar Lapuente³

¹ IRAMAT-CRP2A – Maison de l'Archéologie – Institut de Recherches sur les Archéomatériaux – CNRS-UMR5060, université Bordeaux Montaigne – France

² ICAC – Espagne

³ Universidad de Zaragoza – Espagne

Les marbres dolomitiques ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ont largement été utilisés depuis l'Antiquité pour leur blancheur et leur dureté. Bien que rares, les ressources de ce matériau ne sont pas limitées à la seule Ile de Thasos. En effet, des carrières de ce type de marbre semblent avoir été exploitées dès l'Antiquité tardive notamment dans la province romaine de Bétique (*Hispania Baetica*). La partie centrale des Pyrénées françaises, autour de la commune de Saint Béat, antique territoire des *Convenae*, recèle de nombreuses carrières de marbres dont certaines carrières de marbres calcitiques sont connues pour avoir été exploitées dès l'époque Augustéenne. La mise à jour de carrières de marbres dolomitiques dans ce même district laisse supposer que ces carrières pouvaient elles aussi être utilisées.

Pour déterminer la provenance de ces matériaux et appréhender l'étendue de leur dispersion, de multiples études archéométriques ont déjà été réalisées, notamment des analyses isotopiques et pétrographiques, de la cathodoluminescence et des analyses élémentaires. Cependant, les résultats ne sont pas toujours incontestables. Concernant la carrière française, son entrée récente dans la scène comme source possible de marbre dolomitique ancien, dont les caractéristiques analytiques ressemblent à celles des marbres grecs, complique le panorama déjà complexe. Ainsi, à ce panel de techniques complémentaires, nous proposons d'ajouter la Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) qui permet d'avoir une vision de ce matériau au niveau moléculaire en regardant différents noyaux observables en RMN : le Carbone (isotope ^{13}C), Magnésium (isotope ^{25}Mg) et Calcium (Isotope ^{43}Ca). Enfin, le traitement de l'ensemble des données obtenues par des outils statistiques permet de préciser la provenance. L'idée est de suivre les différences à l'échelle moléculaire entre les différentes variétés de marbre dolomitiques que l'on peut utiliser comme paramètres complémentaires pour leur discrimination. En ce sens, la présente contribution rend compte des progrès réalisés dans les échantillons de carrière ainsi que de son application à certains matériaux architecturaux décoratifs du théâtre romain de Saragosse, ainsi qu'à certaines sculptures du musée de Malaga.

Mots-Clés : marbre, dolomie, RMN, provenance

PROJET SAVE OUR SHIPWRECKS : COMMENT PRÉSERVER IN-SITU LES ÉPAVES MÉTALLIQUES HISTORIQUES PAR PROTECTION CATHODIQUE ? CARACTÉRISATION GLOBALE IN SITU ET ANALYSE MULTI-ÉCHELLE DES COUCHES DE CORROSION ET DE LA BIODIVERSITÉ

Justine Vernet¹, Florence Mercier-Bion¹, Marine Bayle², Clémentine Caubisens²,
Jean-Bernard Memet², Nathalie Huet³, Lila Reboul³,
Laurent Urios⁴, Jean-Paul Gallien¹, Eddy Foy¹, Philippe Dillmann¹

¹ *Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération (LAPA) – Nanosciences et Innovation pour les Matériaux, la Biomédecine et l'Énergie (ex SIS2M) – France*

² *A-Corros Expertise – Plateforme technologique ARCHEOMED – France*

³ *Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines [Marseille] – Ministère de la culture – France*

⁴ *Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux – Université de Pau et des Pays de l'Adour, Institut de Chimie du CNRS-UMR5254 – France*

Des premiers bateaux à vapeur du milieu du XIX^{ème} siècle jusqu'aux navires et avions issus des deux conflits mondiaux, des milliers d'épaves métalliques modernes gisent aujourd'hui le long des côtes françaises. Leur dégradation est un enjeu majeur dans la sauvegarde du Patrimoine Culturel immergé ainsi que pour la protection de l'environnement marin, puisque l'effondrement de navires armés peut provoquer le relargage de composés polluants. Le projet Save Our Shipwrecks (SOS) propose d'appliquer, sur deux épaves historiques exposées en Méditerranée et dans la Manche (*HMS Daffodil*, Dieppe et le *Liban*, Marseille), des traitements par protection cathodique afin d'en limiter le processus de corrosion marine. Il s'agit d'un véritable défi scientifique et technologique, visant à adapter les protocoles industriels de protection cathodique aux matériaux historiques bio-colonisés et recouverts d'épais couches de corrosion.

Une méthodologie innovante a été mise en place, permettant à la fois d'effectuer un diagnostic *in situ* des épaves (mesures d'épaisseur résiduelle de métal, mesure de potentiel électrochimique), ainsi que l'étude en conditions anoxiques en laboratoire des échantillons prélevés sur les épaves (tôles des épaves, sédiments, eau).

Les résultats des mesures sur site couplées à des expériences en laboratoire concernant les besoins en courant électrique pour la protection cathodique, seront présentés, ainsi que les caractérisations par une approche multi-échelles de l'ensemble du système métal/environnement (couches de corrosion, de concrétions et d'analyse de la biodiversité sur des prélèvements issus des épaves).

Enfin, des actions de science participative (*Citizen Science*) impliquant des acteurs sensibilisés au devenir de ce patrimoine en danger (bénévoles, pêcheurs, plongeurs loisirs) est mise en œuvre en étroite collaboration avec les archéologues du DRASSM en charge

de l'étude historique des épaves et du suivi de leur dégradation. Tout au long du projet, une diffusion de l'avancée des réflexions et des résultats scientifiques fait l'objet de manifestations culturelles participatives.

Mots-Clés : épaves historiques sous-marines, protection cathodique, caractérisation, conservation

ÉLUCIDER LA COMPOSITION CHIMIQUE D'ÉCHANTILLONS DU PATRIMOINE, LA PERTINENCE CROISSANTE DE L'IMAGERIE PAR SPECTROMÉTRIE DE MASSE DES IONS SECONDAIRES PAR TEMPS DE VOL

Caroline Bouvier¹, Alain Brunelle¹, Philippe Walter¹

¹ *Laboratoire d'Archéologie Moléculaire et Structurale – Sorbonne Université, CNRS, UMR 8220, Paris – France*

L'étude des objets du patrimoine demande une réflexion méthodologique prenant en compte les contraintes inhérentes aux matériaux hétérogènes ayant interagi dans des environnements non contrôlés pendant des temps longs. Quand un micro-prélèvement est fait, il est préconisé de le conserver intact, notamment pour permettre des analyses ultérieures et ainsi en tirer le maximum d'informations.

L'imagerie par spectrométrie de masse des ions secondaires par temps de vol (TOF-SIMS) est une méthode analytique adaptée à cette problématique. L'instrument TOF-SIMS IV (IONTOF GmbH, Münster, Allemagne) convient particulièrement à l'analyse directe de microéchantillons de composition hétérogène et complexe ; voire d'objets de dimension centimétriques, à condition qu'une surface plane d'une fraction de millimètre soit accessible.

L'analyse aboutit après un seul cycle d'acquisition aux cartographies ioniques associées à tous les composés organiques et inorganiques détectés. Sur l'instrument, l'acquisition d'images à haute résolution spatiale, simultanément avec une haute résolution en masse ($M/\Delta M$ entre 5 000 et 10 000), peut être faite grâce à une extraction retardée des ions secondaires [1,2]. Cela permet d'améliorer l'identification et la localisation des composés grâce à une taille de pixel descendant jusqu'à 390 nm. Dans ces conditions, l'imagerie TOF-SIMS donne rapidement accès à des informations de composition résolues spatialement. Cela permet notamment de cartographier la distribution de certains produits de dégradation afin de mieux comprendre les mécanismes physico-chimiques associés. Après analyse, la surface ne porte pas de trace d'endommagement et peut être analysée par d'autres méthodes complémentaires.

L'imagerie TOF-SIMS est une méthode analytique de surface très sensible à l'état de

celle-ci. Il est primordial de sélectionner et préparer soigneusement la zone analysée pour qu'elle soit la plus plane et propre possible, par exemple par microtomie quand cela est envisageable [3].

Sinon, une source ionique d'agrégats massifs d'Argon montée sur l'instrument permet une pulvérisation douce, offrant la possibilité d'analyser des surfaces propres sans les modifier. Le réglage local des paramètres d'analyse – prenant en compte l'inhomogénéité des propriétés physico-chimiques de la surface – s'est avéré essentiel pour obtenir des données de qualité optimale [4]. La richesse d'information apportée par l'imagerie TOF-SIMS peut alors être pleinement exploitée en traitant les données obtenues, par exemple par reconstruction du spectre de masse local d'une structure isolée sur les cartographies. En plus de la déduction s'appuyant sur les ions détectés et sur la littérature, la construction et l'élargissement d'une base de données spectrale TOF-SIMS pour les matériaux susceptibles d'être trouvés dans les objets du patrimoine rendent leur identification plus rapide et plus certaine. Originellement élaborée pour les matériaux des échantillons de peintures, cette base de données se complète par l'ajout de matériaux d'intérêt pour divers objets archéologiques.

L'application de cette méthode est illustrée par les études d'objets du patrimoine pour lesquels l'imagerie TOF-SIMS a apporté des informations répondant aux problématiques associées à ces derniers. A cette étape, un dialogue avec les historiens de l'art et des techniques et les conservateurs est essentiel pour considérer la pertinence historique des conclusions formulées.

[1] Vanbellingen, et al. (2015), [2] Noun, et al. (2016), [3] Mazel, et al. (2006), [4] Bouvier, et al. (2021)

Mots-Clés : TOF, SIMS, micro prélèvement, base de données

NON-DESTRUCTIVE ORGANIC RESIDUE ANALYSIS OF ARCHAEOLOGICAL CERAMIC SHERDS

Jennifer Keute¹, Thibaut Deviese^{1,2}

¹ *Research Laboratory for Archaeology and the History of Art, University of Oxford – Royaume-Uni*

² *Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (CEREGE) – IRD : UMR_D161, Aix Marseille Université : UM 34, Collège de France : UMR7330, Institut National des Sciences de l'Univers, CNRS, Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement – France*

Organic residue analysis is very important to archaeology and has been used for over 50 years. Archaeologists are interested in such residues preserved in pottery sherds to understand diets, subsistence practices, and human-environmental interactions. What people eat reflects the relationship between biological necessity and their living environment.

Such analyses first require extracting organic residue from the ceramic to perform molecular, stable isotope or radiocarbon analyses. Unfortunately, this process is highly destructive, as it requires pottery sherds to be ground to a powder prior to the extraction by liquid solvents.

A non-destructive alternative to such invasive organic residue extraction method has been developed using a supercritical fluid instead of liquid solvents [1]. The pilot study showed that supercritical fluid extraction (SFE) yields greater quantities of lipid residue than liquid extraction procedures using chloroform and methanol. Although highly promising, this is, to date, the only published application of SFE on archaeological vessels. This communication will present the latest developments of the SFE procedure on ceramic sherds. These will be illustrated with various case studies for which we combined SFE and molecular characterisation by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and compound-specific isotopic characterisation by gas chromatography-combustion-isotope ratio mass spectrometry (GC-C-IRMS) to identify preserved organic residues and elucidate pottery use(s).

[1] Devière T, Van Ham-Meert A, Hare V, Lundy J, Hommel P, Ivanovich Bazaliiskii V and Orton J (2018).” Supercritical fluids for higher extraction yields of lipids from archaeological ceramics.” *Analytical Chemistry* 90(4): 2420–2424.

Mots-Clés : Residue, Supercritical Fluid, Chromatography

**QUEL PEUT ÊTRE L'APPORT DE LA MÉTABOLOMIQUE EN
ARCHÉOMÉTRIE MOLÉCULAIRE ? APPLICATION À LA
CARACTÉRISATION DE COPALS MEXICAINS (BURSERA SPP.)
ET D'ÉCHANTILLONS ARCHÉOLOGIQUES AZTÈQUES**

Carole Mathe¹, Paola Lucero², Céline Joliot¹, Matthieu Ménager¹,
Cathy Vieillescazes¹, Gérald Culioli¹

¹ *Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), UMR CNRS-IRD-Avignon Université-Aix-Marseille Université, Equipe "Ingénierie de la Restauration des Patrimoines Naturels et Culturels" – Université d'Avignon – France*

² *Scienze e tecnologia per la conservazione dei beni culturali, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica, Venice – Italie*

L'analyse de résidus organiques provenant d'artefacts issus de fouilles permet de répondre à de nombreuses questions archéologiques [1]. Ce type d'étude peut ainsi conduire à déterminer des pratiques alimentaires, à mieux appréhender l'utilisation de substances organiques naturelles dans des formulations ou rituels, à caractériser les techniques associées, ou encore à obtenir des informations sur les voies et les échanges commerciaux. La nature amorphe de ces résidus organiques ne permet pas leur caractérisation via des approches morphologiques telles que celles utilisées pour d'autres types d'échantillons (fibres de bois, textiles, pollens, graines...).

Elle nécessite en effet l'utilisation de techniques analytiques performantes permettant de déceler la présence de chimiomarqueurs potentiellement caractéristiques des matériaux organiques et des techniques de préparation utilisés.

Depuis quelques années, la métabolomique -la dernière-née des sciences dites "omiques" englobant la génomique, la transcriptomique et la protéomique- s'est imposée comme une approche de choix pour caractériser le métabolome (c'est-à-dire l'ensemble des molécules organiques de faible masse moléculaire) d'un échantillon. Les progrès très rapides dans ce domaine ont été rendus possibles grâce aux avancées technologiques conjointes de la spectrométrie de masse et de la bio-informatique. Actuellement la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (UHPLC-MS) est la technique la plus utilisée en métabolomique, du fait notamment de sa couverture métabolique très large, de sa sensibilité et de sa haute résolution.

Suite à des travaux antérieurs réalisés au laboratoire [2], une approche métabolomique non-ciblée par UHPLC-MS est développée dans le cadre de cette étude afin de rechercher les chimiomarqueurs spécifiques de résines "copal" contemporaines provenant de différentes espèces d'arbres présents en Mésoamérique, ainsi qu'au sein d'échantillons archéologiques aztèques.

Le terme "copal" peut englober de manière équivoque l'ensemble des résines utilisées en tant qu'encens dans les civilisations mésoaméricaines [3]. Le copal y était notamment utilisé dans certains rituels et cérémonies, en étant parfois brûlé en tant qu'encens ou réservé pour des offrandes. D'autres utilisations, par exemple médicinales, ont été également décrites [4]. Au Mexique, une large part des résines vendues sous l'appellation "copal" proviennent d'arbres du genre *Bursera* (famille des Burséracées). L'approche métabolomique développée ici a permis de détecter de nombreux chimiomarqueurs à partir d'échantillons de résines botaniquement certifiés de différentes espèces de *Bursera*. Certains de ces chimiomarqueurs ont été retrouvés dans des échantillons d'offrandes provenant du Templo Mayor (Mexico, Mexique) confirmant ainsi la présence de copal botaniquement authentifié. De nombreuses molécules issues de ces résines ont été identifiées par le biais d'une méthodologie très originale couplant l'interrogation de banques de données spectrales, l'interprétation de données de spectrométrie de masse et la construction de réseaux moléculaires. Cette dernière approche n'a jamais encore été utilisée en archéométrie et pourrait à l'avenir constituer un outil de choix, notamment

lors d'études portant sur la dégradation, anthropique ou non, de résidus organiques ayant un intérêt archéologique.

[1] Evershed (2008) *Archaeometry* 50, 895-924.

[2] Lucero-Gomez et al. (2014) *Journal of Archaeological Science* 41, 679-690.

[3] Stacey et al. (2006) *Archaeometry* 48, 323-340.

[4] Case et al. (2003) *Economic Botany* 57, 189-202.

Mots-Clés : Copals mexicains, *Bursera* spp., Aztèque, résidus organiques, métabolisme non, ciblée, réseaux moléculaires.

L'APPUI MOLÉCULAIRE ET PALYNOLOGIQUE : UNE NOUVELLE MÉTHODE POUR LA CARACTÉRISATION D'AMPHORES ROMAINES

Louise Chassouant^{1,2}, Alessandra Celant², Magri Donatella², Cathy Vieillescazes¹, Carole Mathe¹

¹ UMR IMBE CNRS 7263/IRD 237, *équipe Ingénierie de la Restauration des Patrimoines Naturel et Culturel (IRPNC), Université d'Avignon – Université d'Avignon – France*

² *Sapienza University, Dipartimento di Biologia Ambientale – Italie*

De par leur importante contribution à l'époque Romaine, les amphores apparaissent aujourd'hui comme symbole du commerce antique. Pour les archéomètres, cette prédominance s'impose telle une promesse dans notre désir de mieux s'approprier les pratiques des civilisations passées ainsi que les produits consommés à l'échelle du bassin Méditerranéen à travers la connaissance de l'objet et de son histoire.

Du fait de la perméabilité des pâtes inorganiques utilisées pour leur conception, les amphores étaient généralement "poissées" par des matériaux résineux. La variété de ce revêtement, ainsi que son origine et sa formulation apportent de précieuses informations. Bien que les amphores ne soient pas des produits de luxe, leur fabrication était économiquement intéressante et la poix était produite à base de résineux locaux. Pour livrer pleinement ses secrets, une excellente connaissance de la matière organique est toutefois primordiale. Dans cette optique, une étude pluridisciplinaire innovante a été développée afin d'obtenir de plus amples informations sur la nature de la poix, mais aussi sur ce qu'elle renferme. Ce projet porte d'une part sur la caractérisation moléculaire après application de protocoles d'extraction spécifiques, monitorée par chromatographie gazeuse équipée d'un spectromètre de masse ; et d'autre part, sur la reconstruction environnementale de par l'empreinte paléobotanique de la poix et des sédiments avoisinants prélevés, et l'observation des micro et macro-restes contenus dans la poix suite à la l'emploi d'un protocole non dégradant qui dissout la matière organique, permettant

ainsi la libération de son contenu. L'identification est effectuée par microscopie optique ou à balayage électronique.

Cette étude se focalise sur des amphores du port antique de San Felice Circeo (Italie). Leur contexte sous-marin et leur découverte récente en octobre 2018 assurent une conservation optimale du pollen et limitent la contamination par des grains non fossiles. Dans un premier temps, les analyses chromatographiques et palynologiques attestent de l'utilisation de pins pour le revêtement interne des amphores. En effet, les squelettes chimiques abiétanes et pimaranes, considérés comme marqueurs de Pinaceae accréditent les pollens *Pinus* identifiés dans la poix. De plus, les charbons contenus dans certaines matrices affinent l'identification au niveau de l'espèce (*Pinus mugo*, *P. nigra* ou *P. silvestris*). La présence de diterpènes sous forme d'esters méthyliques ainsi que de molécules produites par un traitement calorifique suggèrent l'emploi d'un goudron végétal produit à haute température.

Dans un second temps, l'identification moléculaire de marqueurs organiques considérés comme biomarqueurs des boissons à base de raisin (acide tartrique), doublée de la présence d'acides produits lors de la fermentation (acide malique, fumarique, syringique, etc.) suggèrent un contenu vinaire. Cette hypothèse est fortement accréditée par la présence de pollen *Vitis vinifera* et de tissus végétaux correspondant aux filets des étamines des fleurs de vignes.

La combinaison de puissantes méthodes analytiques issues d'approche organique et d'investigations paléobotaniques au niveau microscopique livre ainsi de grandes interprétations dans le domaine archéométrique.

Mots-Clés : amphore, résidus organiques, palynologie, Vitis

POSTERS - SESSION 3A

ANALYSES NON DESTRUCTRICES DANS LES RECHERCHES DE PROVENANCE DES CÉRAMIQUES : APPORT DE LA COLORIMÉTRIE ET P-XRF SUR LES SIGILLÉES AFRICAINES D'ÉPOQUE ROMAINE [S₃A_P01]

Rémi Rêve^{1,2}, Jean-Paul Ambrosi³, Claudio Capelli⁴, Michel Bonifay¹, Sami Ben Tahar⁵

¹ CCJ – Aix Marseille Université (Aix-en-Provence), CNRS-UMR7299, Centre Camille Jullian – France

² Université de Sfax - Laboratoire d'Études et de Recherches Interdisciplinaires et Comparées, Sfax, Tunisie – Tunisie

³ Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement

(CEREGE)– IRD, INRAE : UMR_D161, Aix Marseille Université : UM 34, Collège de France
: UMR7330, Institut National des Sciences de l'Univers, CNRS – France

⁴ Università degli Studi di Genova, DISTAV, Genova, Italie – Italie

⁵ Institut National du Patrimoine de Tunisie, Tunis – Tunisie

Depuis quelques années, la question de la conservation et de l'intégrité des collections archéologiques est au cœur des préoccupations des archéologues, notamment pour la question des céramiques antiques. Le développement de nouveaux appareils tels que la XRF portable (p-XRF) a notamment permis de faire plusieurs avancées dans la caractérisation de la composition chimique des pâtes et des revêtements et la détermination de la provenance.

Néanmoins, ces données doivent encore être croisées avec d'autres résultats provenant de méthodes plus classiques telles que les analyses pétrographiques en lames minces ou chimiques plus conventionnelles (XRF, ICP-OES/MS) qui nécessitent la destruction d'une partie de l'objet.

Nous proposons ici, en combinaison avec la p-XRF et l'étude typologique, l'utilisation d'une autre méthode non destructrice, simple d'utilisation et peu coûteuse : l'analyse colorimétrique au moyen d'un colorimètre numérique.

Le cas d'étude porte sur les céramiques sigillées africaines, dont on a analysé les engobes rouges (vernis). Les mesures ont été réalisées sur des collections de référence d'ateliers africains conservées au Centre Camille Jullian à Aix-en-Provence.

Le croisement des données chimiques obtenues en XRF portable et des données colorimétriques sur les surfaces a permis de distinguer entre eux les échantillons provenant des principaux ateliers africains et, plus globalement, de différencier l'ensemble des sigillées africaines des autres sigillées de la côte nord méditerranéenne.

Ces résultats sont prometteurs pour le développement des recherches sur la détermination de provenance des céramiques trouvées dans les sites de consommation. A terme, cette expérimentation pourra être développée à d'autres collections qui nécessitent des analyses non destructrices, notamment les collections muséales.

Mots-Clés : Caractérisation productions, Afrique romaine, céramique sigillée, XRF portable, colorimétrie

APPORTS DE LA RADIOLOGIE, DE LA MICROTOMODENSITOMÉTRIE ET DE L'HISTOLOGIE À LA CARACTÉRISATION DES MODIFICATIONS DU PÉRIOSTE CHEZ LES SUJETS IMMATURES [S₃A_P₀₂]

Samuel Bédécarrats¹, Cécile Chapelain De Seréville-Niel¹, Denis Bougault¹

¹ *Centre Michel de Boïard - UMR 6273 CNRS-UNICAEN – Normandie Univ, UNICAEN,
CNRS-UMR6273 – France*

La paléopathologie des os d'enfants se confronte à la difficulté d'établir des diagnostics fiables et précis. Le projet de recherche Ancestor (Anomalies de croissance des populations normandes immatures (IV-XVIII)) a pour objectif de proposer des critères d'aide au diagnostic paléopathologique pour les sujets immatures.

Dans le cadre de cette recherche, les modifications du périoste (couche superficielle de l'os) au niveau du tibia ont été caractérisées selon trois méthodes d'étude.

L'étude s'appuie sur un corpus de 39 individus décédés entre 0 et 3 ans et inhumés dans des cimetières normands utilisés entre le IV^e et le XVIII^e siècle. Après une description macroscopique, les tibias ont été étudiés à l'aide d'acquisitions radiographiques et microtomodensitométriques avant d'être préparés pour des examens histologiques.

L'utilisation de plusieurs méthodes d'acquisition de données montre la complémentarité de l'imagerie par rayons X et de l'histologie pour la caractérisation des phénomènes physiologiques et pathologiques de l'os immature.

Mots-Clés : Paléopathologie, radiographie, microtomodensitométrie, histologie, immatures

CARACTÉRISATION DES CARBONATES GÉOLOGIQUES ET NÉOFORMÉS DANS LES MORTIERS DE CHAUX ARCHÉOLOGIQUES PAR IMAGERIE LIBS [S₃A_P₀₃]

Clothilde Comby-Zerbino¹, Christine Oberlin², Jean-Claude Lefevre², Sarah Richiero¹,
Claudio Sandoval¹, Amina Bensalah-Ledoux¹, Daniel Prigent³, Catherine Coquière⁴,
Antoine Valois⁴, Frederico Giletti⁵, Valérie Merle², Philippe Dugourd¹,
Frederic Pelascini⁶, Ludovic Duponchel⁷, Anne Schmitt², Vincent Motto-Ros¹

¹ *Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, Institut Lumière Matière –
Univ Lyon, CNRS – France*

² *ArAr – CNRS : UMR5138, Université Lumière - Lyon 2, Université de Lyon, Université*

Lyon 1 – France

³ Service départemental du patrimoine de Maine-et-Loire, pôle archéologique, Angers – France

⁴ INRAP – UMR 5138 – France

⁵ Archeologo, Università degli Studi di Napoli Federico II, collaboratore Parco Archeologico di Pompei – Italie

⁶ CRITT Matériaux Alsace – Université de Strasbourg – Schiltigheim, France

⁷ LASIR – CNRS : UMR8516, Université de Lille – Sciences et Technologies – Villeneuve d’Ascq, France

En archéologie du bâti, les analyses de mortiers de chaux apportent des informations indispensables pour interpréter le mode de construction, les étapes du chantier et les évolutions d'un bâtiment. Lors de la mise en œuvre du mortier, la prise se fait par incorporation du gaz carbonique de l'atmosphère, ce qui permet d'envisager une datation par le carbone 14.

Cependant, isoler le carbone atmosphérique piégé au moment de la prise dans les carbonates néoformés (CaCO_3), reste le principal enjeu actuel. En effet, la présence de carbonates géologiques anciens produit un vieillissement des dates.

Nous avons différencié le carbonate néoformé, dû à la prise de la chaux, de celui provenant de calcite géologique grâce une nouvelle méthode d'imagerie élémentaire LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy). Cette technique d'imagerie originale est multi-élémentaire, tout-optique et rapide. Elle permet d'imager les éléments du tableau périodique au sein des mortiers avec des niveaux de sensibilité (~ ppm) et de résolution (~ 10 μm) intéressants, et une instrumentation entièrement compatible avec les systèmes de microscopie standard.

Nous présenterons les premiers résultats de caractérisation par imagerie.

Mots-Clés : LIBS, mortiers de chaux, imagerie élémentaire

COMBINAISON DES APPROCHES ANALYTIQUES IN SITU ET EN LABORATOIRE : VERS UNE COMPRÉHENSION DES PEINTURES SCHEMATIQUES NÉOLITHIQUES [S₃A_P04]

Marianne Le Turnier¹, Emilie Chalmin¹, Bernard Schmitt², Ludovic Bellot-Gurlet³,
Emmanuel Malet¹, Claudia Defrasne¹

¹ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie
Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – France

² Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble (IPAG) – OSUG, Université Joseph
Fourier - Grenoble I, INSU, CNRS-UMR5274 – France

³ MONARIS UMR8233 SU-CNRS – Sorbonne Université, CNRS-UMR8233 – France

Les peintures rupestres de plein air présentent de véritables défis scientifiques en termes d'accès à la matière picturale dans le but de renseigner les pratiques des sociétés qui les ont produites.

Souvent soumises aux contraintes climatiques, biologiques et humaines, certaines de ces peintures ont subsisté dans des abris sous roche. C'est notamment le cas de l'expression schématique néolithique. Le site à peintures du Trou de la Féclaz (Saint Jean d'Arvey, Savoie) appartient à ce corpus graphique documenté de la péninsule ibérique jusqu'au Piémont italien.

Dans le cas des peintures schématiques du site du Trou de la Féclaz, la morphologie et la localisation de l'abri sur une vire rocheuse ont certainement participé à la conservation de l'iconographie. L'expression graphique du Trou de la Féclaz se caractérise par la polychromie des figures majoritairement réalisées à la pulpe du doigt. Il est possible de distinguer des pigments de couleur rouge sombre, rouge clair, orange, noir et jaune. La paroi étant déjà altérée et fragilisée par les processus érosifs, il est nécessaire de prendre toutes les précautions pour accéder à la matière picturale et d'envisager des méthodes non ou peu invasives.

Cependant les méthodes analytiques dites *in situ* ne permettent de sonder que la surface de la matière. Dans le cas du Trou de la Féclaz, la présence d'un fin voile de gypse réduit très fortement la capacité de réponse de ces méthodes. Il est nécessaire de chercher à distinguer le signal provenant des phases d'encroûtement, de celui du substrat et de celui du pigment. Des aller-retours entre l'analyse en laboratoire de micro-prélèvements et l'analyse *in situ* sont donc encore indispensables pour comprendre l'évolution de la paroi, accéder à la matière picturale et la caractériser précisément.

En complément des premiers résultats obtenus sur les micro-prélèvements observés à différentes échelles (microscopie optique, microscopie électronique à balayage), nous avons pu réaliser une campagne de mesure de spectroscopie Raman *in situ* ainsi que des tests de spectroscopie de réflectance diffuse dans le visible et le proche infra-rouge. La difficulté d'accès au pigment, en raison de réprécipitations de sulfate et de carbonate de calcium, oblige à multiplier les croisements d'échelles du macroscopique au submicroscopique, et les modes d'observation (optique, électronique, différentes longueurs d'onde). Enfin, il est important de questionner la représentativité de ces analyses à l'échelle de la figure mais également entre les figures à l'échelle de la paroi.

Mots-Clés : matière colorante, spectroscopie, microscopie, minéralogie, taphonomie

ÉTUDES NON INVASIVES PAR DIFFRACTION ET FLUORESCENCE DES RAYONS X DE SCULPTURES MÉDIÉVALES : NOUVELLES PERSPECTIVES SUR UNE TECHNIQUE DE POLYCHROMIE, LE « BROCARD APPLIQUÉ »
[S₃A_P₀₅]

Pauline Martinetto¹, Nils Blanc¹, Pierre Bordet¹, Sophie Champdavoine²,
Frédéric Fabre², Jean-Louis Hodeau¹, Florence Lelong², Olivier Leynaud¹,
Ariane Pinto^{1,2}, Alain Prat¹, Emeline Pouyet², Emmanuelle Uher³, Philippe Walter³

¹ *Institut Néel – CNRS-UPR2940, Université Grenoble Alpes – France*

² *ARC-Nucléaire – Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) – Grenoble – France*

³ *Laboratoire d'Archéologie Moléculaire et Structurale – Sorbonne Université, CNRS : UMR 8220 – France*

Afin de compléter les informations obtenues à partir de techniques de spectroscopie : spectroscopie Raman, de réflectance UV-visible-NIR, de fluorescence X (XRF)..., utilisées depuis plusieurs années sur site, des systèmes portables permettant d'effectuer des mesures in situ par diffraction des rayons X sur poudre (XRPD), la technique la plus fiable pour identifier les matériaux cristallins, ont été récemment développés. La plupart de ces systèmes proposent une utilisation conjointe de la XRPD et de la fluorescence des rayons X (XRF), même si la collecte des données de diffraction exige de respecter des critères géométriques stricts (géométrie fixe entre le tube à rayons X, la surface de l'œuvre d'art et le détecteur). Malgré certaines difficultés dues entre autres à la différence de volume sondé entre les deux techniques et à une résolution spatiale qui peut être plus grande que l'épaisseur des couches de la polychromie de l'œuvre analysée, ce type d'instrument a été utilisé avec succès pour étudier des surfaces peintes conservées dans des musées, des églises ou des bâtiments anciens, ou plus rarement dans d'autres environnements (grotte, tombe). Ici, nous présenterons des mesures combinées XRF/XRPD effectuées sur deux sculptures polychromées, donc des objets en volume de formes complexes, ce qui complique le positionnement de l'instrument comparativement aux mesures sur des surfaces (quasi-)planes et a rarement été fait auparavant. Les deux sculptures étudiées sont des Pietà en bois peint, datées de la fin du XVe siècle ou du début du XVIe siècle, conservées respectivement au musée savoisien de Chambéry (Savoie, France) et au château de Montrottier (Lovagny, Haute-Savoie, France). Nous avons focalisé nos analyses sur une forme d'ornement en relief dont la composante de base est généralement une feuille d'étain pressée dans un moule préalablement incisé avec le motif décoratif. Cette technique, appelée "brocard appliqué", s'est révélée être une technique de polychromie illusionniste très convaincante pour imiter les soieries brodées de fils d'or ou d'argent portées par la noblesse durant l'époque médiévale. Les

résultats obtenus à partir des mesures non invasives montrent une localisation et une identification fiables des différents composants d'un "brocart appliqué" : un matériau de remplissage, une feuille à base d'étain et une dorure, et ce malgré la présence éventuelle de larges repeints, comme dans le cas de la sculpture du château de Montrottier. Ces résultats permettent d'élargir et de préciser les connaissances actuelles sur la technique du "brocart appliqué" en fournissant des éléments techniques pour l'ancien duché de Savoie, une zone géographique qui n'avait jamais été étudiée auparavant. Cette communication sera aussi l'occasion de comparer les résultats issus des mesures non invasives avec ceux obtenus à partir de l'analyse physico-chimique de micro-fragments, prélevés sur les mêmes œuvres.

Mots-Clés : "brocart appliqué", analyse non invasive, instrument mobile, rayons X, diffracton, fluorescence

EVALUATION DES MÉTHODES D'ANALYSE IN SITU POUR LA CARACTÉRISATION DE PIGMENTS ROUGES DANS L'ART PARIÉTAL : LE CAS DES PEINTURES D'EL CASTILLO, ESPAGNE [S3A_P06]

Laure Dayet¹, Francesco D'errico^{2,3}, Marcos Garcia-Diez⁴, João Zilhão⁵

¹ TRACES Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – CNRS-UMR5608, Université Toulouse Jean Jaurès – France

² Department of Archaeology, History, Cultural Studies and Religion – University of Bergen, Bergen, Norvège

³ de la Préhistoire à l'Actuel, Cultures, Environnement, Anthropologie (PACEA) – CNRS -UMR5199, Ministère de la Culture et de la Communication, Université de Bordeaux (Bordeaux, France)

⁴ Department of Prehistory, Ancient History and Archaeology, Complutense University of Madrid – Espagne

⁵ Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona – Espagne

Déterminer les modalités de préparation des peintures pariétales représente un enjeu important pour mieux comprendre les systèmes techniques et les traditions culturelles qui sous-tendent les productions graphiques du Paléolithique. La caractérisation physico-chimique des peintures permet d'appréhender ces questionnements. Avec le développement d'instruments portatifs, la caractérisation par analyse *in situ* s'est imposée comme un moyen de pallier à l'aspect invasif des méthodes de laboratoire. Cependant, si les études se multiplient, elles peinent encore à démontrer la réelle efficacité des méthodes tels que la pXRF pour identifier de véritables « Pots de peintures » ou « Recettes » comme il est possible de le faire à partir de l'analyse de micro-prélèvements. Le travail que nous présentons porte sur l'évaluation de la pertinence des observations par

microscopie digitale et des analyses par pXRF *in situ* pour la caractérisation de peintures rouges de la grotte d'El Castillo, en Cantabrie (Espagne). Nous avons eu recours à l'expérimentation et au traitement statistique des données pXRF pour déterminer les facteurs influençant les mesures et mettre en évidence de possibles différences dans la composition des couches picturales. Les résultats montrent que la majorité du signal provient de l'environnement des peintures (substrat rocheux et altérations de surface) et que les éléments présents dans les couches picturales, en dehors du fer, sont quasiment indissociables du signal de cet environnement (mêmes éléments présents dans les deux). Des biais liés aux conditions d'analyse (présence d'une couche d'air) ont également été détectés. Nous concluons que l'analyse pXRF n'est pas adaptée pour déterminer des « Pots de peintures » à El Castillo, mais que des cas plus appropriés pourraient exister selon la composition du substrat rocheux et des altérations présentes en surface. De manière plus générale, nous plaçons pour un usage combiné de l'analyse *in situ* avec l'analyse de micro-prélèvements, pour un traitement spécifique des données XRF pour éliminer les biais d'interprétation, et pour un recours plus systématique à l'observation microscopique *in situ* comme déjà réalisé dans le passé.

Mots-Clés : peintures pariétales, technologie, Pots de peinture, analyses *in situ*, pXRF, microscopie *in situ*

**IMAGERIE CHIMIQUE À LA LIGNE PUMA, SOLEIL, DES
ÉPROUVETTES DE LABORATOIRE POUR VALIDER LES RÉSULTATS
OBTENUS *IN SITU* SUR LES TRACÉS POLYCHROME DE L'ART PARIÉTAL
À LA GROTTÉ PALÉOLITHIQUE DE FONT-DE-GAUME [S₃A_P₀₇]**

José Tapia Reguera¹, Antoine Trosseau¹, Yvan Coquinot², Anne Maigret²,
Laurent Tranchant³, Sebastian Schoeder³, Katharina Müller³, Ina Reiche^{1,4}

¹ PCMTH, Institut de recherche de Chimie Paris (IRCP) – Centre de recherche et de
restauration des musées de France (C2RMF) UMR 8247 CNRS Chimie Paristech.

² Laboratoire C2RMF, Paris

³ IPANEMA, Synchrotron SOLEIL USR 3461 CNRS, Ministère de la Culture (MC),
Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Université Paris Saclay et Muséum
national d'histoire naturelle – France

⁴ AGLAE CNRS MC – CNRS : FR3506 – France

Le décor polychrome de la grotte paléolithique de Font-de-Gaume à base d'oxydes de fer et de manganèse a été caractérisé d'une façon non-invasive et *in situ* par fluorescence X portable couplée à la spectrométrie Raman [1]. Pour mettre au point et perfectionner les traitements de données obtenus par ces techniques nous avons effectué l'imagerie en

micro-fluorescence et absorption X au seuil K du Mn et du Fe au synchrotron sur des éprouvettes de laboratoire.

Elles ont été réalisées sur un support calcaire équivalent de celui de la grotte avec différents mélanges d'oxydes de fer et de manganèse naturels.

Nous comparons ici les résultats obtenus lors de différentes campagnes in situ à la grotte et les analyses sur les éprouvettes à la ligne PUMA, SOLEIL afin de pouvoir évaluer au mieux la validité de ces analyses et de discuter leurs apports et limites.

Références :

[1] A. Trosseau, A. Maigret, Y. Coquinot, I. Reiche, In situ XRF study of black colouring matter of the Palaeolithic figures in the Font-de-Gaume cave, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 2021, Advance Article : <https://doi.org/10.1039/D1JA00202C>.

Mots-Clés : Imagerie en micro, fluorescence et absorption X au seuil K du Mn et du Fe au synchrotron, fluorescence X portable, analyse élémentaire, spéciation chimique, art pariétal paléolithique, oxydes de fer, oxydes de manganèse

LA CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX DE PARURE DE SAMRONG SEN (CAMBODGE) [S₃A_P08]

Simon Puaud¹, Aurélie Tournié², Laurence Glémarec³, Matthieu Lebon⁴,
Xavier Gallet⁴, Heng Sophady⁵

¹ CReAAH – CNRS : UMR6566 – France

² Centre de Recherche sur la Conservation (CRC), USR 3224 – Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), CNRS : USR3224, Ministère de la Culture et de la Communication, Paris, France

³ Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) Direction des collections – France

⁴ Histoire naturelle de l'Homme préhistorique – Museum National d'Histoire Naturelle – France

⁵ Ministère de la Culture et des Beaux-Arts du Cambodge – Cambodge

Cette étude se confond avec le projet OPaMMiSS (Objets de Parure en Matières Minérales de Samrong Sen). Ce projet a été soutenu financièrement par le Département Homme et Environnement du Muséum National d'Histoire Naturelle. Il repose sur la caractérisation des matériaux des objets de parure de ce site cambodgien. Lors de leur inventaire (Matringhem, 1995), une partie seulement de ces objets avaient été sommairement décrits. La caractérisation matériellographique des pièces archéologiques de ce corpus nécessitait d'utiliser des méthodes non destructives. Parmi les méthodes d'investigation les moins invasives, la spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier

(IRTF = FTIR / réflexion spéculaire) et la spectrométrie Raman sont les plus fréquemment utilisées dans le cadre d'une approche archéométrique. Au MNHN, les plateformes analytiques de l'UMR 7194 HNHP et de l'USR 3224 CRC nous ont donné accès à ces appareillages. Nous avons également mesuré la densité des objets dans le laboratoire de sédimentologie de l'UMR 7194 au Musée de l'Homme. Samrong Sen est un site préhistorique cambodgien dont l'âge est attribué au Néolithique et à l'âge des métaux. Il s'agit d'un amas coquillier situé sur le bord du Stung Chinit, affluent du Tonlé Sap, au sud-est de ce grand lac. Samrong Sen est connu en France dès 1877 lorsque Jean Moura, représentant de la France au Cambodge, rapporte de ce gisement de nombreux objets. Annoncées par Cartailhac dans l'Anthropologie, ces découvertes sont publiées par Noulet en 1877. Les collections de Préhistoire du MNHN conservent au Musée de l'Homme des objets provenant de ce site. Ils appartiennent aux collections du Docteur Roux et à celle d'Henri Mansuy. Géologue au service géologique de l'Indochine, il a fouillé Samrong Sen à deux reprises, entre les deux guerres. Le corpus d'objets étudié ici appartient à ces deux collections. Il comporte 27 pièces, une 28^{ème} pièce intégrée au corpus et associée à ces collections provient du site vietnamien de Pho Binh Gia. Les résultats de l'analyse du corpus par le biais de ces trois méthodes mettent en évidence l'utilisation prépondérante de la silice : qu'il s'agisse de quartz hyalin, de calcédoine (agate) ou de matériaux plus complexe (roche microcristalline sombre de type "lydienne" notamment). On trouve également de la calcite et de la pagodite. Ce dernier matériau correspond à une roche toujours exploitée et activement travaillée dans la ville de Pursat. Qualifiée de marbre de Pursat, cette roche est constituée de kaolinite et de quartz. L'objet provenant de la grotte de Pho Binh Gia est constitué de néphrite. Ce dernier minéral aurait une origine chinoise.

Mots-Clés : caractérisation des matériaux, méthodes non invasives, Raman, FTIR, Densité, Cambodge

LES PRODUCTIONS D'AMPHORES ROMAINES DE THAENAE (TUNISIE MÉRIDIONALE) : CARACTÉRISATION ARCHÉOLOGIQUE ET ARCHÉOMÉTRIQUE [S₃A_P₀₉]

Rémi Rève^{1,2}, Jean-Paul Ambrosi³, Claudio Capelli⁴, Michel Bonifay¹, Sami Ben Tahar⁵

¹ CCJ – Aix Marseille Université (Aix-en-Provence), CNRS-UMR7299, Centre Camille Jullian, Aix-en-Provence – France

² Université de Sfax - Laboratoire d'Études et de Recherches Interdisciplinaires et Comparées, Sfax – Tunisie

³ Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement

(CEREGE)– IRD, INRAE : UMR_D161, Aix Marseille Université : UM 34, Collège de France
- UMR7330, Institut National des Sciences de l'Univers, CNRS – France

⁴ Università degli Studi di Genova, DISTAV, Genova – Italie

⁵ Institut National du Patrimoine de Tunisie, Tunis, Tunisie – Tunisie

L'identification de sites d'ateliers céramiques antiques en Tunisie a bénéficié depuis les années 1990 d'un important développement avec les recherches de terrain qui ont localisé les structures artisanales et élaboré les typologies d'objets produits. Mais la caractérisation de ces ateliers a connu à partir des années 2000 une forte avancée grâce aux techniques archéométriques (pétrographie et chimie) et est venu renforcer la reconnaissance de ces productions d'Afrique romaine sur les sites consommateurs en Méditerranée.

Dans la continuité de ces approches, on présente ici le cas d'une étude interdisciplinaire sur les productions d'amphores d'époque romaine sur le site de Thaenae (Tunisie), développée dans le cadre d'un doctorat d'université. Cette recherche combine trois approches complémentaires : céramologique, pétrographique et géochimique. Cette dernière repose sur l'utilisation de la XRF portable, méthodologie non destructrice, pour caractériser chimiquement les céramiques des ateliers de Thaenae.

L'approche combinée a pour objectif la création d'un référentiel chimique sur les céramiques de Thaenae et la mise en place d'un protocole d'analyse efficient, en particulier pour les mesures en XRF portable des céramiques africaines. Les résultats préliminaires sont prometteurs et permettent de distinguer les amphores de Thaenae des autres ateliers du Sahel et du nord tunisien. Ces données pourront, à terme, permettre l'identification de productions spécifiques sans avoir recours à d'autres analyses qui nécessitent la perte de l'échantillon.

Afin de cerner la diffusion de ces productions dans le bassin méditerranéen, cette approche croisée a également été testée sur des prélèvements d'amphores provenant de sites d'importation de la région de Rome. La détermination des zones d'exportation de ces amphores depuis Thaenae apportera des éléments essentiels dans la compréhension de l'importance économique qu'a pu jouer la ville au sein de la Byzacène du sud mais également dans les réseaux d'échanges méditerranéens à l'époque romaine.

Mots-Clés : Afrique romaine, atelier céramique, amphores, XRF portable, pétrographie

MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE CHIMIQUE DES SOLS ARCHÉOLOGIQUES [S₃A_P₁₀]

Arthur Laenger¹, Arnaud Martel², Fabien Boucher³, Aline Durand¹

¹ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CRéAAH) – CNRS-UMR6566, Université du Maine : EA6566 – France

L'utilisation de l'analyse chimique en archéologie est désormais une habitude bien installée quand il s'agit d'étudier notamment les matériaux ou les résidus, alimentaires ou non, provenant de contenants. Elle est également convoquée pour doser les phosphates dans les sols archéologiques, afin notamment de déterminer la présence d'activité pastorale. Il semble cependant possible d'aller plus loin dans ce que l'étude chimique des sédiments peut apprendre à l'archéologue.

Le projet de recherche Solarchéochimie explore la possibilité de caractériser les structures archéologiques à partir de l'analyse des sols de ces derniers. La possibilité d'étudier les dépôts d'éléments chimiques spécifiques, déposés dans les sols lors des diverses activités anthropiques, constitue le postulat de départ. Des expérimentations à l'international mettent en évidence la validité de ce postulat.

Le protocole d'analyse chimique développé pour le projet Solarchéochimie a pour double objectif de proposer une méthode robuste et facile à mettre en œuvre. La technique traditionnelle d'analyse, la spectrométrie par torche de plasma (ICP), a été délaissée au profit de la fluorescence des rayons X (EDXRF). Cette méthode présente l'avantage de ne requérir qu'une préparation sommaire des échantillons pour analyse, évitant les processus de digestion acide. L'EDXRF permet également d'obtenir les concentrations de la quasi-totalité du tableau périodique, à l'exception notable des éléments légers, en une seule mesure.

L'avantage sur l'ICP, nécessitant de viser des éléments particuliers, sur ce point précis est décisif. L'EDXRF rend possible de repérer des éléments évalués comme étant exotiques dans la problématique de recherche, rendant possible la mise au jour de nouveaux éléments marqueurs à interroger. La lacune concernant la non visibilité des éléments légers est cependant compensée par des analyses thermogravimétriques. L'accès aux concentrations en eau et en dioxyde de carbone permet de recalculer les concentrations des autres éléments.

Une fois les échantillons analysés, les résultats sont injectés dans un système d'information géographique afin d'établir des cartes de répartition élémentaires. Les différences de concentrations apparaissent alors et, conjointement aux données archéologiques, il est possible de proposer des interprétations sur les vestiges étudiés.

Mots-Clés : analyse géochimique, sol, archéologie, caractérisation de structure, méthodologie, EDXRF, SIG

MODIFICATION PAR LA CHAUFFE DES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DES CALCAIRES DU LUTÉTIEN DANS LA GAMME DE FRÉQUENCE [100 Hz – 10 MHz] [S₃A_P₁₁]

Alain Tabbagh¹, Blaise Souffaché¹

¹ Sorbonne Université, UMR7619, Métis – Sorbonne Universités, UPMC, CNRS – France

La mesure des propriétés électriques d'une pierre du parement d'un monument est rapide et non-destructrice si l'on utilise la méthode électrostatique où l'injection et les mesures des tensions sont réalisées avec des condensateurs ouverts. La gamme de fréquence 10 kHz – 100 kHz se prête bien à cette mesure. Deux problématiques majeures en archéologie du bâti ont ainsi pu être abordées : celle du choix des constructeurs quant aux origines des pierres et celle de la caractérisation de leur état d'altération et des décisions à prendre en cas de restauration.

Si le bâtiment a subi un incendie comme cela a été le cas à Notre Dame de Paris, se pose le problème de l'effet d'une chauffe sur les propriétés des pierres qui, dans le cas des calcaires, peuvent se transformer en chaux et perdre alors toute résistance mécanique. La présente étude porte sur les propriétés électriques d'un échantillon de Liais lutétien extrait de la carrière de Saint Pierre Aigle (Aisne), ces propriétés étant les plus sensibles à toute modification de la structure d'une roche. La permittivité effective a été mesurée sur la gamme [100 Hz – 10 MHz] à la température ambiante, après une chauffe à 300°C et après une chauffe à 600°C pour des teneurs en eau variant de l'état sec à la saturation. L'augmentation de la teneur en eau influence fortement la conductivité électrique et conduit à l'apparition d'une forte décroissance de la partie réelle de la permittivité avec la fréquence. La caractéristique principale est cependant la présence d'un phénomène de relaxation dont la constante de temps décroît de quelques microsecondes à quelques dixièmes de microsecondes avec l'humidité mais dont l'amplitude reste proche de 30 en permittivité relative. Ces caractéristiques sont peu modifiées par une chauffe jusqu'à la transformation en chaux qui pour cet échantillon s'est produite avant 900°C.

Mots-Clés : Effet d'une chauffe, calcaires lutétiens, permittivité effective 100 Hz – 10 MHz

PREMIERS PAS DE L'ARCHÉOMÉTRIE AU KOSOVO, APPROCHE MULTISCALEAIRE : L'EXEMPLE D'ULPIANA [S₃A_P₁₂]

Christophe Goddard¹, Arthur Laenger², Florian Jedrusiak³

¹ *Archéologie et Philologie d'Orient et d'Occident – CNRS-UMR 8546, École normale supérieure - Paris, Université Paris sciences et lettres, Ecole Pratique des Hautes Etudes – France*

² *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CreAAH)– CNRS-UMR 6566, Université du Maine : EA6566 – France*

³ *Archéologies et Sciences de l'Antiquité – Université Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, Ministère de la Culture et de la Communication, CNRS-UMR 7041 – France*

Depuis 5 ans, les fouilles archéologiques de l'agglomération romaine d'Ulpiana sont menées par une équipe internationale dirigée par Christophe Goddard (CNRS, ENS). Outre la fouille de terrain, qui a permis de mettre au jour une partie de l'occupation tardo-antique, une approche multiscaleaire a été encouragée dès le début de la campagne afin de participer à une meilleure compréhension du site.

Une prospection électrique menée par les équipes de Géocarta a permis de mieux appréhender l'emprise et une partie de l'articulation du site, qui se décompose en deux faits urbains, chacun circonscrit par un rempart.

En parallèle des fouilles, une étude physico-chimique quasi-systématique des structures a été entreprise par Arthur Laenger, afin de solutionner les questionnements en rapport avec les activités artisanales et de construction. 292 prélèvements ont été réalisés directement sur les niveaux archéologiques. Le protocole d'étude se propose d'employer la fluorescence des rayons X, méthode analytique non destructrice, facile à mettre œuvre et balayant un large spectre d'éléments chimiques. Les résultats bruts de l'analyse chimique sont exploités spatialement via un système d'information géographique de manière à faire apparaître les zones de concentrations anormales, probablement liées à l'activité anthropique. A ce jour 149 échantillons ont pu être étudiés. Les résultats rendent possible d'affiner l'interprétation des structures mises au jour lors de l'opération archéologique.

Enfin, 45 structures archéologiques ont été échantillonnées dans la perspective d'une étude carpologique de l'agglomération romaine d'Ulpiana par Florian Jedrusiak. Avec 252 litres de sédiments étudiés, cette présentation concerne les 552 premiers carporesses kosovars analysés et propose de se pencher pour la première fois sur la question de l'alimentation des populations tardo-antiques de la province de Dardanie.

Le présent travail se propose d'aborder les premières études archéométriques menées au Kosovo. Bien que ces travaux soient encore récents, les premiers résultats sont encourageants et l'ensemble de ces analyses sera poursuivi dans les années à venir.

Mots-Clés : Kosovo, Ulpiana, Prospection électrique, étude physico, chimique et carpologie

UN ENSEMBLE DE PACKAGES R POUR UNE RECHERCHE OUVERTE ET REPRODUCTIBLE EN ARCHÉOLOGIE [S3A_P13]

Nicolas Frerebeau^{1,2}, Brice Lebrun¹

¹ IRAMAT-CRP2A – CNRS : UMR5060, Université Bordeaux Montaigne : UMR5060, Université Bordeaux Montaigne : UMR5060 – France

² Centre de recherche et d'études de l'art préhistorique – Maison des Sciences de l'Homme et de la Société de Toulouse : UAR3414 – France

Depuis plusieurs années, la recherche menée dans les différentes branches des sciences archéologiques – au même titre que le reste des sciences humaines – tend à produire des volumes de données de plus en plus importants. Au-delà des problèmes, non moins cruciaux, d'accès et d'archivage des données, se pose la question de la reproductibilité des résultats dès lors qu'il est fait appel à des méthodes statistiques. À quelques exceptions près, nombre de solutions logicielles sont propriétaires, ne garantissent pas un accès au code source ou une documentation exhaustive et ne permettent pas le développement aisé d'outils dédiés.

Nous présentons ici le projet tesselle (<https://www.tesselle.org>) : un ensemble cohérent de packages R destinés à l'analyse et la visualisation de données en archéologie. Ces packages permettent, dans leur état actuel, l'exploration et la visualisation de données, la sériation de matrices, la modélisation chronologique à partir de données de comptage ainsi que le traitement des données géochimiques. La documentation des différents packages peut être consultée en ligne : <https://packages.tesselle.org>.

Ces packages sont développés en R S4 sous licence GPL-3. Les versions stables sont publiées sur les serveurs du CRAN, l'ensemble du code source en cours de développement est disponible sur GitHub (<https://github.com/tesselle/>) et ouvert à toute contribution.

Mots-Clés : visualisation, analyse de données, données de compositions, reproductibilité, package R

VERS UNE MODÉLISATION DES LITHO-ESPACES POUR LA PRÉHISTOIRE. LA CONTRIBUTION DES PCR RÉSEAU DE LITHOTHÈQUES ET DU GDR SILEX [S3A_P14]

Christophe Tufféry^{1,2}, Vincent Delvigne³, Paul Fernandes⁴

¹ Institut National de Recherches Archéologiques Préventives (Inrap) – Ministère de la Culture et de la Communication, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scienti-

Dans le cadre de plusieurs Projets Collectifs de Recherche (PCR) "Réseau de lithothèques" et du Groupement De Recherche (GDR) "SILEX", des travaux sont conduits depuis une quinzaine d'années. Ils tendent vers une modélisation des comportements spatiaux des collectifs de la Préhistoire.

Près d'une trentaine de départements ont fait l'objet, à l'aide du logiciel QGis, d'un traitement homogène de données du BRGM (BD-CharM50, distribuées sous licence ouverte), adaptées et complétées selon une méthodologie permettant de ne retenir que les formations à silicites susceptibles d'avoir constitué des géoressources pour les populations passées.

Les données sur les gîtes sont issues d'observations de terrain et celles sur les sites proviennent des échantillons présents dans les lithothèques inventoriées. Plusieurs centaines de ces données ont été saisies dans une base de données en cours de constitution, comprenant des données de pétrographie, de gîtologie et de taphonomie, toutes reliées à une plateforme cartographique. Les gîtes ont été inventoriés selon une fiche descriptive unique, diffusée dans un format tableur.

Celle-ci a aussi fait l'objet d'une application mobile sur smartphone et tablette, utilisant l'application Survey 123. Celle-ci permet de saisir sur le terrain les données d'observation et de les partager aussitôt avec les autres membres des projets de recherche, par l'intermédiaire de la plateforme cartographique. L'interopérabilité technique et sémantique des données est assurée par l'usage de webservices normés (WFS), d'un lexique publié en XML/TEI, en cours d'intégration dans les thesaurus Pactols, et de métadonnées selon la norme Dublin-Core. Une modération des données de terrain est assurée par plusieurs des chercheurs.

A l'aide du logiciel QGis et d'un modèle d'enchaînement de tâches, il a été possible d'identifier les distances linéaires les plus courtes entre des points issus du terrain et les contours des formations à silicites les plus proches. De nouveaux outils (matrice de distance entre polygones, intégration de modules R, bouton de déroulement chronologique) seront prochainement intégrés ou développés afin de renforcer la pertinence des résultats de la modélisation.

Par ailleurs, l'utilisation combinée de QGis et du logiciel de système multi-agents Netlogo, a permis de reconstituer les itinéraires théoriques potentiels suivis par les matériaux provenant des formations à silicites.

L'ensemble de ces outils et méthodes contribuent à améliorer la qualité, la traçabilité et à partager des données produites afin de renforcer la cohérence des projets de recherche. D'un point de vue fondamental, ils ouvrent des perspectives pour une reconsidération

de la notion de "territoire" en préhistoire, aujourd'hui marquée par une conception sédentaire et moderne (Latour 1991) diamétralement opposée à celles des collectifs pré-modernes mobiles.

Mots-Clés : silicites, gîtes, lithothèques, webmapping, interopérabilité, territoires

TRAITEMENTS CHIMIOMÉTRIQUES DE DONNÉES ATR-IRTF DE MICRO-PRÉLÈVEMENTS DE BAUMES DE MOMIES HUMAINES D'ANCIENNE EGYPTE [S₃A_P₁₅]

Elodie Mezzatesta¹, Nathalie Dupuy¹, Carole Mathe¹

¹ Aix Marseille Univ, Avignon Université, CNRS, IRD, IMBE, Marseille, France

Dans un contexte où de longs et nombreux protocoles sont utilisés pour extraire et identifier chaque substance constituant les baumes de momification, une méthode originale de caractérisation de ces matériaux a été évaluée en utilisant l'algorithme SIMPLISMA en spectroscopie infrarouge par « Réflectance totale atténuée » (ATR). L'ATR est un outil non-destructif nécessitant d'infime quantité de matière pour analyse. L'algorithme SIMPLISMA est une approche de variables pures correspondant à la sélection de variables de calibration. Cette approche a été combinée à un traitement chimométrique (analyse en composantes principales) pour interpréter les 47 spectres infrarouges à transformée de Fourier de baumes de momies humaines de l'Égypte ancienne.

Ce traitement a donné 6 spectres purs ainsi que l'extraction de leur profil de concentration. Le premier spectre pur est associé à des espèces résiduelles, et le second a permis l'identification d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, molécules ayant une origine pyrolytique. Le troisième spectre pur correspond à des protéines qui peuvent être considérées comme des marqueurs de bonnes conditions de conservation des individus. Le quatrième caractérise des polysaccharides. Enfin, les deux derniers spectres purs ont mis en évidence la même substance naturelle, à savoir un corps gras (huile végétale, graisse animale ou cire d'abeille), altérée ou inaltérée.

Cette approche rapide, simple et non destructive a permis la caractérisation de différentes substances naturelles : protéines, polysaccharides et de matières grasses ou cire d'abeille dans différents états de conservation/altération au sein des baumes étudiés.

Mots-Clés : chimimétrie, ATR-IRTF, baumes, momies

THÈME 3

SESSION 3B

DATATION ET CHRONOLOGIE, DE L'OBJET AU SITE : RESTITUER LA DYNAMIQUE DU TEMPS (DATER LES ÉVÉNEMENTS MARQUEURS DES SITES ARCHÉOLOGIQUES)



COORDINATEURS : ANITA QUILES, EMMANUELLE DELQUE-KOLIC,
PHILIPPE LANOS

La session Datation et Chronologie de ce colloque a pour objectif d'investir toutes les temporalités des sites archéologiques, par des approches à la fois multi-techniques et multi-supports. Le site ou l'objet archéologique sera placé au cœur des présentations, en cherchant à fixer dans le temps les marqueurs chronométriques directs ou indirects permettant de restituer les histoires passées du site ou de l'objet. Il s'agira de s'intéresser, d'une part, aux développements méthodologiques et instrumentaux récents ouvrant des voies nouvelles sur les protocoles chimiques et métrologiques, et d'autre part à l'identification de supports d'analyses inédits et la qualification des données produites. La question des chronologies indirectes, du croisement entre sources stylistiques, matérielles, écrites, parlées, sera aussi posée. Surtout, la mise en cohérence de ces chronologies avec des datations absolues interrogera la façon de confronter des données de différentes natures, et de construire des modèles chronologiques intégratifs reposant sur des jeux de données statistiques. L'ensemble de ces dynamiques de recherche visera finalement à discuter l'intégration de la datation au sein des raisonnements archéologiques.

Sous-thèmes ouverts proposés :

- Développements instrumentaux et méthodologiques des différentes méthodes de datations absolues
- Croiser les sources - confronter les chronologies relatives et absolues-
- Modéliser des jeux de données statistiques issues d'analyses hétérogènes

Mots-Clés : datation absolue, marqueurs chronométriques, chronologie indirecte, modèle statistique

DÉVELOPPEMENT D'UN PROTOCOLE DE PRÉSÉLECTION DES MORTIERS DE CHAUX POUVANT PROCURER DES DATATIONS ¹⁴C FIABLES

Marine Wojcieszak^{1,2}, Laurent Fontaine¹, Roald Hayen¹, Tess Van Den Brande¹,
An Oostvogels¹, Jan Elsen³, Gaia Ligovich¹, Mathieu Boudin¹

¹ *Royal Institute for Cultural Heritage (KIK/IRPA) – Belgique*

² *Evolutionary Studies Institute, University of the Witwatersrand – Private Bag 3,
Johannesburg 2050, Afrique du Sud*

³ *Katholieke Universiteit Leuven – Belgique*

L'idée de dater par la méthode du carbone 14 le liant carbonaté des mortiers anciens, et ainsi contribuer à (in)valider des hypothèses archéologiques basées sur des informations contextuelles ou des comparaisons stylistiques, n'est pas neuve. Les premiers travaux à ce sujet, réalisés par Jacques Labeyrie et Georgette Délibrias, ont été publiés en 1964 dans la revue *Nature*. Déjà à ce moment-là, les auteurs soulignaient que des observations microscopiques devaient être réalisées pour vérifier la présence éventuelle de microfossiles susceptibles de fausser le résultat de la datation, car constitués de carbonates très anciens. D'autres sources d'interférences, comme la présence de morceaux d'incuits ou de dépôts secondaires de calcite, peuvent également fortement entraver la possibilité d'une datation. C'est principalement pour ces raisons que se pose encore à l'heure actuelle la question de la fiabilité des datations radiocarbone obtenues sur les mortiers de chaux. L'IRPA a, par le passé, essayé de comprendre les mécanismes menant à une dispersion des résultats en examinant les processus d'absorption du CO₂, le fractionnement isotopique et l'influence de la contamination par les carbonates fossiles, sans pour autant prédire la crédibilité de la datation d'un échantillon.

C'est pour approfondir davantage les connaissances sur cette question qu'a été conçu le projet PALc (Pre-screening of anthropogenic lime carbonates for ¹⁴C dating). Son but principal est de mettre au point un protocole de caractérisation des échantillons de mortier permettant de déterminer si oui ou non un échantillon est datable par la technique de dissolution fractionnée. Pour y arriver, toute une série d'analyses (pétrographie en lame mince, cathodoluminescence, analyse TGA/DSC simultanée, FT-IR...) seront réalisées sur des échantillons de mortier de référence, dont une datation assez précise a pu être établie au préalable par d'autres méthodes (informations historiques, datation ¹⁴C obtenue sur le charbon de bois présent dans le mortier, dendrochronologie...). Un large corpus d'échantillons sera sélectionné pour obtenir une vaste diversité. La fiabilité des datations ¹⁴C obtenues sur ces échantillons de référence permettra de mettre en évidence les critères pertinents qui font qu'un mortier ancien est datable ou non.

Le projet PALc, financé par BELSPO (politique scientifique fédérale belge), débutera of-

ficiellement courant 2021 pour une durée de 2 ans. Cependant, au cours de l'année 2020, l'Institut Royal du Patrimoine Artistique (KIK-IRPA, Belgique), à l'initiative du projet PALc, a reçu deux demandes de datation de mortiers de chaux : l'une concernant le mortier de pose d'un ancien mur d'enceinte trouvé lors des fouilles archéologiques menées dans le cadre de la restauration du Steen (le plus ancien bâtiment d'Anvers construit vers 1200-1225) ; l'autre concernant le mortier de pose et l'enduit extérieur du mur du bâtiment primitif de l'église Notre-Dame de Mousty à Ottignies, pour lequel une datation du 11^e siècle est traditionnellement avancée. Pour ces deux cas d'étude, une analyse pétrographique en lame mince et une analyse TGA/DSC ont été réalisées dans le but d'interpréter les résultats de datation ¹⁴C. Il en ressort que l'analyse pétrographique en lame mince est d'une grande utilité pour juger de la fiabilité des datations obtenues.

Mots-Clés: Datation ¹⁴C, mortiers de chaux, archéométrie, pétrographie en lame mince, analyse TGA/DSC, cathodoluminescence

NOUVELLES MÉTHODOLOGIES EN ARCHÉOLOGIE DU BÂTI : DATATION DES MORTIERS PAR SG-OSL À L'ÉCHELLE INTERNATIONALE

Petra Urbanová^{1,2}

¹ *Institut de Recherche sur les ArchéoMATériaux – Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie – UMR 5060 CNRS - Université Bordeaux-Montaigne – France*

² *Dipartimento dei Beni Culturali: archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica (dBC) – Università degli Studi di Padova – Italie*

La datation des mortiers, élément chronologique clé à la datation directe du bâti, a montré un progrès considérable ces dernières années (Urbanová et al., 2020). La recherche sur la datation de mortiers par SG-OSL réalisée à l'IRAMAT-CRPAA depuis 2012 a joué un rôle majeur dans ce processus. Suite aux développements méthodologiques que nous avons mis en œuvre et présentés au GMPCA de 2013 et 2015 (Urbanová et Guibert, 2017), nous nous sommes focalisés sur l'intégration de cette approche en archéologie du bâti à l'échelle locale, notamment en Aquitaine. Grâce à un projet multipartenaire MoDAQ financé par la région Nouvelle Aquitaine, nous avons pu mettre en œuvre les premières applications archéologiques de la datation des mortiers par SG-OSL. Celles-ci ont contribué à une meilleure connaissance de l'origine des monuments aquitains tels que Saint Seurin de Bordeaux (Urbanová et al., 2018, présenté au GMPCA 2017), Notre Dame de la Place de Bordeaux, Saint Jean-Baptiste de Périgueux ou Saint Quitterie d'Aire sur l'Adour.

Les résultats obtenus ont démontré l'intérêt indéniable de la méthodologie SG-OSL pour dater des monuments alto-médiévaux. Ceci a suscité un intérêt international et plusieurs

collaborations fructueuses, ainsi qu'un projet de recherche international ArchiDate ont été établis avec des chercheurs français et étrangers, en particulier en Italie, Espagne et Croatie.

Ces échanges internationaux ont permis d'avancer au niveau de l'intégration de la méthodologie (avec toutes ses spécificités de terrain) dans le concept du travail des archéologues du bâti à l'échelle internationale. Certains sites d'importance particulière pour l'histoire du christianisme européen, tel que par exemple la basilique patriarcale d'Aquilée (Italie), ont servi à la fois de terrain de recherche, d'enseignement et de vulgarisation. Cette communication vise à présenter l'évolution de 9 ans de recherche sur la datation SG-OSL des mortiers, l'approche actuelle étant intégrée à l'archéologie du bâti au niveau de l'échelle internationale.

Mots-Clés: mortar dating, building archaeology, medieval architecture, single grain, optically stimulated luminescence

DATATION RADIOCARBONE PAR SPECTROMÉTRIE DE MASSE PAR ACCÉLÉRATEUR DE COLLYRES GALLO-ROMAINS À BASE DE CARBONATES MÉTALLIQUES

Cyrielle Messenger¹, Lucile Beck¹, Ingrid Caffy¹, Solène Mussard¹, Marion Perron¹,
Charlotte Van Hove¹, Emmanuelle Delqué-Kolic¹, Jean-Pascal Dumoulin¹,
Christophe Moreau¹

¹ *Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LMC14) (LMC14-LSCE) – CEA, CNRS-UMR8212,
Institut de recherche pour le développement [IRD] : UR0000, IRSN, Ministère de la Culture –
France*

La datation radiocarbone s'applique depuis peu à deux pigments inorganiques synthétisés, la cérusite (PbCO_3) et la phosgénite ($\text{Pb}_2\text{Cl}_2\text{CO}_3$). Ces carbonates de plomb comptent parmi les ingrédients des cosmétiques et remèdes de l'Antiquité. La synthèse de la cérusite est connue depuis au moins 400 av. J.-C. dans les écrits de Théophraste. Elle repose sur la corrosion de plomb métallique en présence de vinaigre suivi par l'incorporation de CO_2 produit par un environnement en fermentation. La synthèse de la phosgénite est plus ancienne et repose sur le mélange de litharge et de sel en milieu aqueux suivi d'un apport en CO_2 atmosphérique. Dans les deux cas, il a été démontré que ces composés à base de plomb incorporent la signature isotopique en ^{14}C de la source de CO_2 organique naturelle utilisée pour leur fabrication. Par conséquent, ils peuvent être datés de manière absolue par la méthode du radiocarbone. Pour cela, notre laboratoire a développé un protocole pour extraire le carbone des carbonates de plomb de synthèse par décomposition thermique. Des cosmétiques à base de cérusite grecque et de phosgénite égyptienne

ont ainsi été datés avec succès par ^{14}C (Beck et al., Communications Chemistry volume 1, 2018). Dans ce poster, nous proposons de dater des collyres gallo-romains trouvés dans la tombe de " La Favorite " à Lyon, en France. Ces collyres ont été identifiés et caractérisés chimiquement par M. Aubin lors de sa thèse de doctorat (UPMC, Paris, 2016). Ils sont composés d'un mélange complexe de carbonates métalliques principalement de plomb et de zinc (parmi ceux que nous avons sélectionné pour cette étude).

A notre connaissance, aucune mention de la synthèse des carbonates de zinc n'a été retrouvé dans les compilations de recettes des auteurs antiques. Nous avons adapté le protocole d'extraction du CO_2 (Beck et al, Radiocarbon 61, 2019 ; Messager et al., Microchemical J. 154, 2020) à ces objets complexes, en y ajoutant un prétraitement chimique pour éliminer les éventuelles contaminations. Grâce à cette combinaison, les collyres gallo-romain ont été datées avec succès par la méthode du radiocarbone, et les résultats sont en parfait accord avec les données archéologiques. Dans ce poster, notre approche expérimentale sera expliquée en détail et les résultats de datation seront discutés.

Mots-Clés : datation radiocarbone, carbonates de plomb, carbonates de zinc, SMA, collyres

DATATION PAR LES SÉRIES DE L'URANIUM PAR IMAGERIE LA-Fs ICP-MS HAUTE SENSIBILITÉ : QUELLES PERSPECTIVES POUR LES DATATIONS DE SYSTÈMES OUVERTS ?

Asmodée Galy^{1,2}, Christophe Pécheyran², Chantal Tribolo¹, Norbert Mercier¹

¹ *Institut de Recherches sur les Archéomatériaux – Université Bordeaux Montaigne, CNRS-UMR5060, France*

² *Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux – Université de Pau et des Pays de l'Adour, CNRS-UMR5254, France*

Les datations par les séries de l'uranium sont plébiscitées depuis de nombreuses années en raison de leur très large période d'applicabilité (de 10 à 600 ka), et ce sur un large panel de matériaux carbonatés (des spéléothèmes aux biominéraux). Ces avantages font de ces datations un outil idéal pour l'investigation du Pléistocène moyen et supérieur. Cependant, le protocole classique de dissolution totale de l'échantillon avec l'ajout de traceurs n'est pas adapté aux petits échantillons, à très faible teneur en uranium (ultra-traces, < 10 ppb) et mal conservés (systèmes ouverts). Néanmoins, ce type d'échantillon est présent en abondance sur la plupart des sites archéologiques (coquilles d'œufs d'autruche, dents, coquilles...) et présente un potentiel géochronologique encore trop peu exploité.

Récemment, une nouvelle approche, tirant profit du couplage d'un laser UV femtoseconde à haute cadence de tirs et d'un spectromètre de masse à très haute sensibilité, a été développée pour mesurer directement les ultra-traces d'uranium et de thorium (quelques atogrammes) contenus dans divers matériaux archéologiques. Cette approche offre la possibilité de cartographier à une résolution de quelques μm la répartition de ces radioéléments et de leurs isotopes dans des échantillons qui se comportent en systèmes ouverts, à l'instar des dents, et ce en prélevant de très faibles quantités de matériaux, de l'ordre du mg. Ce nouveau protocole permet donc de lever plusieurs verrous méthodologiques qui pesaient sur les datations par les séries de l'uranium.

Ainsi, il nous amène à repenser les limites d'exploitation des systèmes ouverts. En effet, des profils d'incorporation, propres à la structure de chaque type d'échantillon (dent, coquilles d'escargot, d'œufs d'autruche), sont perceptibles grâce à ces cartographies. Les datations peuvent alors être réalisées à partir de zones restreintes de l'échantillon, ciblées en post-analyse.

Les très faibles limites de détection atteintes par les appareils présentés permettent également de mesurer des isotopes jusqu'à présent délaissés malgré leur potentiel, à l'instar du ^{231}Pa . Ainsi, une approche croisée des géochronomètres U-Th et U-Pa peut réellement être envisagée, afin de s'affranchir des modèles traditionnellement utilisés pour caractériser les cinétiques d'incorporation des isotopes.

Mots-Clés: Datations Useries, Imagerie isotopique, LA ICPMS, Systèmes ouverts

APPROCHES INTERDISCIPLINAIRES DANS LE "BERCEAU DE L'HUMANITÉ" EN AFRIQUE DU SUD : UN NOUVEAU CADRE CHRONOLOGIQUE POUR DE NOUVELLES PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Laurent Bruxelles^{1,2}, Dominic Stratford², Amélie Beaudet^{2,3}, Grégory Dandurand^{1,4},
Francis Duranthon^{5,6}, Jean-Baptiste Fourvel⁷, Marc Jarry^{1,4}, Clement Zanolli⁸

¹ *Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – Université Toulouse - Jean Jaurès, CNRS-UMR5608 – France*

² *School of Geography, Archaeology and Environmental Studies [Johannesburg] – Afrique du Sud*

³ *Department of Archeology, University of Cambridge – Royaume-Uni*

⁴ *INRAP – UMR 5138 – France*

⁵ *AMIS - CNRS-UMR5288 – France*

⁶ *Muséum de Toulouse – Toulouse Métropole – France*

⁷ *Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique – Aix Marseille Université - CNRS-UMR7269, Ministère de la culture – France*

Le développement récent des études géoarchéologiques dans les karsts du Gauteng, en Afrique du Sud, a complètement renouvelé les interprétations dans ces prestigieux sites à hominins (Sterkfontein, Swartkrans, Kromdraai...). Malgré la richesse en fossiles de faune mais aussi d'hominines, les complexités stratigraphiques et les difficultés de datation se sont conjuguées pour maintenir cette région d'Afrique au second plan dans les scénarii évolutifs et notamment pour l'apparition du genre *Homo*. En effet, depuis plusieurs décennies, c'est le grand rift est africain qui est considéré comme le "berceau de l'Humanité". Il a livré lui aussi de nombreux fossiles d'hominines anciens, et en particulier les plus anciens australopithèques, mais il a aussi bénéficié de contextes morphosédimentaires plus simples et surtout beaucoup plus faciles à dater avec fiabilité.

Les approches que nous avons développées depuis plus de 10 ans en Afrique du Sud, mobilisant diverses approches (géomorphologie, karstologie, stratigraphie, micromorphologie, géochimie, taphonomie...), et en lien étroit avec les autres disciplines (paléoanthropologie, paléontologie, archéologie), ont permis de faire sauter plusieurs verrous et de remettre en cause certaines datations réalisées par exemple sur des sédiments intrusifs, beaucoup plus jeunes que les fossiles qu'ils étaient censés dater (Bruxelles et al., 2014).

Sur la base de ces travaux, de nouvelles datations ont été réalisées et il est apparu que les fossiles sud-africains se situent dans les mêmes tranches d'âges que les fossiles est-africains. Ainsi, la datation du fossile d'australopithèque StW 563 (Little Foot), complet à plus de 95%, a donné un âge de $3,67 \pm 0.16$ Ma (Granger et al., 2015), presque 1,5 Ma d'années plus vieux que les datations admises par la communauté scientifique jusque-là (Walker et al., 2006).

Il apparaît donc que deux régions d'Afrique, séparées de plus de 4 000 km, documentent une évolution comparable voire parallèle, avec une succession d'hominines identique. La question fondamentale soulevée par ces résultats est donc de savoir s'il s'agit de deux "berceaux de l'Humanité" distincts ou si ces deux pièges géologiques (le rift et le karst) ne sont que deux fragments d'un berceau bien plus vaste, certainement à l'échelle de l'Afrique. Ailleurs, dans les régions où le contexte géologique et l'évolution géomorphologique ne l'ont pas permis, tous les vestiges d'hominines anciens auraient disparu.

Sur cette base, et considérant que d'autres pièges fossilifères doivent exister ailleurs, nous avons constitué une équipe interdisciplinaire internationale afin de rechercher de nouveaux fragments du "berceau de l'Humanité". La mission *Human Origin in Namibia* (commission des fouilles du MEAE) recherche et étudie des paléokarsts fossilifères très comparables à ceux d'Afrique du Sud. De même, le programme de recherche HOMME (Human Origin in Mozambique and Malawi Environments), financé par le CNRS (MITI80), se consacre à l'exploration des karsts qui entourent la terminaison méridionale du grand rift est-africain. Cette région, quasi-vierge de ce type de recherches,

constitue un véritable trait d'union entre les sites d'Afrique de l'Est et ceux d'Afrique du Sud. Dans ces deux missions, les résultats sont prometteurs et il suffirait d'y découvrir un seul fragment d'hominine pour ouvrir un champ de recherche à l'échelle du continent.

Mots-Clés: Géologie, géomorphologie, paléanthropologie, karst, datation, hominines, Afrique

CONTRIBUTION DE L'ÉTUDE MULTISCALEIRE DES ÉTATS D'ALTÉRATION DU MOBILIER EN QUARTZITE À LA DATATION DES INDUSTRIES DU PALÉOLITHIQUE MOYEN ET INFÉRIEUR DANS LE PIÉMONT PYRÉNÉO-GARONNAIS

Mathieu Rue^{1,2}, Paul Fernandes^{1,3}, Alain Queffelec³, François-Xavier Le Bourdonnec⁴,
Lorène Chesnaux⁵, Alexis Taylor^{1,6}, Sébastien Bernard-Guelle^{1,7}

¹ Paléotime – France

² Archéologie des Sociétés Méditerranéennes – Ministère de la culture, Université Paul-Valéry -
Montpellier 3, CNRS-UMR5140 – France

³ De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie – Université de
Bordeaux, CNRS-UMR5199 – France

⁴ Archéosciences Bordeaux – Université Bordeaux Montaigne, UMR6034 – France

⁵ UMR 5608 - TRACES, Université de Toulouse Jean Jaurès – France

⁶ Préhistoire et Technologie – Université Paris Nanterre, CNRS-UMR7055 – France

⁷ Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique – Aix Marseille Université,
CNRS-UMR7269, Ministère de la culture – France

Dans le bassin de l'Adour, les opérations d'archéologie préventive ont occasionné la découverte de plusieurs sites paléolithiques constitués par des épandages peu denses de mobilier, principalement en quartzite, et dont l'attribution culturelle pose question. Ces nappes de mobilier lithique s'intercalent au sein de dépôts limono-sableux d'origine éolienne datés par luminescence entre les MIS2 et 9. Les dépôts sont scindés en deux principaux horizons argiliques permettant de séparer les sites formés au cours du Pléistocène supérieur (BT1) de ceux de la fin du Pléistocène moyen (BT2). Dans la plupart des cas, la datation des industries s'est avérée impossible en raison de l'absence de support archéologique directement datable.

L'état de conservation des sites ne permet pas d'utiliser avec certitude les âges obtenus sur le sédiment pour dater les occupations. De plus, les caractères technologiques et typologiques ne permettent pas de rattacher aisément les productions sur quartzite aux techno-complexes moustériens ou acheuléens (Taylor et al. 2020).

Afin d'alimenter les réflexions sur l'âge de ces industries et la formation des sites, une étude des états de surface d'une sélection de pièces en quartzite provenant des horizons

BT1 et BT2 a été réalisée (macroscope, MEB et confocal). La méthode employée part du principe que la surface des matériaux enregistre les principales phases géomorphologiques des milieux qu'elle traverse et qu'elle peut ainsi être utilisée comme un marqueur de chronologie relative (Fernandes 2012). Cette communication vise à présenter un bilan des résultats obtenus sur les sites échantillonnés, en particulier Bidau à Garlin (horizon BT1) et Duclos à Auriac (horizons BT1 et BT2). Malgré les faibles modifications de la rugosité survenues au cours de l'intervalle de temps qui séparent les industries des horizons BT1 et BT2, les observations ont permis d'identifier certains marqueurs de chronologie relative utiles à la sériation de ces productions lithiques.

Références

Taylor A., Rué M., Bernard-Guelle S., Fernandes P., Ajas A., Chesnoux L. (2020) - L'industrie sur quartzite du site de Bidau à Garlin (Pyrénées-Atlantiques) : Acheuléen versus Moustérien ?

Paléo, 2019, p. 280-318.

Fernandes P. (2012) - Itinéraires et transformations du silex : une pétroarchéologie re-fondée, application au Paléolithique moyen. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, 623 p.

Mots-Clés: Paléolithique, taphonomie lithique, datation relative, états de surface

DE LA RÉOLUTION CHRONOLOGIQUE ANNUELLE À L'ENREGISTREMENT MULTIMILLÉNAIRE. CROISEMENT DE MÉTHODES ET DE TEMPORALITÉS MULTIPLES POUR IDENTIFIER CONTINUITÉS ET RUPTURES DANS LES OCCUPATIONS PALÉOLITHIQUES

Ségolène Vandeveldel¹, Jacques Élie Brochier², Jean-Luc Lacour³, Céline Quéré³,
Christophe Petit^{1,4}, Ludovic Slimak⁵

¹ *Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn) – CNRS : UMR7041, Ministère de la Culture, Université Paris Nanterre, Université Panthéon-Sorbonne – MSH Mondes - France*
² *Maison méditerranéenne des Sciences de l'Homme – CNRS-UMR7269, Université Aix-Marseille – France*

³ *CEA Saclay (CEA) – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives – France*
⁴ *Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne (UP1) – France*

⁵ *Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES) – Université Toulouse 2, CNRS-UMR5608 – Maison de la Recherche - France*

L'étude des sites préhistoriques contenus dans des remplissages karstiques implique de travailler avec différentes échelles temporelles qui s'articulent entre elles : une modélisation bayésienne intégrant plusieurs datations radiométriques d'une même couche peut

permettre d'estimer, suivant le matériel daté, la durée (d1) de formation d'une couche ou la durée (d2) de la succession des occupations dans cette couche ; la seconde (d2) étant nécessairement comprise dans la première (d1). La résolution temporelle est alors dépendante des méthodes de datation radiométrique et se situe souvent à l'échelle méso-chronologique (centennale), voire macro-chronologique (millénaire). Une approche micro-chronologique telle que la fuliginochronologie des carbonates (étude de la succession des films de suie piégés dans les concrétions) offre quant à elle accès aux échelles de temps plus fines. En effet, les spéléothèmes sont un exemple d'archives à très haute résolution temporelle présentant potentiellement de longs enregistrements des paléo-environnements mais aussi des activités humaines. Lorsqu'ils sont constitués de doublets annuels, il devient possible d'établir des micro-chronologies fines (résolution subannuelle).

Sur le site paléolithique de la Grotte Mandrin (Drôme), de tels doublets ont été identifiés grâce au croisement de la pétrographie et des analyses en spectroscopie sur plasma induit par laser (LIBS). L'étude des encroûtements fuligineux du site a ainsi permis de reconstituer la chronique des occupations humaines pour chaque niveau archéologique avec une résolution annuelle. La durée pendant laquelle les occupations se sont succédées a pu être estimée pour chaque couche archéologique grâce au décompte des lamines de croissance des carbonates.

La modélisation chronologique bayésienne des dates radiocarbone issues de matériel archéologique provenant de la partie supérieure de la stratigraphie de la Grotte Mandrin ne révèle pas de hiatus ; le site semblerait ainsi occupé de façon continue d'environ 58 à 42 ka cal. BP. Par ailleurs, la fuliginochronologie, qui s'affranchit du flou statistique inhérent aux datations radiométriques, révèle au contraire des durées d'occupation du site incompatibles avec une continuité d'occupation sur 16 000 ans. Elle permet également d'identifier des continuités d'occupation entre certaines couches archéologiques. La combinaison des différentes méthodes (datations radiométriques, modélisation bayésienne et fuliginochronologie) permet ainsi de révéler et de replacer dans le temps les continuités et les ruptures dans les occupations : en tenant compte des durées d'occupation et des continuités identifiées, des hiatus de plusieurs centaines ou milliers d'années peuvent apparaître, là où ils étaient invisibles avec la seule modélisation bayésienne des dates radiométriques.

En conciliant les différentes méthodes d'approche du temps, il devient ainsi possible d'affiner la chronologie des occupations sur un site par l'intégration de nouvelles informations a priori sur les hiatus et les durées, tirées de l'étude des encroûtements fuligineux. Ce croisement de méthodes permet d'asseoir le contexte chronologique des évolutions biologiques et des changements culturels des sociétés occupant la Grotte Mandrin à la transition entre Paléolithiques moyen et supérieur.

Mots-Clés: temporalités, micro, chronologie, datations radiométriques, modélisation bayésienne, chronologie, Paléolithique, résolution annuelle

CHRONOLOGIE DE L'ENCEINTE ROMAINE DU MANS : NOUVELLES DATATIONS OSL, ARCHÉOMAGNÉTIQUES ET RADIOCARBONE

Gwenaél Hervé^{1,2,3}, Hugo Meunier^{4,5}, Ghofrane Ben Aissa², Pierre Guibert²,
Martial Monteil⁶, Philippe Dufresne^{2,3}, Philippe Lanos^{2,3},
Christine Oberlin⁷

¹ *Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement [Gif-sur-Yvette] – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8212, CEA :DRF/LSCE, Université Paris-Saclay, Institut National des Sciences de l'Univers, CNRS– France*

² *IRAMAT-CRP2A – CNRS : UMR5060, Université Bordeaux Montaigne – France*

³ *Géosciences Rennes – Université de Rennes 1, Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, CNRS-UMR6118 – France*

⁴ *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – Le Mans Université, CNRS-UMR6566 – France*

⁵ *Service Archéologie, – Laval – France*

⁶ *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – CNRS-UMR6566, Université de Nantes – France*

⁷ *Archéologie et Archéométrie – CNRS-UMR5138, Université Claude Bernard Lyon 1, Université Lumière - Lyon 2 – France*

Le contexte de la construction des enceintes urbaines de l'Antiquité tardive en Gaule est très débattu depuis plusieurs décennies. Au Mans, il est généralement avancé que l'enceinte, l'une des mieux préservées de l'Empire romain, a été édifiée dans le dernier quart du III^e siècle ap. J.-C. Mais cette estimation reste mal documentée et un nouveau programme de datations chronométriques a été mené en 2018-2020 dans le cadre d'un Projet collectif de recherche.

L'étude s'est focalisée sur le secteur de l'hôtel de ville où la chronologie relative du rempart et de différents vestiges attenants est bien caractérisée par l'archéologie du bâti. Sur l'enceinte, les prélèvements ont été effectués, d'une part sur les mortiers avec 4 datations radiocarbone sur charbons de bois et 6 datations par luminescence stimulée optiquement monograin (SG-OSL), et d'autre part sur des assises de briques situées à la base de la courtine avec deux datations OSL standard et une datation archéomagnétique sur un lot de 104 briques. Les quatre ensembles de datations convergent vers une construction de l'enceinte dans le courant du IV^e siècle ap. J.-C., écartant en outre la possibilité d'un remploi des briques. Les datations chronométriques concordent avec le rare mobilier (céramique d'Argonne et monnaie de Crispus) retrouvé au contact du soubassement de l'enceinte. Afin de contraindre chronologiquement la construction de l'édifice, 26 datations ¹⁴C et 6 OSL sur mortiers ont aussi été réalisées sur les phases d'occupation antérieures à l'enceinte de l'âge du Fer et Haut-Empire et celles postérieures (Moyen Âge). L'intégration de l'ensemble des données chronologiques par modélisation bayésienne date l'édification de l'enceinte entre 300 et 420 ap. J.-C. à 95 % de confiance. Ce résultat

exclut clairement une construction en lien direct avec les crises politiques et économiques que connaît l'Empire à la fin du III^e siècle.

Mots-Clés: datation, enceinte romaine, luminescence, archéomagnétisme, radiocarbone, modélisation chronologique, Le Mans

L'AQUEDUC ROMAIN DU GIER À LYON : UN CAS D'ÉCOLE POUR UNE DATATION PLURIDISCIPLINAIRE

Aldo Borlenghi¹, Catherine Coquide², Jean-Claude Lefevre¹, Christine Oberlin¹

¹ *Archéologie et Archéométrie UMR5138 – CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, Université Lumière - Lyon 2 – France*

² *INRAP – UMR 5138 – France*

L'aqueduc du Gier, long de 86 km, est un des quatre aqueducs qui alimentaient la colonie romaine de Lugdunum (Lyon). Sa datation par l'épigraphie et l'archéologie n'avait pas permis de déterminer une période précise de datation entre la fin du premier siècle avant J.C. et le deuxième siècle après J.C.. L'apport de l'archéométrie par différentes méthodes de datation (radiocarbone, archéomagnétisme et dendrochronologie) sur plusieurs secteurs de fouilles couplée à une approche statistique bayésienne reprenant les données épigraphiques (Chronomodel) a permis de préciser la fourchette chronologique. Cette datation apporte une meilleure compréhension sur le développement urbain de la ville antique sur la colline de Fourvière.

Mots-Clés: Aqueduc, ¹⁴C, archéomagnétisme, dendrochronologie

LA MODÉLISATION BAYÉSIENNE COMME NOUVELLE APPROCHE DU CADRE CHRONOLOGIQUE DE L'OPPIDUM DE BIBRACTE : L'APPORT DU LOGICIEL CHRONOMODEL

Anaïs Lachambre^{1,2}, Peter Barta³, Philippe Lanos⁴

¹ *Laboratoire Chrono-environnement - UFC (UMR 6249) – Université de Franche-Comté – France*

² *Bibracte – Centre Archéologique Européen de Bibracte – France*

³ *Department of Archaeology, Faculty of Arts Comenius University in Bratislava Gondova 2, Bratislava – Slovaquie*

⁴ *UMR 6034 Archéosciences Bordeaux, Université Bordeaux Montaigne et UMR 6118 Géosciences - Rennes, Université de Rennes 1 – France*

Bibracte, situé sur le mont Beuvray (Bourgogne, France) est l'un des sites les plus importants pour l'étude de la protohistoire européenne. Les recherches effectuées depuis 1984 - date de la reprise des fouilles sur l'oppidum - ont conduit à une augmentation significative des données chronologiques relatives à la période d'occupation principale du site. Elles renouvellent nos connaissances sur les étapes d'émergence, de développement et d'abandon de la ville gauloise.

Néanmoins, une difficulté majeure réside dans la diversité des données et leur caractère non continu : des catégories d'artefacts avec leur propre typochronologie et leurs propres références temporelles (céramiques, amphores, monnaies, éléments de parures, etc.) ; des données

chrono-stratigraphiques (observations de terrain) ou encore des données archéométriques (dendrochronologie, archéomagnétisme, radiocarbone).

L'affinement du cadre chronologique de l'oppidum de Bibracte nécessite donc de combiner ces différentes sources d'information entre elles et d'en effectuer la synthèse. La première étape passe par l'établissement d'un protocole d'analyse adapté, fondé sur la mise en œuvre de méthodes statistiques multivariées (analyse factorielle des correspondances, classification ascendante hiérarchique, etc.). Ce protocole a été conçu de manière à distinguer la succession chronologique d'une centaine d'ensembles de mobiliers - issus de contextes bien stratifiés du site (par exemple : fosses, caves, couches scellées) via leur sériation. Cette dernière est basée sur la confrontation de différents critères, principalement basés sur certaines caractéristiques typologiques des diverses catégories d'objets.

La seconde étape - facilitée par la prise en compte de données archéométriques et chrono-stratigraphiques - consiste à compléter et à exploiter ce processus de sériation, en construisant des modèles chronologiques fondés sur la mise en œuvre de la statistique bayésienne au travers du logiciel " ChronoModel ". En offrant la possibilité de croiser divers types d'informations archéologiques, ce logiciel permet en outre de révéler les sources de variabilité et d'incertitude des dates et d'estimer le début, la fin et la durée de "phases" chronologiques. En définitive, les résultats issus de ces traitements montrent le potentiel - mais aussi les questionnements - relatifs à cette approche pour les études chronologiques en archéologie.

Mots-Clés: Bibracte, oppidum, chronologie, sériation, statistiques bayésiennes, modélisation chronologique

**ANALYSE ET DATATION D'UNE ANCRE EN FER DÉCOUVERTE AU
LARGE DE LA GRANDE-MOTTE (34) [S3B_P01]**

Emmanuelle Delqué-Kolic¹, Sébastien Berthaut-Clarac², Emmanuel Nantet³,
Stéphanie Leroy⁴, Marion Perron¹, Pierre Adam⁵,
Philippe Schaeffer⁵, Céline Kerfant⁶

¹ *Laboratoire de Mesure du Carbone 14 - LMC14/LSCE (CEA, CNRS, IRD, IRSN, Ministère de la Culture) – UMR8212 – France*

² *Centre de Recherche sur les Sociétés et Environnements en Méditerranée (CRESEM) UR7397, Université de Perpignan Via Domitia (UPVD) – France*

³ *University of Haifa, Department of Maritime Civilizations, The Leon Recanati Institute for Maritime Studies, Laboratory for Nautical Archaeology and History, Associated member CREAAH UMR 6566 – Israël*

⁴ *Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération LMC-IRAMAT UMR5060/NIMBE UMR3685. CEA Saclay - Gif-sur-Yvette – UMR 5060 IRAMAT – France*

⁵ *Université de Strasbourg, CNRS, Institut de Chimie de Strasbourg UMR7177 – France*
⁶ *Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), 43007 Tarragona and Universitat Rovira i Virgili, Departament d'Història i Història de l'Art, 43002 Tarragona – Espagne*

En 2018, deux ancras en fer ont été découvertes dans la baie d'Aigues-Mortes lors de prospections magnétiques. Même si leur typologie laissait supposer une attribution antique, ces ancras, de par leurs dimensions exceptionnelles et en l'absence de tout contexte archéologique, méritaient d'être étudiées plus avant.

L'anneau d'une des ancras a pu être découpé et a fait l'objet de deux datations radiocarbone. Des observations métallographiques et des analyses chimiques inclusionnaires de l'alliage ferreux ont été menées au préalable afin d'évaluer la teneur en carbone du métal, son hétérogénéité et les possibilités de contaminations. Ces analyses ont également permis d'avancer quelques hypothèses quant à la fabrication de l'objet lui-même. Par ailleurs, l'étude botanique et chimique des résidus fibreux découverts sous l'épaisse couche de concrétions a mis en évidence les restes d'une emboudinure et apporté quelques éléments d'informations quant à sa nature.

Les résultats d'analyses et les datations radiocarbone réalisées sur le fer et les restes d'emboudinure seront présentés et commentés au regard des connaissances disponibles pour ces éléments de navigation en Méditerranée dans l'Antiquité.

Mots-Clés: radiocarbone, fer, archéologie sous marine, Antiquité

LES ISOTOPES DU CARBONE, ^{14}C ET $\delta^{13}\text{C}$, POUR DATER ET IDENTIFIER LES PROCÉDÉS DE SYNTHÈSE DU BLANC DE PLOMB [S3B_P02]

Cyrielle Messenger¹, Lucile Beck¹, Ingrid Caffy¹, Marion Perron¹,
Emmanuelle Delqué-Kolic¹, Jean-Pascal Dumoulin¹, Christophe Moreau¹,
Dominique Blamart², Patricia Richard²

¹ *Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LMC14) (LMC14-LSCE) – CEA, CNRS-UMR8212, Institut de recherche pour le développement, UR0000, IRSN, Ministère de la Culture – France*

² *Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, Université Paris-Saclay – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), CEA, CNRS-UMR8212 – France*

Le blanc de plomb est le principal pigment blanc utilisé en peinture depuis l'antiquité jusqu'à l'interdiction de sa commercialisation au tout début du 20^{ème} siècle. Il est constitué d'un mélange de deux carbonates de plomb, la cérusite et l'hydrocérusite, synthétisés à partir de plomb métallique et de vinaigre dans un environnement en fermentation naturelle comme du fumier de cheval ou de la tannée. La lame de plomb est corrodée par les vapeurs de vinaigre pour former des acétates de plomb et l'environnement en fermentation fournit le CO_2 nécessaire à leur transformation en carbonates de plomb (Gonzalez et al., 2019). Cette recette persiste jusqu'au 19^{ème} siècle puis perd sa prédominance au profit de nouveaux procédés de synthèse, moins coûteux et permettant d'obtenir de meilleurs rendements. Ainsi, le fumier de cheval est remplacé par d'autres sources de CO_2 telles que la combustion de charbon ou d'hydrocarbure, la calcination de carbonates de calcium, ou bien l'utilisation de certains composés chimiques comme les bicarbonates de sodium (Villon et Guichard, 1898-1902 ; Prego, 2005).

Lors de la synthèse du blanc de plomb, les différents réactifs et, en particulier la source en CO_2 , fournissent au pigment sa signature isotopique en ^{14}C et ^{13}C . La mesure ^{14}C permet d'une part de discriminer les procédés de fabrication du blanc de plomb selon la nature organique ou fossile de la source de CO_2 et d'autre part, de dater de manière absolue les pigments produits par corrosion du plomb en milieu de fermentation naturelle (Beck et al., 2019 ; Beck et al., 2020). En outre, nous proposons d'utiliser les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ pour identifier plus précisément les composés à l'origine du CO_2 . On montre ainsi qu'il est possible de déterminer la source de carbone pour les procédés anciens comme pour les procédés industriels développés au cours du 19^{ème} siècle.

Ainsi, l'étude des isotopes du carbone du blanc de plomb revêt un double intérêt, à la fois pour dater et authentifier des œuvres picturales et pour mieux comprendre l'évolution des méthodes de fabrication de ce pigment produit sur plus de 25 siècles.

Mots-Clés: blanc de plomb, datation radiocarbone, SMA, isotope du carbone ^{14}C et ^{13}C

ÉTAT DE L'ART DES DIFFÉRENTS MATÉRIAUX DU PATRIMOINE CULTUREL DATÉS AU LMC14 [S3B_P03]

Ingrid Caffy¹, Jean-Pascal Dumoulin¹, Emmanuelle Delqué-Količ¹, Christophe Moreau¹,
Marion Perron¹, Marc Sieudat¹, Bruno Thellier¹, Stéphane Hain¹, Charlotte Van Hove¹,
Lucile Beck¹

¹ *Laboratoire de mesure du carbone 14 – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DSM/LSCE, IRSN, Ministère de la Culture, CNRS-UMS2572, IRD – France*

Le Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LMC14) est une Plateforme Nationale créé en 2003 et dédié à la mesure du radiocarbone pour les institutions de recherche suivantes : le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), l'Institut de recherche pour le développement (IRD), l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et le Ministère de la culture (MC). La Plateforme comprend des laboratoires de chimie pour la préparation des échantillons et un spectromètre de masse par accélérateur (SMA), appelé ARTEMIS, pour la mesure des isotopes du carbone. Depuis sa création, le LMC14 a mesuré plus de 60 000 échantillons. Au fil des années, nous avons amélioré et fait évoluer nos protocoles afin d'élargir la gamme des échantillons datables. Divers types d'échantillons bruts sont préparés et mesurés comme les matières organiques, les carbonates, le carbone inorganique dissous (CID) dans l'eau (Dumoulin et al., 2013), les alliages ferreux (Leroy et al., 2015) ou plus récemment le blanc de plomb (Beck et al., 2019) ou les oxalates de calcium (Dumoulin et al 2020). Dans ce poster nous présenterons ces différents protocoles en illustrant avec des cas particuliers (cire de statues, toiles de tableaux) liés aux études et collaborations réalisées ces dernières années. Nous proposerons également des conseils pour les prélèvements in situ d'échantillons précieux de natures variées.

Mots-Clés: Datation, Échantillons, laboratoire

FROM POLLEN AND CHARCOAL TO 3D RECONSTRUCTION OF PLANTS AROUND HUMAN SETTLEMENTS: A METHOD UNDER DEVELOPMENT

[S₃B_P₀₄]

Enora Maguet^{1,2}, Chantal Leroyer¹, Jean-Baptiste Barreau^{1,3}, Marie-Yvane Daire¹,
Philippe Dufresne⁴

¹ UMR 6566 CReAAH - Archéosciences – Ministère de la Culture – France

² EVEHA (Etudes et valorisations archéologiques) – entreprise privée – France

³ Insa de Rennes – IRISA – France

⁴ Géosciences – Université de Rennes I – France

Archaeobotanical data remain difficult to understand, especially for non-specialists, as their results are still disseminated using complex diagram and because of the non-linear relationship between pollen assemblages and past vegetation. Fortunately, we now have quantitative pollen-based models such as the Landscape Reconstruction Algorithm that provide estimates of vegetation composition.

Likewise, 3D technologies strongly spread in various research fields, forming now an essential key for restitution, exploration and conservation of archaeological data. It seems to be particularly suitable for the representation of palaeoenvironmental data and specifically adapted to the cross-disciplinary approach. Hence this project of multiscale 3D rendering of ancient landscapes from Late Glacial to nowadays, in the Armorican massif and the Paris basin. Inside those areas, we selected two specific zones for our first methodological attempts, where archaeobotanical data were already available: the Paimpont forest (4 palynological cores and 10 anthracological assemblages) and the Marne valley (numerous palynological cores and a quantitative estimation based on REVEALS model).

This project aims to develop a method to:

- a) spatialize palynological and anthracological data within a more or less extended radius around human settlements. The objective is to move from an assemblage that is identical in all points to a distribution that varies in space according to multiple geomorphological, pedological and anthropic parameters. More precisely, we are working on a method to compute the interpolated results from the different cores, creating iso-pollen maps for different taxa (or groups of taxa) that consider the previously cited parameters, and then to synthesize this multi-layer information into a single estimate of the number of plants for each species within each map division (georeferenced polygons).
- b) implement the vegetation (herbs, mosses and trees), in a realistic 3D virtual environment: the ground reconstruction is based on a digital terrain model (DTM), converted into a 3D mesh by a Poisson Surface Reconstruction plugin. Technically, testing popular

3D software led us to consider working with Unreal Engine 5. Regarding the vegetation placement, existing attempts at 3D landscape simulation often differ in their choices: plant libraries VS plant factories, scripted VS manual implementation methods, continuous VS discrete values (different types of plant ecosystems).

So far, we conducted on our first area (Paimpont) a preliminary work of data completion, whose goal is to allow us the application of the LRA by reinforcing the corpus with 5 cores located in the 50 kilometers round, and with robust age-depth models for each core. Because we did not have a sufficient number of radiocarbon dates - which Mazier et al. (2012) estimate to be 3 per continuous sedimentary profile - we conducted a comparison between several dating methods (classical and bayésien) and successfully obtained consistent age-depth models for almost all samples, and even revise one of the previously established models.

Mots-Clés: archaeobotany, anthropisation, 3D modelling, age, depth modelling, Landscape Reconstruction Algorithm

LE TEXTILE, UN MARQUEUR CHRONOLOGIQUE POUR L'ÉGYPTE ANCIENNE. MÉTHODOLOGIE D'EXTRACTION ET DE CARACTÉRISATION POUR LA DATATION RADIOCARBONE [S₃B_P₀₆]

Marie Ferrant^{1,2}, Ludovic Bellot-Gurlet¹, Anita Quiles², Céline Paris¹,
Aline Percot¹, Emmanuelle Delqué-Kolic³, Roberta Cortopassi⁴

¹ MONARIS UMR8233 SU-CNRS – Sorbonne Université, CNRS-UMR8233 – France

² Institut français d'archéologie orientale du Caire – Égypte

³ Laboratoire de Mesure du Carbone 14 - LMC14/LSCE (CEA, CNRS, IRD, IRSN, Ministère de la Culture) – UMR8212 – France

⁴ Musée du Louvre – Ministère de la Culture – France

Les textiles sont abondamment retrouvés sur les chantiers de fouilles égyptiens et souvent dans de bons états de conservation, du fait du climat particulièrement aride du pays. Selon les usages auxquels ils sont associés, différents matériaux organiques exogènes sont susceptibles d'y être retrouvés imprégnés (baumes de momification, matériaux d'étanchéification, teintures...).

Ces matériaux peuvent parfois s'avérer "contaminants" pour la datation ¹⁴C, comme par exemple le bitume, à base de carbone fossile, qui vieillira systématiquement les échantillons s'il n'est pas extrait en amont.

Le travail de recherche présenté, ayant pour finalité la datation ¹⁴C du textile, vise à développer une approche inédite de caractérisation des matériaux et de datation par le radiocarbone, de façon diachronique et sur l'ensemble du territoire égyptien, afin de

pouvoir intégrer ce matériau dans des modèles chronologiques. Au-delà, il cherche à restituer des pratiques techniques liées à l'usage de textiles en Égypte, afin d'évaluer des critères précis de représentativité archéologique pour chaque textile étudié.

Le développement analytique s'articule en quatre temps. Une première étude non destructive du textile par spectroscopie infrarouge (ATR-IR) permettra de diagnostiquer la présence de matières organiques à extraire. Un protocole d'extraction par solvants organiques en plusieurs étapes est ensuite nécessaire pour solubiliser l'ensemble des matériaux organiques susceptibles d'être "contaminants". Une caractérisation moléculaire, combinant FTIR et chromatographie sur couche mince (CCM) documentera la nature des matériaux imprégnés tandis que la datation ^{14}C du textile propre pourra finalement être réalisée.

Dans cette communication, un corpus de textiles conservés au Département des Antiquités Égyptiennes (Musée du Louvre) sera étudié. L'ATR-IR permettra de diagnostiquer l'imprégnation des textiles. Après extractions, de premières datations seront réalisées sur des échantillons textiles jusqu'ici non datés et peu documentés et nous montrerons comment la CCM sur fractions organiques extraites peut permettre de détecter les contaminants fossiles imprégnés sur les textiles archéologiques. Nous pourrons ensuite conclure sur les nouvelles perspectives offertes par ce protocole intégré d'étude archéométrique de textiles anciens.

Mots-Clés : ATR, IR, textile, CCM, Datation radiocarbone, Egypte Ancienne

THÈME 3

SESSION 3C

IMAGER LES MILIEUX : GÉOPHYSIQUE, IMAGERIE HAUTE RÉSOLUTION, ANALYSE 3D



COORDINATEURS : GUILLAUME HULIN, STÉPHANE JAILLET, CARINE CALASTRENC, MURIELLE LEROY, FRANÇOIS LÉVÊQUE, VIVIEN MATHÉ, PATRICIA WILS

Dès les premiers croquis de sites archéologiques, dès les premières photos en cours de fouille, on a cherché à « imager les milieux » autant pour documenter les travaux scientifiques que pour proposer des reconstitutions du passé. L'arrivée et la diversification de technologies d'investigation non-invasives ont permis de renouveler en profondeur les outils de représentation et d'analyse des milieux. Les relevés par LiDAR aéroporté permettent d'analyser finement la topographie sur des espaces parfois considérables ou peu accessibles. La photogrammétrie et la lasergrammétrie terrestre permettent de documenter à macro-échelle et à haute résolution les sites investigués. Les techniques de télédétection (imagerie multi/hyperspectrale, infrarouge...) et de géophysique permettent d'imager les sols et les sous-sol en accompagnement des projets archéologiques. Enfin, à l'échelle de l'objet, des progrès significatifs en imagerie issue du monde médical permettent d'atteindre un niveau de résolution tel qu'il devient dorénavant possible de réaliser une fouille virtuelle sans toucher à l'objet.

Cette session, essentiellement centrée sur les outils de l'imagerie (depuis l'échelle régionale jusqu'à l'objet) se veut accueillir toute contribution portant sur ces approches méthodologiques toujours en progression et de plus en plus présente dans les projets archéologiques. Les cas d'études comme les développements méthodologiques seront les bienvenus.

Mots-Clés : Imagerie, géophysique, télédétection, LiDAR, photogrammétrie, analyses 3D, tomographie, SIG

DISCRIMINATION SPATIALE D'UNE ENCEINTE FOSSOYÉE NÉOLITHIQUE POUR LA LOCALISATION D'UN NIVEAU D'OCCUPATION : CARTE DE POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE

Guillaume Bruniaux¹, Marylise Onfray², Grégory Dandurand³,
Francois Lévêque¹, Vivien Mathé¹, Ard Vincent⁴

¹ Littoral ENvironnement et Sociétés - Université de La Rochelle, CNRS-UMR7266 – France

² Trajectoires - Université Panthéon-Sorbonne, CNRS-UMR8215 – France

³ Institut national de recherches archéologiques préventives, Centre archéologique de Poitiers – UMR 5608 - TRACES – France

⁴ Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés - Université Toulouse - Jean Jaurès, CNRS-UMR5608 – France

Le site néolithique du Pontet (Saint-Nazaire-sur-Charente, Charente-Maritime) est implanté sur un plateau calcaire et accolé à une paléo-falaise formant le versant d'une petite vallée. Il est localisé à environ 5 km de l'estuaire de la Charente. Il a été découvert en 2009 par E. Bouchet sur des clichés aériens montrant la présence d'un ensemble de quatre fossés parallèles, discontinus et curvilignes attribués au Néolithique récent. Son étude est intégrée au sein du PCR "Dynamique d'occupation et d'exploitation du sel dans les golfes charentais, du Néolithique à l'Age du Fer" et à l'ANR MONUMEN.

Une campagne de prospection magnétique à haute résolution a été effectuée en 2015 sur l'ensemble du site (5 ha) en employant un protocole original de cartographie magnétique. Elle a précisé le tracé des fossés de l'enceinte et met en évidence un autre ensemble de fossés plus à l'intérieur, une imposante entrée avec des "pinces de crabe", des fosses et des trous de poteau. Ces données ont été complétées par des cartes et des sections de résistivité électrique. Sur la base de ces informations, un sondage a été réalisé en 2016 sur une surface de 400 m² au niveau de quatre anomalies magnétiques circulaires et alignées, qui laissent supposer la présence de quatre fosses néolithiques.

La fouille a permis de comprendre les structures à l'origine de ces quatre anomalies magnétiques. Elles correspondent à des dépressions naturelles du substrat calcaire ayant piégées et préservées un niveau d'occupation néolithique. Pour localiser ce niveau d'occupation sur l'ensemble du site, un modèle de l'épaisseur de sol recouvrant le substrat a été utilisé pour identifier les zones favorables à sa conservation : ce modèle correspond à une carte du potentiel archéologique du site.

En 2020, une nouvelle campagne de fouille a été lancée sur le site du Pontet. Quatre fosses pédologiques ont été implantées sur des secteurs particuliers du site. L'objectif étant de confronter la carte du potentiel archéologique (modèle de l'épaisseur de sol) aux observations de terrain et d'effectuer des analyses micromorphologiques sur ce niveau d'occupation. Ce poster présente les résultats de la confrontation entre le modèle et les

observations de terrain et les premiers résultats des logs des fosses pédologiques.

Mots-Clés : prospection magnétique, prospection électrique, micromorphologie, sondage, Néolithique, enceinte fossoyée

INSPECTER LES ZONES D'ALTITUDE. DÉVELOPPEMENT D'UNE PROCÉDURE MULTI-SOURCES POUR LA PROSPECTION ARCHÉOLOGIQUE DES TERRAINS D'ALTITUDE

Carine Calastrenc^{1,2}, François Baleux³, Nicolas Poirier³, Antoine Laurent³,
Magali Philippe⁴, Christine Rendu²

¹ *Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES) – CNRS-UMR5608, Université Toulouse le Mirail - Toulouse II – France*

² *France, Amériques, Espagne – Sociétés, pouvoirs, acteurs – Université Toulouse - Jean Jaurès, CNRS-UMR5136 – France*

³ *Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – École des Hautes Études en Sciences Sociales, Université Toulouse - Jean Jaurès, Ministère de la Culture et de la Communication, CNRS-UMR5608 – France*

⁴ *Géographie de l'environnement – CNRS-UMR5602, Université Toulouse - Jean Jaurès – France*

Longtemps pensés comme immuables, les sociétés, les environnements et les systèmes d'exploitation des espaces montagnards ont été soustraits au regard archéologique. Il aura fallu plusieurs décennies d'interactions et de dialogue entre les sciences humaines et les sciences de la nature, et une somme d'avancées méthodologiques et techniques, pour que ces espaces soient envisagés autrement. Soumis aujourd'hui à des questionnements interdisciplinaires intégrés, ils révèlent, peu à peu, non pas une mais des histoires, beaucoup plus longues et complexes qu'on ne l'imaginait.

Force est de constater que les différentes équipes de recherche impliquées dans ces travaux se trouvent confrontées au problème de l'acquisition de l'information primaire. Préalable indispensable à toute recherche en archéologie, la prospection en haute montagne a des spécificités et des enjeux particuliers.

- Comment dépasser le cadre de la monographie d'un pâturage ou d'une montagne, pour aborder archéologiquement de plus grandes surfaces et ainsi pouvoir développer une réelle approche comparée des trajectoires des territoires d'altitude à l'échelle d'un massif ou d'une montagne ?

- Comment disposer d'un référentiel statistiquement significatif et solide qui soit susceptible de comprendre à la fois les structures visibles en surface et celles recouvertes par la végétation, les colluvionnements ou encore arasées par l'activité humaine et épierrées ?

Accéder à une information archéologique qui soit la plus complète possible dans un temps relativement court est l'enjeu de la phase de prospection en milieu d'altitude. Les nouvelles avancées technologiques, la diversification et la miniaturisation des capteurs, la démocratisation et le développement des drones aériens ainsi que les progrès en ergonomie informatique des logiciels de traitement de données permettent de réfléchir à la mise en œuvre de nouvelles procédures d'acquisition de l'information primaire, de traitement et de fusion des données pour maximiser la détection des vestiges archéologiques en milieux d'altitude.

Depuis 2018, c'est ce que propose de faire le programme de recherche TAHMM (Télé-détection Archéologique en Haute et Moyenne Montagne) : <https://www.tahmm.fr/>. Il se centre sur deux zones ateliers principales, toutes deux situées en région Occitanie (Enveitg et Aulon) et deux terrains secondaires en Nouvelle Aquitaine (Estaing et Laruns). Son objectif est de croiser, sur une même zone d'étude, plusieurs sources, à haute, voire très haute résolution spatiale (taille du pixel), spectrale (nombre de bandes spectrales), radiométrique (sensibilité du capteur) et temporelle (répétitivité des acquisitions) : télé-détection par satellite et par drone, lidar par drone, photogrammétrie par drone et satellite, thermographie aéroportée par drone, géophysique (géoradar, capteur magnétique) et analyse chimique des sols par fluorescence-X sont utilisés à titre exploratoire. Cette communication présentera les premiers résultats de ces recherches.

Mots-Clés : Archéologie, géophysique, thermographie, photogrammétrie, drone, fluorescence X, analyse chimique, montagne, télé-détection

JUBLAINS, UNE CAPITALE DE CITÉ ANTIQUE RÉVÉLÉE PAR LE GÉORADAR

Gabriel Caraire¹, Anne Bocquet²

¹ *Analyse Géophysique Conseil –France*

² *Département de la Mayenne –France*

Jublains est une modeste capitale de cité antique de l'ouest de la Gaule (actuel département de la Mayenne). La superficie de la ville (23 hectares) et son organisation (trame viaire et positionnement des monuments publics) sont essentiellement connus par des prospections de résistivité électrique menées dans les années 1990 par Michel Martinaud et en 2011 par la société Geocarta. Une fouille programmée débutée en 2010 dans un secteur central de la ville a soulevé des problématiques liées à l'emplacement d'une rue principale et a conduit en 2018 à réaliser une prospection géoradar sur 1 hectare. La méthodologie utilisée, à savoir une maille d'acquisition de 14 cm² en antenne multi-

canaux de 200 mhz, a permis, pour la première fois, une vision 3D des vestiges enfouis. La qualité et la précision des résultats obtenus ont amené à réaliser une prospection beaucoup plus large sur 8 hectares de la ville en 2019. À la première lecture des cartes, c'est une nouvelle ville qui apparaît : des plans d'habitats se dessinent nettement avec une restitution de l'élévation conservée, de nouveaux monuments publics apparaissent et l'organisation du système viaire est à réinterroger.

Mots-Clés : Géoradar, 3d, Agglomération antique, Jublains

COMPARAISON DE DONNÉES GÉOPHYSIQUES ET MULTISPECTRALES : ANALYSE D'IMAGES SUR LES CAMPS CÉSARIENS AU PIED DE GERGOVIE (PUY-DE-DÔME)

Gabriel Caraire¹, Anne Bocquet²

*¹ Maison des Sciences de l'Homme - Université Clermont Auvergne,
CNRS-USR3550 – France*

*² Institut national de recherches archéologiques préventives, Direction Scientifique et Technique
– France*

³ Laboratoire Chrono-environnement - Université de Franche-Comté : UMR6249 – France

*⁴ Institut national de recherches archéologiques préventives. Centre archéologique de Clermont
– France*

Le projet de recherche archéologique sur les camps militaires césariens installés aux pieds de l'oppidum de Gergovie (2018-2019) visait à renseigner plus précisément l'architecture des deux camps, dont les plans d'ensemble sont essentiellement connus par les observations réalisées au milieu du XIXe s. puis dans les années 30. A cette fin plusieurs méthodes de prospection non-invasives ont été mises en œuvre, géophysiques d'une part et d'imagerie multispectrale haute-résolution d'autre part.

Plusieurs campagnes de prospections géophysiques ont permis de cartographier diverses propriétés magnétiques et électriques des sols, sur les deux sites. Y ont été déployées les méthodes magnétiques, avec des capteurs de type fluxgate, électromagnétique multi-fréquentiel en mode HCP et VCP avec différents écartements de bobines (permettant d'obtenir différentes profondeurs d'investigations) et électrique avec une configuration pôle-pôle et en mode multi-profondeur. Parallèlement, dix survols par drone ont été réalisés, tout au long du cycle phénologique des plantes (de février à juillet 2019), avec un capteur multispectral enregistrant 5 bandes spectrales (du domaine visible au proche infrarouge). En mesurant la réflectance des surfaces, ces campagnes ont permis de cartographier les anomalies phytologiques, indicateurs de la présence de vestiges enfouis. Outre la présentation des principaux résultats obtenus, cette communication propose

de discuter plus particulièrement du croisement des données de prospections électromagnétiques et multispectral par analyse d'images. En effet, dans le cas étudié, la comparaison des cartes de susceptibilité magnétique et de réflectances spectrales permet de mettre en évidence une forte corrélation entre ces deux types de signal. En revanche, la conductivité électrique, habituellement exploitée pour ce type d'analyse croisée, est ici nettement moins corrélée au signal multispectral. La combinaison par traitement d'images des cartes de susceptibilité magnétique et de réflectances spectrales s'est également avérée utile pour synthétiser les informations fournies par ces méthodes de prospection non-invasives. Finalement, l'exploitation de ces deux types de données s'avère complémentaire pour la détection et la caractérisation des anomalies d'origines anthropiques.

Mots-Clés : Imagerie, géophysique, télédétection, multispectral

REGARDS CROISÉS SUR LE SANCTUAIRE DE LA PEYROUSE (SAINT-FÉLIX-DE-VILLADEIX, DORDOGNE) : CONFRONTATION DES DONNÉES GÉOPHYSIQUES ET ARCHÉOLOGIQUES

Juliette Hantrais¹, Vivien Mathé², Pauline Corformat¹, Christian Chevillot³,
Rémy Chapoulie¹, Eneko Hiriart¹

¹ *Université Bordeaux Montaigne – Institut de Recherches sur les Archéomatériaux (IRA-MAT-CRP2A) – CNRS-UMR5060 – France*

² *Université La Rochelle – Littoral, Environnement et Sociétés (LIENSs), UMR 7266 CNRS-La Rochelle Université – France*

³ *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – Le Mans Université, Université de Rennes 1, Université de Rennes, Université de Rennes 2, CNRS-UMR6566, Université de Nantes, Ministère de la culture – France*

Situé sur la commune de Saint-Félix-de-Villadeix (Dordogne), le lieu-dit de La Peyrouse occupe un plateau calcaire entre les vallées de la Louyre et du Caudeau. Découvert en 2014, le site a été identifié comme un habitat ouvert à vocation artisanale et commerciale qui se développe dès le III^e av. J.-C. et perdure jusqu'au Haut Empire. Compte-tenu de son intérêt archéologique, le site fait l'objet depuis 2019 de prospections géophysiques multiméthodes. A l'occasion d'une campagne extensive en prospection magnétique, un enclos quadrangulaire a été mis au jour au cœur de l'agglomération protohistorique et antique.

De nouvelles prospections géophysiques ciblées, combinant méthode magnétique et électrique – cartographie et section - ont été menées dans le cadre d'une thèse intégrée au projet RAPSODIE (Reconnaissance des Agglomérations Protohistoriques du Sud-

Ouest : Développement, Imagerie, Environnement). Les résultats obtenus ont permis de documenter davantage cette structure, en livrant son plan et une première vision verticale des vestiges conservés grâce à une section électrique transversale. Ce bâtiment correspond à un enclos fossoyé quadrangulaire d'environ 25 m de côté, ouvert à l'est, délimitant un espace interne aménagé d'environ 700 m². Sa position topographique, sa morphologie, la probable ouverture à l'est et la présence d'anomalies internes au centre sont autant d'éléments qui laissent présager la nature culturelle de cet édifice.

En 2020, une fouille archéologique a complété cette approche non-destructive en identifiant précisément la source des anomalies magnétiques et électriques. La confrontation des données géophysiques et archéologiques permet ainsi d'appréhender le premier sanctuaire attesté du territoire des Pétrrocres, au cœur d'une agglomération ouverte du III^e s. av. J.-C., un type d'habitat groupé encore mal connu en Europe celtique.

Mots-Clés : Géophysique, prospection magnétique, prospection électrique, fouille archéologique, second âge du Fer, agglomération ouverte

APPORT DE LA TOPOGRAPHIE PAR LIDAR AÉROPORTÉ À LA CARACTÉRISATION VOLUMIQUE ET SPATIALE D'AMAS DE DÉCHETS SIDÉRURGIQUES : L'EXEMPLE DES ATELIERS DE MONTHOLON EN PUISAYE (YONNE)

Margaux Herbrich¹, Marion Berranger², Matthieu Thivet³

¹ Université Burgundy, Dijon, France

² Laboratoire "Métallurgies et Cultures" (LMC-IRAMAT UMR5060) – Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, CNRS-UMR5060 – France

³ Laboratoire Chrono-environnement – CNRS-UMR6249, Université Bourgogne Franche-Comté [COMUE] – France

Parmi les grands districts de production de fer brut connus, la Puisaye (Bourgogne du nord - Yonne et Nièvre) figure parmi les plus importants à l'échelle métropolitaine, si ce n'est à l'échelle européenne. Plus de 2 500 amas de déchets, marquant l'emplacement d'ateliers de réduction du minerai de fer, sont ainsi connus en prospections (Piétal et al., 2012). Les résultats des travaux engagés depuis 2017 dans le cadre d'un Projet Collectif de Recherche, financé par la DRAC Bourgogne-Franche-Comté et le CNRS, ont permis de révéler la continuité de ces activités de production du fer depuis le premier âge du fer jusqu'au second Moyen âge. Pour la période antique, ces amas de déchets se caractérisent par des extensions et des élévations considérables, atteignant parfois 10 m de haut sur plusieurs centaines de mètres carrés, ce qui est un premier témoignage de la production de volumes de déchets et donc de métal considérables. Dans ce cadre, le

recours à la technologie LiDAR s'avérait particulièrement opportune afin de déterminer les volumes des tas encore conservés. Des acquisitions ont été réalisées sur trois secteurs livrant de un à trois amas, à Montholon (Yonne).

L'objectif de cette communication est de présenter les résultats d'un master d'archéologie de l'université de Bourgogne centré sur le traitement et l'exploitation de ces données. L'ensemble de la chaîne de traitement des acquisitions (de l'extraction des données à la production de modèles numériques de terrain) a été réalisée grâce à des logiciels libres (QGIS, CloudCompare, Relief Visualization Toolbox), dont la méthodologie sera détaillée. Les résultats des calculs volumétriques issus des acquisitions LiDAR ont été confrontés à des prélèvements volumiques effectués en stratigraphie afin d'estimer la masse de scorie présente dans chaque amas. À terme, il s'agit de proposer une estimation des quantités de métal produites à partir de l'analyse archéométrique de l'ensemble des déchets. Un autre questionnement concerne l'étude de l'organisation spatiale des accumulations de déchets voire des ateliers.

L'originalité de l'approche permet de préciser pour la première fois, les caractéristiques tridimensionnelles de ces exceptionnels amas de déchets sidérurgiques. Le développement et l'accessibilité des technologies d'acquisitions non-invasives permettent de renouveler les méthodes de représentations et d'analyses de ce type de sites archéologiques. Les acquisitions LiDAR menées à Montholon (Yonne) ont pour but d'évaluer le potentiel d'une telle technologie pour l'étude des ateliers de réduction du minerai de fer, dans l'optique de mener des acquisitions plus extensives sur ces espaces de productions, afin de préciser et comparer les volumes de déchets et de métal produits.

Mots-Clés : Ferrier, LiDAR, Montholon, Puisaye, sidérurgie antique, calcul de volume, organisation spatiale

COMPLÉMENTARITÉ DES TECHNIQUES DE PROSPECTION ÉLECTRIQUE ET CHIMIQUE : LE CAS DE L'ABBAYE SAINT-MAURICE DE CARNOËT

Arthur Laenger¹, Arnaud Martel², François Xavier³, Michel Dabas³,
Joséphine Rouillard⁴, Aline Durand¹

¹ *Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CRéAAH) – CNRS : UMR6566, Université du Maine – France*

² *Institut des molécules et matériaux du Mans – CNRS-UMR6283, Le Mans Université – France*

³ *Geocarta – Geocarta – France*

⁴ *UMR Sisyphe, CNRS – Université Pierre et Marie Curie, Paris, France*

L'abbaye Saint-Maurice de Carnoët, situé à l'est de la commune de Clohars-Carnoët dans le Finistère, est l'un des treize établissements cisterciens bretons, fondée en 1170 par les Cisterciens de l'abbaye de Langonnet. L'abbaye est installée sur la rive droite de la Laïta, accolée à un étang artificiel mis en place par les moines. Elle a fait l'objet d'une étude approfondie, sans toutefois d'opération de fouille archéologique, sous la direction de Joséphine Rouillard en 2018, mobilisant notamment la prospection géophysique. Cette dernière avait pour but de repérer un système de canalisation et de vérifier la présence de bâtiments aujourd'hui disparus, renseignés par les plans du XVIIIe siècle.

La prospection géophysique a été menée sur 12 500 mètres carré de l'enclos monastique, couvrant la majorité des espaces sans couvert végétal en plusieurs espaces. La méthode employée pour cartographier le sous-sol a été celle de la résistivité électrique. Les anomalies repérées ont mis en évidence la présence de nombreux bâtiments inconnus en particulier à proximité de la procure, espace réservé dans le monastère aux activités de production. Un ensemble d'anomalie, à faible distance de l'étang, indique la présence de bâtiments probablement à vocation utilitaire. Un système hydraulique est également repéré dans cet espace.

En 2019, une prospection géochimique a pris place sur la surface de cet ensemble d'anomalie, sur 1 080 mètres carrés, afin d'essayer de caractériser plus avant les structures découvertes. Les prélèvements ont été effectués en surface, après la terre végétale, selon un carroyage d'un mètre de module. Après avoir été séchés et broyés, les échantillons ont été analysés par spectrométrie de fluorescence des rayons X et leur pH a été mesuré. Les données d'analyses ont ensuite été traitées via un système d'information géographique afin d'éditer des cartes de répartitions des éléments chimiques et de pH. Ces données, superposables aux données de la prospection géophysique, rendent possible une analyse plus détaillée du sous-sol. Il apparaît que l'ensemble des structures localisées par la prospection électrique ne sont a priori pas toutes des structures. En effet, les résultats de l'analyse chimique semblent à même de pouvoir distinguer l'implantation de bâtiments d'anomalies géologiques locales. En outre, des éléments spécifiques ont été repérés à l'intérieur des structures, laissant penser que ce bâtiment ait pu être la forge de l'abbaye. L'intérêt de croiser les données issues des deux types de prospections conduit à une meilleure caractérisation des vestiges archéologiques. Si la prospection géophysique est particulièrement efficace pour mettre en évidence les murs, et donc les limites, des structures, son pendant géochimique rend possible de proposer un début de caractérisation en amont de toute opération de fouille.

Mots-Clés : analyse géochimique, prospection géochimique, prospection géophysique, sol, archéologie, caractérisation de structure, méthodologie, EDXRF, SIG

LE DÉFI DU MÉGALITHISME EN 3D : LES IMAGERIES FACE AUX MONUMENTALISMES DU NÉOLITHIQUE (PROJET MONUMEN)

Antoine Laurent¹, Vincent Ard¹, Vivien Mathé²

¹ *Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES) – Université Toulouse 2, CNRS-UMR5608 – France*

² *Littoral ENvironnement et Sociétés [La Rochelle] (LIENSs) – CNRS-UMR7266, Université de La Rochelle - France*

Face à la monumentale mission que représente la compréhension du mégalithisme Atlantique européen, le projet ANR MONUMEN propose un changement de paradigme dans l'échelle d'observation des sites monumentaux en les analysant dans leurs trois dimensions, puis en les intégrant dans une approche territoriale s'appuyant sur une maîtrise des contextes géomorphologiques et environnementaux. Cela se traduit par l'utilisation de multiples outils (photogrammétrie, scanner 3D, Lidar, géophysique, SIG) par un consortium pluridisciplinaire.

Les zones d'étude du projet qui s'étendent des Pyrénées à la Loire offrent une variété d'expression du mégalithisme tant sur le volet funéraire que sur l'habitat lié. Ce sont aux spécialistes de proposer et d'adapter les techniques de numérisation pour les chercheurs afin d'appréhender ce phénomène. L'acquisition 3D implique une adaptation de la méthodologie du travail d'archéologue et un changement du rythme d'enregistrement sur le terrain.

Cette présentation entend aborder les questions du traitement de la donnée 3D au sein du projet MONUMEN au travers de deux exemples de site au profil différent. Le premier symbolise le monde des vivants où la recherche en 3D s'applique à restituer l'enceinte néolithique du Peu à Charmé (16) à l'aide des structures en creux. Le second site est l'allée couverte de Roquefort à Lugasson (33). A l'inverse l'étude de ce site s'attache à analyser le monde funéraire à partir des élévations du mégalithe jusqu'à l'environnement de l'éperon.

Mots-Clés : Acquisition 3D, Mégalithisme, Référentiels communs, Etudes multiscales, Néolithique

PROSPECTION GÉOMAGNÉTIQUE 3D DE LA SALLE DE LA STRUCTURE DE LA GROTTÉ DE BRUNIQUÉL : RELATION SPÉLÉOFACT - FEU

François Lévêque¹, Equipe Bruniquel

¹ Littoral ENvironnement et Sociétés (LIENSs) – Université de La Rochelle,
CNRS-UMR7266 – France

La salle de la structure de la grotte de Bruniquel contient des stalagmites cassées, couchées et agencées (dénommées spéléofacts) délimitant deux formes arrondies. Ces structures, couvrant une surface de l'ordre de 40 m², ont été édifiées il y a plus de 175 000 ans (Jaubert et al., 2016). Des traces de feux avaient déjà été inventoriées dès la première étude du site (Rouzaud et al, 1992). Les résultats d'une première prospection géomagnétique 3D, publiée avec la révélation de l'âge reculé de cette construction humaine en grotte, avaient attesté de l'existence de feux réalisés in situ identifiés par l'anomalie magnétique dipolaire que chacun a engendrée.

Depuis, les prospections géomagnétiques ont été reprises et étendues en modifiant le protocole de manière à s'affranchir totalement de la variation temporelle du champ magnétique. La correction de la variation temporelle par l'enregistrement de celle-ci par un second magnétomètre, nécessairement déporté par rapport à la zone de mesure, est substituée à un enregistrement synchrone par un des capteurs du magnétomètre placé au centre de la zone de mesures, restant fixe le temps d'une station du dispositif. Celui-ci est constitué d'une perche télescopique fixée sur un trépied à l'aide d'une rotule. Une fois la zone accessible couverte par la perche (étendue ou rétractée), une nouvelle station est installée jusqu'à avoir couvert toute la zone ciblée. Un réflecteur laser est solidarisé au capteur mobile. Une station totale détermine, à une cadence de 20 mesures par seconde, la position du réflecteur par poursuite laser. Les points de référence topographique sont relevés avec cette station totale. Celle-ci reste sur la même position pour toutes les stations du trépied pour un même secteur. Les mesures d'intensité du champ magnétique réalisées par le capteur mobile à une cadence de 10 mesures par seconde, sont géoréférencées grâce à ces informations en poste traitement.

Le nuage de points de mesure de l'intensité du champ magnétique ainsi obtenu est intégré au nuage de points de la topographie obtenue par lasergrammétrie (Patrimonio) et par photogrammétrie (P. Mora, Archéotransfert, Archéovision), tous deux produits indépendamment. Grâce à la vectorisation des relevés archéologiques (F. Lacrampe-Cuyaubère, Archéosphère) et leur géoréférencement (X. Muth, Get in Situ), l'information archéologique peut être confrontée aux anomalies magnétiques révélées. Dans l'ensemble, celles-ci sont concordantes avec les observations de terrain. Certaines ne sont pas associées à des indices de feu. Elles feront l'objet de nouvelles études de terrain.

Pour permettre de localiser précisément la position des anomalies sur le terrain, le nuage

est découpé numériquement en sections sériées afin d'extraire des vues du nuage de différentes altitudes et ainsi pouvoir très rapidement observer l'altitude précise d'une anomalie et de sa source potentielle. Ainsi, lors des prochaines études de terrain, une simple tablette permettra de visualiser l'information géomagnétique déjà acquise et de rechercher visuellement, ou avec des capteurs de contact (mesure de susceptibilité ou viscosité magnétique), l'origine des anomalies à partir de la série d'images produite. Les concrétions de calcite étant peu détritiques, il est probable que les porteurs des aimantations se trouvent dans les matériaux argileux.

Mots-Clés : prospection géomagnétique, feu, 3D, grotte préhistorique

ANALYSE PAR LiDAR AÉROPORTÉ DE L'ARTILLERIE LOURDE SUR VOIE FERRÉE DE LA GRANDE GUERRE : UN CAS D'ÉTUDE SUR LES CONTRAINTES GÉOMORPHOLOGIQUES APPLIQUÉES À UN CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE

Robin Perarnau¹, Alain Devos¹, Amélie Quiquerez²

¹ Groupe d'Étude sur les Géomatériaux et Environnements Naturels, Anthropiques et Archéologiques - EA 3795 (GEGENAA) – Université de Reims Champagne-Ardenne : EA3795 – France

² Archéologie, Terre, Histoire, Sociétés [Dijon] (ARTeHiS) – Ministère de la Culture et de la Communication, Université de Bourgogne, CNRS-UMR6298 – France

L'archéologie des conflits et plus particulièrement les polémopaysages de la Grande Guerre font l'objet de nombreuses études depuis une vingtaine d'années. Ces dernières s'inscrivent préférentiellement dans les réseaux de défense de la zone de front, où l'empreinte morphologique révélée par le LiDAR est la plus marquante (tranchées, boyaux, bombturbation, guerre des mines).

En 2018, une campagne LiDAR aéroportée menée sur le massif forestier de la Montagne de Reims (Marne, France) a détectée de nombreux vestiges de la Grande Guerre situées derrière la 4ème position de défense, en arrière de la zone de front. A plus de 18 km du No Man's Land, un réseau d'Artillerie Lourde sur Voie Ferrée (ALVF) utilisé par l'armée française entre 1916 et 1918 se révèle être un cas d'étude exceptionnel permettant d'analyser l'impact des contraintes géomorphologiques et géologiques sur une même structure archéologique.

Par l'utilisation d'une approche pluridisciplinaire, croisant analyse historique, géographique et géomorphologique, l'étude permet d'évaluer l'empreinte sur le paysage d'un réseau ferré complexe (rampe d'accès, voie de rocade, 18 épis de tirs). En effet, le croisement de documents textuels, de plans et de photographies aériennes anciennes aux

données LiDAR, et leur intégration dans un système d'information géographique a permis de mettre en valeur ces vestiges de guerre de manière inédite. Une analyse de la rugosité à partir du modèle numérique de terrain (LRM, Sky View Factor), ainsi qu'une campagne de prospection pédestre en 2019 a montré des différences de morphogénéité particulièrement importantes, montrant une lisibilité morphologique contrastée et dépendant notamment du contexte géomorphologique des structures. Ces dernières mal connues mais révélées par le LiDAR participent à l'empreinte mémorielle de la Grande Guerre au sein d'un massif forestier à forte valeur patrimoniale (Parc Naturel Régional, 3 massifs domaniaux labélisés "forêt d'exception", réserves biologiques, Natura 2000, ZNIEFF). Ces résultats sont le fruit d'un partenariat entre l'Université de Reims Champagne-Ardenne, l'Office National des Forêts et le Parc Naturel Régional de la Montagne de Reims.

Mots-Clés : ALVF, artillerie, Grande Guerre, LiDAR, Montagne de Reims

L'AGGLOMÉRATION ANTIQUE DE SENON-AMEL (MEUSE) : UN LABORATOIRE POUR LA CONFRONTATION DE DONNÉES DE TÉLÉDÉTECTION ET DE FOUILLES SÉDIMENTAIRES

Simon Ritz^{1,2}

¹ *Institut national de recherches archéologiques préventives, centre archéologique de Metz – France*

² *EA 1132 HISCANT-MA – Université de Lorraine : EA1132 – France*

Depuis une quinzaine d'années, l'agglomération antique de Senon-Amel (Meuse) et son environnement proche font l'objet de nouvelles recherches pluridisciplinaires associant des techniques d'investigation non destructives (prospections pédestres, aériennes, géophysiques, LiDAR) et des opérations de fouilles sédimentaires préventives et programmées. La documentation disponible sur l'agglomération et l'espace rural avoisinant rassemble aujourd'hui 33 opérations de fouilles, 220 ha d'imagerie géophysique (électrique, magnétique et géoradar), un relevé LiDAR couvrant une surface d'un peu plus de 13 000 ha, 1 645 clichés aériens et des prospections pédestres documentant 272 points de peuplement datables du second âge du Fer au haut Moyen Âge, répartis sur une superficie de 212 km². Ces données forment le socle méthodologique d'une thèse de doctorat récemment soutenue à l'université de Lorraine (Ritz 2020, vol. 1, p. 117-173). Cette enquête s'est principalement attachée à préciser l'origine et les modalités d'évolution de la forme urbaine de l'agglomération de Senon-Amel, qui se distingue par une configuration bipolaire très originale dans l'urbanisme de Gaule romaine.

Cette communication propose une présentation des principaux apports de l'étude du

cas de Senon-Amel à la méthodologie des approches intégratives. Après avoir exposé le panel des sources disponibles et leurs caractéristiques techniques, on abordera les méthodes formelles mises en œuvre pour procéder à leur traitement. La difficulté consiste à parvenir à croiser efficacement les différentes sources disponibles sur les mêmes espaces : comment, en effet, articuler de manière systématique, dans l'analyse d'un même contexte archéologique, des visions aussi différentes que celles qu'offrent les méthodes de télédétection, extensives mais largement diachroniques, et les données chronostratigraphiques, précises mais ponctuelles ? C'est tout l'enjeu des approches intégratives, dont l'intérêt et la difficulté résident dans la masse et l'hétérogénéité des jeux de données qu'elles mobilisent. Cette démarche de confrontation des sources revêt une importance particulière à Senon-Amel, où de nombreux espaces sont documentés par différentes méthodes d'investigation. On dispose en particulier d'une série de fouilles réalisées sur des parcelles qui avaient préalablement fait l'objet de prospections géophysiques. En dehors de ces aspects techniques, le formalisme méthodologique indispensable à la comparaison de sources hétérogènes fait apparaître des questionnements conceptuels importants. Il nous oblige en effet à analyser en détail la structure de la documentation et à repenser tout le processus de traitement dont elle fait l'objet, selon un objectif central : garantir le maintien d'une cohérence conceptuelle entre les sources, la problématique et les méthodes d'analyse. On évoquera pour finir les options retenues pour la présentation des données, car les méthodes de traitement mises en œuvre à Senon-Amel ont également servi de base à la constitution d'un atlas archéologique numérique, permettant de restituer la masse des données sous une forme homogène.

Ritz 2020 : Ritz S., Senon-Amel (Meuse) : contribution d'une agglomération bipolaire à l'histoire du fait urbain dans le nord-est de la Gaule, du second âge du Fer au haut Moyen Âge, thèse de doctorat, Nancy : Université de Lorraine, 2020, 2 vol., 434 et 319 p. [en ligne : <https://univ-lorraine.academia.edu/SimonRitz/PhD-thesis>]

Mots-Clés : Approches intégratives, télédétection, LiDAR, géophysique, prospections pédestres, prospections aériennes, cartographie multiscalair, SIG, SGBD, archéologie urbaine

ÉVOLUTION ARCHITECTURALE DE LA COMMANDERIE DE JALÈS (ARDÈCHE) À TRAVERS L'APPROCHE GÉOPHYSIQUE [S₃C_P01]

Christophe Benech¹, Lionel Darras¹, Quentin Vitale², Laurent D'agostino³

¹ *Archéorient – CNRS UMR 5133, Université de Lyon, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, France – France*

² *EVEHA (Etudes et valorisations archéologiques) – France*

³ *Atelier d'Archéologie Alpine – France*

La commanderie templière de Jalès, fondée au XII^e siècle, a fait l'objet de 2017 à 2020 d'un programme commun de recherche (PCR) qui a permis de mener une étude interdisciplinaire du bâtiment au cours de son histoire. Située dans le sud de l'Ardèche, à une dizaine de kilomètres de Vallon-Pont-D'Arc, on y retrouve un ensemble conventuel quasi complet, resté dans un environnement relativement bien protégé encore aujourd'hui. Dans ce programme en cours de finalisation, l'étude du bâtiment tient bien évidemment une place majeure : la commanderie a en effet été occupée de manière continue depuis sa fondation, et donc, en constante évolution d'un point de vue architectural et organisationnel, avec en particulier trois phases importantes de remaniement aux XII^e, XIV^e et XVIII^e siècles.

Le projet est divisé en 6 volets d'investigations : histoire/archivistique (gestion de la commanderie et de son territoire), géographie (approches paléo-environnementales et exploitation des terres), architecture, archéologie du bâti, dendrochronologie et géophysique. Concernant ce dernier volet, l'objectif a été d'une part, d'explorer les espaces libres autour du bâtiment principal afin de retrouver les traces d'éléments aujourd'hui disparus (cloître, cimetière, mur d'enceinte...), et d'autre part, d'étudier la structure même du bâtiment.

Ces prospections ont toutes été réalisées avec un géoradar, mais avec trois appareils différents suivant le contexte : le Hi-Mod IDS (200 et 600 MHz) en extérieur et dans les pièces intérieures, le Stream X V8 IDS (200 MHz) en extérieur et le pulseEKKO PRO TR1000 (1 GHz) pour l'étude du bâti.

La contribution de l'exploration géophysique a été décisive, en particulier dans un contexte où les possibilités d'investigations tant en extérieur (aires de fouille limitées) et sur le bâti (beaucoup de murs enduits) étaient limitées. Les résultats ont permis de compléter le plan de la commanderie et surtout d'explorer sa structure interne autrement inaccessible, tant au niveau de ses fondations que de la construction et/ou réfection de ses murs. En outre, l'approche complémentaire avec l'étude du bâti et les résultats

dendrochronologiques sur les poutres a permis d'atteindre une compréhension particulièrement fine du bâti.

Mots-Clés : Géoradar, archéologie médiévale, étude du bâti, Templiers

APPROCHE DE LA MORPHOLOGIE ET DU COMPLEMENT DES FOSSÉS DES ENCEINTES NÉOLITHIQUES DU CENTRE-OUEST DE LA FRANCE PAR LA PROSPECTION GÉOMAGNÉTIQUE [S₃C_P02]

Guillaume Bruniaux¹, Victor Legrand², Vivien Mathé¹, Francois Lévêque¹, Vincent Ard²

¹ Littoral ENvironnement et Sociétés - Université de La Rochelle, CNRS-UMR7266 – France

² Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés - Université Toulouse - Jean Jaurès, CNRS-UMR5608 – France

La région du Centre-Ouest de la France, entre la Loire et la Dordogne, est l'une des régions d'Europe occidentale les plus riches en enceintes fossoyées du Néolithique. Ces enceintes sont formées d'un ou plusieurs fossés parallèles, discontinues et curvilignes. Plus de trois cents de ces sites sont référencés dont la grande partie a été découverte par la photographie aérienne. La prospection aérienne ayant ces propres limites pour restituer l'organisation spatiale des fossés, la prospection géomagnétique s'est relevée être plus à même pour cartographier les plans de ces enceintes. Ainsi, depuis le début des années 2010, la plupart des nouvelles fouilles envisagées sur des enceintes sont prospectées en amont par méthode géomagnétique. La cartographie de ces sites par la géophysique permet aussi de documenter les organisations architecturales de ces enceintes. Cette documentation par la prospection magnétique s'est considérablement enrichie depuis le lancement de l'ANR MONUMEN en 2017 qui a permis de cartographier une vingtaine d'enceintes ; augmentant à 32 le nombre de sites fossoyés prospectés.

Parmi ce corpus de 32 sites prospectés par méthode géomagnétique, plusieurs d'entre eux ont été fouillés. Les fouilles se focalisent, dans la plupart des cas, sur les fossés pour dater le site et étudier leurs dynamiques de comblement afin de comprendre l'évolution architecturale des enceintes.

Dans cette communication, la documentation issue des fouilles des enceintes sera utilisée pour les confronter aux cartes magnétiques. Plusieurs sites fouillées seront sélectionnés pour confronter les coupes du comblement des fossés avec le signal magnétique. L'objectif étant d'identifier des tendances communes sur plusieurs sites entre la dynamique de comblement du fossé et son signal magnétique.

Mots-Clés : prospection magnétique, comblement de fossés, Néolithique, enceinte fossoyée

LA VILLA DE CHATEAU-CHERVIX SOUS L'ŒIL DU GÉORADAR : UNE ORGANISATION SPATIALE PEU COMMUNE [S₃C_P03]

Gabriel Caraire¹, Thomas Jubeau¹, Jerome Lachaux¹

¹ *Analyse Géophysique Conseil – France*

Dans le cadre du PCR HaGAL (Habitat Groupé Antique de la cité des Lémovices), Jérôme LACHAUX de la société Eveha a fait appel aux services d'Analyse Géophysique Conseil pour étudier des vestiges antiques sur la commune de Château-Chervix dans la Haute Vienne. Le site correspondant à un habitat gallo-romain était notamment connu par des photographies aériennes prises en 2005 par J.R. Perrin. La prospection géoradar a permis de livrer un plan exceptionnel des phases successives d'occupation de la pars urbana. Elle a également révélé la présence d'un bâtiment dont l'interprétation soulève de nouvelles interrogations. De plus, l'emplacement de ce potentiel fanum ou mausolée témoigne d'une organisation inhabituelle qui reste à définir.

Mots-Clés : géoradar, villa, mausolée

LA DÉCOUVERTE DES REMPARTS DE LARSA (IRAQ) PAR LA GÉOPHYSIQUE [S₃C_P04]

Lionel Darras¹, Régis Vallet²

¹ *Archéorient – CNRS-UMR 5133, Université Lumière - Lyon 2 – France*

² *TEMPS – CNRS-UMR 8068, IFPO – France*

La Mésopotamie a été un grand foyer de civilisation. Dès le début du 4e millénaire av. J.-C. l'Iraq du sud se couvre de villes dont certaines atteignent plusieurs centaines d'hectares de superficie. Larsa est l'une d'entre elles, capitale du pays au début du 2e millénaire jusqu'à sa prise par Hammourabi de Babylone en 1763 av. J.-C.

Larsa s'étend sur 200 ha. Comme toute grande cité de l'époque, elle était protégée par un mur d'enceinte, principalement réalisé en brique crue. Les données historiques (tablettes cunéiformes), nous apprennent qu'il a été construit par le roi Gungunum (1932-1906 av. J.-C.) et démantelé un siècle et demi plus tard par Hammourabi. Depuis 1933 et le début des fouilles programmées, la recherche des remparts est l'une des grandes questions en suspens, au point que l'on a pu parler du "mystère" des remparts de Larsa, considérables selon les sources textuelles mais insaisissables sur le terrain.

A la fin des années 80, la découverte de photos aériennes réalisées dans les années 70

a été l'occasion d'une première prospection systématique du site, pour en relever les vestiges visibles en surface à l'état de traces, avec des résultats appréciables, posant en particulier la question de l'existence, ou non, de grands canaux urbains sillonnant la ville. Mais le résultat fut décevant pour les remparts, toujours introuvables, sauf deux portes de la ville dont l'une, la porte dite "Parrot", est l'un des rares monuments du site encore debout.

En 2019, lors de la reprise des travaux après 30 ans d'interruption, un grand programme sur l'urbanisme de la ville fut immédiatement lancé, mobilisant conjointement tous les moyens d'enquête. Prospection archéologique classique, levé photogrammétrique exhaustif par drone, prospection géophysique, complétés par des fouilles. La priorité initiale de la prospection géophysique était le tracé du réseau hydraulique de la ville et au-delà. Le tracé du rempart, indissociable du réseau hydraulique, constituait un second défi que la géophysique se devait de relever rapidement.

En 2019, deux premières signatures magnétiques des remparts semblaient se dessiner, sur une courte section à l'ouest du site ainsi qu'au sud de la ville, où l'enceinte est traversée par ce que l'une appelle une "flood-gate", ouverture contrôlée destinée à laisser canaux ou wadi canalisés sortir de la cité.

En 2021, le programme fut davantage orienté vers la recherche de l'enceinte, et celle-ci put être enfin pleinement révélée. Pour la géophysique, elle présente l'intérêt d'offrir une gamme de signaux différenciés, selon divers critères, matériau de construction, érosion, condition d'exposition et d'enfouissement etc... Les premiers résultats de cette recherche en cours et les perspectives nouvelles qui se dessinent sont très prometteurs.

Mots-Clés : remparts, découverte, terre crue, géophysique, prospection, magnétique

LA RECHERCHE DE L'ÉGLISE DE QUINCIVET (ISÈRE) PAR PROSPECTION GÉOPHYSIQUE MULTI-MÉTHODES [S₃C_P05]

Lionel Darras¹, Quentin Vitale^{1,2}, Michel Jolland³

¹ Archéorient – CNRS : UMR5133, Université Lumière - Lyon 2 – France

² EVEHA International – France

³ Association "Saint-Vérand Hier et Aujourd'hui" – France

Près de Saint-Vérand en Isère, la présence d'une église probablement construite au XI^{ème} siècle est attestée à Quincivet en 1204. Selon plusieurs sources documentaires, l'église et son cimetière étaient situés sur une parcelle proche du château de Quincivet. Les derniers enterrements dans le cimetière ont eu lieu en 1792. D'après un acte officiel, l'église était encore debout en 1802 mais elle n'est pas mentionnée dans le cadastre napo-

léonien de 1830. Aujourd'hui, il n'existe aucune trace visible de l'église, de son cimetière et leur localisation précise reste inconnue.

Depuis quelques années, l'association "Saint-Vérand Hier et Aujourd'hui" a pour objectif de retrouver l'emplacement de cette église disparue. En 2017 et 2018, deux campagnes géophysiques ont été menées autour du château pour trouver une trace de cette église.

Dans un premier temps, une prospection magnétique a permis de disposer rapidement d'une cartographie du sous-sol sur 1,5 ha autour du château. La prospection magnétique de 2018 réalisée avec un magnétomètre à vapeur de césium G858 de Geometrics a permis de détecter à moins de 100 m du château des anomalies linéaires semblant correspondre aux fondations d'un bâtiment rectangulaire de 15 m par 18. Une nouvelle campagne de prospection a été réalisée début 2021 avec des étudiants de l'université de Grenoble pour confirmer et mieux caractériser ce bâtiment.

Des instruments de prospection géophysique utilisant les méthodes magnétique, électrique et électromagnétique ont été utilisés pour faire des mesures à l'emplacement des anomalies magnétiques détectées en 2018 : un magnétomètre Fluxgate FEREX de Foerster, un appareil EM CMD-MiniExplorer de GF Instruments, un résistivimètre RM85 de Geoscan ainsi qu'un géoradar Stream-X V8 de IDS.

L'utilisation de ces différents instruments a permis d'obtenir pour chaque méthode géophysique une représentation différente de la nature du sous-sol. Si pour certains instruments, certaines anomalies linéaires peuvent être associées à d'éventuelles fondations de murs du bâtiment, pour d'autres, ce sera plutôt certaines différences de contraste entre deux espaces (sans pour autant visualiser une anomalie linéaire particulière à la limite de ceux-ci) qui pourront permettre de détecter la présence du bâtiment et de le caractériser. Grâce à ces différentes cartographies du sous-sol, il est possible de dessiner une esquisse du plan du bâtiment détecté pour comparer sa forme hypothétique ainsi que son orientation à d'autres églises construites au XI^{ème} siècle dans la région pour déterminer si ces traces géophysiques peuvent correspondre à l'ancienne église disparue de Quincivet.

Mots-Clés : recherche, église, Quincivet, géophysique, multiméthodes

APPORTS DES PROSPECTIONS GÉOPHYSIQUES POUR L'ÉTUDE DU SITE DE BLIS À EYMET (DORDOGNE) [S₃C_P06]

Juliette Hantrais¹, Vivien Mathé², Camille Corbasson¹, Thierry Mauduit³,
Rémy Chapoulie¹, Eneko Hiriart¹

¹ Université Bordeaux Montaigne – Institut de Recherches sur les Archéomatériaux (IRA-MAT-CRP2A) – CNRS-UMR5060 – France

² Université La Rochelle – Littoral, Environnement et Sociétés (LIENSs) -

Situé sur la commune d'Eymet en Dordogne, le site de Blis occupe un petit éperon à la confluence du Dropt et de l'Escoussou. Depuis 2018, des prospections pédestres ont permis de révéler, à travers un abondant lot d'objets métalliques, une occupation datée entre la fin de l'âge du Bronze et le Ier siècle av. J.-C., dont la phase IIIe-Ier av. J.-C. est très bien représentée. Ces éléments proviennent majoritairement d'un espace d'environ 10 ha délimité par une levée de terre, fossilisée dans le paysage. Dans le cadre d'une thèse de doctorat et d'un stage de master II, intégrés au projet région RAPSODIE (Reconnaissance des Agglomérations Protohistoriques du Sud-Ouest : Dynamiques, Imagerie, Environnement), le site d'Eymet a fait l'objet d'une série de prospections géophysiques croisant plusieurs méthodes afin de préciser la forme de cette occupation. Réalisées sur une superficie de 8 ha, ces investigations ont fourni une image détaillée, en plusieurs dimensions, d'un système défensif complexe, constitué d'un talus et de plusieurs fossés externes. La confrontation des méthodes géophysiques mises en œuvre a livré des informations inédites sur la nature des vestiges archéologiques cartographiés.

La morphologie et la signature magnétique du talus laissent supposer la présence d'un rempart incendié, composé de blocs de terre rubéfiés et de pierres. Ces investigations ont permis d'appréhender ici le premier exemple de rempart incendié attesté entre la Garonne et la Dordogne.

Mots-Clés : géophysique, prospection magnétique, prospection électrique, site fortifié

LASERGRAMMÉTRIE 3D APPLIQUÉE AUX CONTEXTES GÉOMORPHOLOGIQUES DE L'ART PARIÉTAL PALÉOLITHIQUE ARDÉCHOIS [S₃C_P07]

Stéphane Jaillet¹, Kim Genuite^{1,2}, Julien Monney¹, Jean-Jacques Delannoy¹

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – France*

² *IDEES 6266 CNRS - Université Rouen – France*

Depuis une vingtaine d'années, les méthodes d'analyses 3D sont de plus en plus convoquées dans l'étude de l'art pariétal, que ce soit à l'échelle de la grotte comme à l'échelle de la paroi. Dans le même temps, les études en grottes ornées font de plus en plus appels à une analyse fine du contexte géomorphologique. Nous présentons ici trois exemples ardéchois traités à trois échelles différentes, associant chaque fois un relevé lasergrammétrique (lidar terrestre), une étude géomorphologique et débouchant sur des implications

pour l'art pariétal. A l'échelle des Gorges de l'Ardèche, (i) l'étude 3D du cirque d'Estre et du Pont d'Arc a permis de proposer un paléo-paysage contemporain des fréquentations humaines de la grotte Chauvet. A l'échelle de la grotte, (ii) un relevé complet de la grotte aux Points a permis de reconstituer la géométrie de la cavité précédemment aux perturbations historiques qu'elle a subies. Enfin à l'échelle d'une coupole, (iii) une analyse 3D des mises en charges hydrologiques à la grotte des deux Ouvertures a permis de proposer des éléments de contrôle pour l'accessibilité préhistorique à la salle des Griffades. Dans chacun des trois exemples proposés, c'est le relevé 3D lasergrammétrique qui sert de base à la fois à l'analyse géométrique, mais aussi aux reconstitutions du passé. Ce type d'approche multi-scalaire, mise en œuvre "autour" du champ orné, s'est révélé pertinente pour une meilleure compréhension du contexte géomorphologique de cet art pariétal souterrain.

Mots-Clés : lidar, analyse 3D, géomorphologie, grotte ornée, Ardèche

DU TERRAIN AUX POINTS : CHOIX D'ACQUISITION ET DE VISUALISATION 3D DE SITES ANTHROPO-GÉOMORPHOLOGIQUES SOUTERRAINS [S₃C_P08]

Jules Kemper¹, Stéphane Jaillet¹, Jean-Jacques Delannoy¹, Pablo Arias²,
Roberto Ontañón³, Deplhine Dupuy⁴

¹ *Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Université Savoie Mont Blanc, CNRS-UMR5204 – France*

² *Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria [Santander] (IIIPC) – Edificio Interfacultativo Avda. de los Castros - Espagne*

³ *Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria – Museo de Prehistoria y Arqueología de Cantabria. – Espagne*

⁴ *Responsable gestion et développement de la Grotte de Saint-Marcel – Mairie de Saint-Marcel – France*

L'utilisation de la 3D dans l'étude de sites archéologiques s'est fortement développée depuis plus d'une décennie compte tenu de ses apports notamment dans des contextes où la visibilité et/ou l'accès sont restreints (Chase et al. 2010 ; Jaillet et al., 2017). Les milieux souterrains présentent différentes contraintes à l'analyse et l'observation : endroits sombres où la visibilité dépend à la fois des obstacles et de la source de lumière, créant des zones d'ombre ou de déformation de la réalité de l'espace. Les techniques de discrétisation 3D de l'espace peuvent ainsi permettre une vue inédite, complète et précise du volume (complétude des objets morphologiques, mise en évidence de structuration dans la disposition d'éléments morphologiques, etc.), tout comme elle peut permettre dans le

cas de sites archéologiques à haute valeur patrimoniale de "manipuler virtuellement" des objets sans contrevenir aux contraintes de conservation (Jaillet et al. 2014, 2017, ; Mora 2016 ; Granier 2019). Plusieurs sites ont bénéficié de ces techniques : mise en évidence et reconstitution de l'agencement initial de structures anthropiques à la grotte Chauvet-Pont-d'Arc (Delannoy et al. 2012), identification de piliers déplacés et reconstitution de leur transport à Nawarla Gabarnmnang (Delannoy et al. 2017), mise en évidence de la chronologie de construction de structures anthropiques à la grotte de Bruniquel (Jaubert et al. 2016). L'analyse anthropo-géomorphologique a cela d'intéressant qu'elle se doit de combiner différentes échelles d'analyse (de la répartition des morphologies dans une galerie, à l'échelle d'un "spéléofact", en passant par celle d'une structure anthropique). Ainsi il est indispensable de penser en amont aux méthodes d'acquisition en fonction des problématiques de recherche et des questions soulevées ainsi que des éléments étudiés (de la cavité à la répartition des artefacts au sol). Si le LiDAR courte portée – idéal à l'échelle d'une galerie – est pertinent pour la création de MNT supports au travail cartographique, la photogrammétrie l'est davantage pour l'analyse fine des morphologies d'un artefact à l'échelle millimétrique (Maumont 2010 ; Jaillet et al. 2017). Ainsi "méthodologie d'acquisition 3D" et "regards anthropo-géomorphologiques" se répondent et s'alimentent l'un l'autre. Si la méthode 3D permet d'alimenter les questionnements en fournissant un outil de visualisation pluriel tant au niveau de ses apports que de ses échelles, c'est bien les questions de recherche qui orientent le choix de la méthode adéquat. La galerie des Colonnettes de la grotte de Saint-Marcel (Ardèche) – avec ses spéléothèmes brisés et agencés - peut fournir un exemple pertinent pour l'expression de ces liens entre démarche et méthode.

Mots-Clés : 3D, Grottes, Archéologie, Géomorphologie

FROM POLLEN AND CHARCOAL TO 3D RECONSTRUCTION OF PLANTS AROUND HUMAN SETTLEMENTS: A METHOD UNDER DEVELOPMENT [S₃C_P09]

Enora Maguet^{1,2}, Chantal Leroyer¹, Jean-Baptiste Barreau^{1,3}, Marie-Yvane Daire¹,
Philippe Dufresne⁴

¹ UMR 6566 CReAAH - Archéosciences – Ministère de la Culture et de la
Communication – France

² EVEHA (Etudes et valorisations archéologiques) – entreprise privé – France

³ Insa de Rennes – IRISA – France

⁴ Géosciences – Université de Rennes I – Rennes, France

Archaeobotanical data remain difficult to understand, especially for non-specialists, as their results are still disseminated using complex diagram and because of the non-linear

relationship between pollen assemblages and past vegetation. Fortunately, we now have quantitative pollen-based models such as the Landscape Reconstruction Algorithm that provide estimates of vegetation composition.

Likewise, 3D technologies strongly spread in various research fields, forming now an essential key for restitution, exploration and conservation of archaeological data. It seems to be particularly suitable for the representation of palaeoenvironmental data and specifically adapted to the cross-disciplinary approach. Hence this project of multiscalar 3D rendering of ancient landscapes from Late Glacial to nowadays, in the Armorican massif and the Paris basin. Inside those areas, we selected two specific zones for our first methodological attempts, where archaeobotanical data were already available: the Paimpont forest (4 palynological cores and 10 anthracological assemblages) and the Marne valley (numerous palynological cores and a quantitative estimation based on REVEALS model). This project aims to develop a method to:

a) spatialize palynological and anthracological data within a more or less extended radius around human settlements. The objective is to move from an assemblage that is identical in all points to a distribution that varies in space according to multiple geomorphological, pedological and anthropic parameters. More precisely, we are working on a method to compute the interpolated results from the different cores, creating iso-pollen maps for different taxa (or groups of taxa) that consider the previously cited parameters, and then to synthesize this multi-layer information into a single estimate of the number of plants for each species within each map division (georeferenced polygons).

b) implement the vegetation (herbs, mosses and trees), in a realistic 3D virtual environment: the ground reconstruction is based on a digital terrain model (DTM), converted into a 3D mesh by a Poisson Surface Reconstruction plugin. Technically, testing popular 3D software led us to consider working with Unreal Engine 5. Regarding the vegetation placement, existing attempts at 3D landscape simulation often differ in their choices: plant libraries VS plant factories, scripted VS manual implementation methods, continuous VS discrete values (different types of plant ecosystems).

So far, we conducted on our first area (Paimpont) a preliminary work of data completion, whose goal is to allow us the application of the LRA by reinforcing the corpus with 5 cores located in the 50 kilometers round, and with robust age-depth models for each core. Because we did not have a sufficient number of radiocarbon dates - which Mazier et al. (2012) estimate to be 3 per continuous sedimentary profile - we conducted a comparison between several dating methods (classical and bayesian) and successfully obtained consistent age-depth models for almost all samples, and even revise one of the previously established models.

Mots-Clés : archaeobotany, anthropisation, 3D modelling, age, depth modelling, Landscape Reconstruction Algorithm

DISPARUS POUR LA FRANCE : UNE APPROCHE PRÉDICTIVE DE L'ARCHÉOLOGIE DE LA GRANDE GUERRE [S3C_P10]

Robin Perarnau¹, Alain Devos¹, Amélie Quiquerez², Clément Seyer

¹ *Groupe d'Étude sur les Géomatériaux et Environnements Naturels, Anthropiques et Archéologiques - EA 3795 (GEGENAA) – Université de Reims Champagne-Ardenne : EA3795 – France*

² *Archéologie, Terre, Histoire, Sociétés [Dijon] (ARTEHiS) – Ministère de la Culture et de la Communication, Université de Bourgogne, CNRS-UMR6298 - France*

Cent ans après la fin de la Première Guerre mondiale, les corps de plus de 463 000 soldats français n'ont pas été retrouvés [1]. De temps à autre, l'archéologie exhume les corps de ces poilus, en témoigne la découverte en 2020 de quatorze corps à Châtelet-sur-Returnne (Ardennes) [2]. Mais les bombardements, la destruction des lieux d'inhumation temporaires, la perte des archives, la décomposition des corps, le pillage et les aménagements peuvent détruire les traces archéologiques et désidentifier les hommes.

Cette étude vise à développer une réflexion méthodologique collective autour d'une approche prédictive de l'archéologie de la Grande Guerre. Comment, par quels moyens archivistiques, archéométriques, géographiques et archéologiques pouvons-nous prédire l'emplacement de sépultures inconnues et ainsi permettre la réinhumation des poilus ? De la même manière, peut-on faciliter l'identification des corps retrouvés par les archéologues ?

A partir de la base de données collaborative des "Morts pour la France de la Première Guerre Mondiale" [3], la démarche doit prendre en compte un ensemble de données archivistiques (fiches-matricule, journaux des marches et des opérations) et cartographiques (cartes et plans anciens, photographies aériennes et satellitaires, réseaux de défense, évolution de l'occupation du sol, évolution des cadastres et des limites administratives). Le croisement de ces données, dans un Système d'Information Géographique, doit permettre d'établir un modèle du potentiel archéologique des disparus nommés "Morts Pour la France". Ce modèle prédictif doit s'appuyer sur la cartographie des disparus, des nécropoles nationales et des cimetières anciens et temporaires détruits par la guerre ainsi que la détermination des zones susceptibles d'avoir conservées des vestiges archéologiques. De plus, un Système d'Information Géographique permettant de localiser les régiments au moment de la disparition des soldats, permettrait de faciliter l'identification des corps en cas de découverte archéologique. La Champagne est choisie comme zone expérimentale pour croiser ces banques de données à celles des 13 000 km de tranchées et de boyaux digitalisés à partir des plans-directeurs [4] et des 2500 noms de tranchées [5].

- [1] Benoît Ch. (2014), Les corps disparus des soldats français de la Grande Guerre, *Corps*, 12, pp. 109-110. <https://www.cairn.info/revue-corps-2014-1-page-109.htm>
- [2] Blanc. A (2020), 106 ans après la grande guerre, les corps de 5 poilus identifiés dans les Ardennes, des descendants retrouvés. France Bleu Champagne-Ardenne. URL : <https://www.francebleu.fr/infos/insolite/106-ans-apres-la-grande-guerre-les-corps-de-5-poilus-identifies-dans-les-ardennes-des-descendants-1608974760>
- [3] Ministère des Armées, Secrétariat Général pour l'Administration, Direction des Patrimoines, de la Mémoire et des Archives, *Mémoire des Hommes* (2003). URL : <https://www.memoiredeshommes.sga.defense.gouv.fr/fr/article.php?larub=24&titre=morts-pour-la-france-de-la-premiere-guerre-mondiale>
- [4] Taborelli P., Devos A., Laratte S., Bollot N., Pierre G. & Brenot J. (2017). Combining GIS, trenches maps and lidar for WW1 landscapes in Champagne (France). 12th International Conference on Military Geosciences, International Conference on Military Geosciences (ICMG), Jun 2017, Stellenbosch, South Africa. hal-02953533
- [5] Devos A., Taborelli P. & Perarnau R. (2020). Les noms de tranchées et de boyaux de la Grande Guerre en Champagne : Apport des Plans directeurs des Groupes de Canevas de Tirs des Armées. *Echogéo*, 53. DOI : 10.4000/echogeo.19927.

Mots-Clés : Première Guerre mondiale, Morts pour la France, SIG, potentiel archéologique

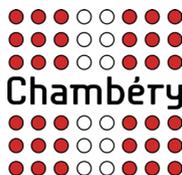
LISTE DES AUTEURS - GMPCA 2022

Beauvoit Emmie - emmie.beauvoit@culture.gouv.fr
Bédécarrats Samuel - bedecarrats.samuel@gmail.com
Ben Makhad Sammy - sammy.ben-makhad@mnhn.fr
Benech Christophe - christophe.benech@mom.fr
Bérard Emilie - e.berard75@laposte.net
Berthonneau Jeremie - berthonneau@cinam.univ-mrs.fr
Bhattacharya Sriradha - sriradha5182@gmail.com
Bochaton Sidonie - sidonie.bochaton@univ-lyon2.fr
Bocquet-Liénard Anne - anne.bocquet-lienard@unicaen.fr
Bodet Alexandre - alexandre.bodet@u-bordeaux-montaigne.fr
Bouvier Caroline - caroline.bouvier@bnf.fr
Bruniaux Guillaume - guillaume.bruniaux@hotmail.fr
Bruxelles Laurent - laurent.bruxelles@inrap.fr
Burlot Jacques - jacques.burlot@hotmail.fr
Caffy Ingrid - Ingrid.Caffy@lsce.ipsl.fr
Calastrenc Carine - carine.calastrenc@univ-tlse2.fr
Cantin Nadia - nadia.cantin@u-bordeaux-montaigne.fr
Caraire Gabriel - gabriel.caire@analyse-gc.com
Cesarini Roxanne - cesarini.roxanne@gmail.com
Chalmin Emilie - emilie.chalmin-aljanabi@univ-smb.fr
Chanteraud Claire - claire.chanteraud.pro@gmail.com
Chassin de Kergommeaux Aurélie - aurelie.chassin-de-kergommeaux@univ-smb.fr
Chassouant Louise - louise.chassouant@univ-avignon.fr
Comby-Zerbino Clothilde - clothilde.zerbino@univ-lyon1.fr
Cromartie Amy - aec277@cornell.edu
Culioli Gérald - gerald.culioli@univ-avignon.fr
Darras Lionel - lionel.darras@mom.fr
Dayet Laure - laure.dayet@gmail.com
De Palaminy Louise - louise.depalaminy@get.omp.eu
Defrasne Claudia - claudia.defrasne@univ-smb.fr
Delannoy Jean-Jacques - jean-jacques.delannoy@univ-smb.fr
Delqué-Kolic Emmanuelle - emmanuelle.delque-kolic@cea.fr
Díaz González Lucía María - lucia.diaz@cultura.gob.es
Diego Garate - garatemaïdagandiego@gmail.com
Drieu Léa - lea.drieu@cepam.cnrs.fr
Dufraisse Alexa - alexa.dufraisse@mnhn.fr
Ferrant Marie - marie.ferrant@sorbonne-universite.fr

Ferrier Catherine - catherine.ferrier@u-bordeaux.fr
Fovet Élise - elise.fovot@uca.fr
Frerebeau Nicolas - nicolas.frerebeau@u-bordeaux-montaigne.fr
Frugier Camille - camille.frugier@univ-poitiers.fr
Galy Asmodée - asmodee.galy@u-bordeaux-montaigne.fr
Gehres Benjamin - benjamin.gehres@univ-rennes1.fr
Genuite Kim - kimi.us@hotmail.fr
Giguet-Covex Charline - charline.giguet-covex@univ-smb.fr
Griggo Christophe - Christophe.Griggo@univ-grenoble-alpes.fr
Guffond Christophe - christophe.guffond@hautesavoie.fr
Hantrais Juliette - juliette.hantrais@u-bordeaux-montaigne.fr
Herbrich Margaux - herbrich11@gmail.com
Hervé Gwenaël - gwenael.herve@lsce.ipsl.fr
Holé Clément - clement.hole@cemes.fr
Intxaurbe Iñaki - inaki.intxaurbe@gmail.com
Jacquet Julien - julien.jacquet@univ-smb.fr
Jagou Benjamin - benjamin.jagou@inrap.fr
Jaillet Stéphane - stephane.jaillet@univ-savoie.fr
Jean Rodier - jean.rodier@unifr.ch
Jeannot Rémy - remy.jeannot@cnrs.fr
Joliot Céline - celine.joliot@univ-avignon.fr
Julien Andréa - andrea.julien@univ-smb.fr
Kemper Jules - jules.kemper@hotmail.fr
Keute Jennifer - jennifer.keute@arch.ox.ac.uk
Lachambre Anaïs - lachambre.anais@gmail.com
Laenger Arthur - arthur.laenger.etu@univ-lemans.fr
Laurent Antoine - laurent.antoine.pro@gmail.com
Le Bourdonnec François-Xavier - Francois-Xavier.Le-Bourdonnec@u-bordeaux-montaigne.fr
Lefevre Jean-Claude - jean-claude.lefevre@univ-lyon1.fr
Lévêque François - fleveque@univ-lr.fr
Macdonald Brandi Lee - macdonaldb@missouri.edu
Maguet Enora - enora.maguet@univ-rennes1.fr
Manin Aurelie - aurelie.manin@arch.ox.ac.uk
Manya Sibylle - sibylle.manya@culture.gouv.fr
Markovic Milan - milan.markovic@univ-avignon.fr
Martin Lucie - lucie.martin@unige.ch
Martinet Lauriane - lauriane.martinet@etu.univ-cotedazur.fr
Martinetto Pauline - pauline.martinetto@neel.cnrs.fr
Matthieu Ménager - mat.menager@gmail.com

Mauran Guilhem - guilhemmauran@gmail.com
Medina Mariángeles - m.medina.alcaide@gmail.com
Messenger Cyrielle - cyrielle.messenger@gmail.com
Messenger Erwan - erwan.messenger@univ-smb.fr
Millet Jean-Jacques - jean-jacques.millet@univ-grenoble-alpes.fr
Monin Gilles - moningjf@hotmail.com
Monney Julien - julien@monocycle.ch
Morel Melissa - melissa.morel@unifr.ch
Mouchi Vincent - vmouchi@gmail.com
Nitsche Christoph - christoph.nitsche@unifr.ch
Orange Marie - orange@une.edu.au
Pagès Gaspard - gaspard.pages@free.fr
Pareja Dante - reynaldo.pareja-anyosa@etu.u-bordeaux-montaigne.fr
Perarnau Robin - robin.perarnau@univ-reims.fr
Pianet Isabelle - isabelle.pianet@u-bordeaux-montaigne.fr
Pinto Ariane - ariane.pinto@hotmail.fr
Prévost Camielsa - camielsa.prevost@cepam.cnrs.fr
Puaud Simon - simon.puaud@univ-rennes1.fr
Py-Saragaglia Vanessa - vanessa.py@univ-tlse2.fr
Reiche Ina - ina.reiche@culture.gouv.fr
Rêve Rémi - remi.reve89@gmail.com
Ritz Simon - simon.ritz@inrap.fr
Robert Eric - eric.robert@mnhn.fr
Roux Elsa - elsa.roux.89@gmail.com
Rué Mathieu - mathieu.rue@paleotime.fr
Saint-Raymond Charlotte - charlotte.saint-raymond@univ-smb.fr
Salomon Hélène - helene.salomon@univ-smb.fr
Sardelli Giorgia - giorgia.sardelli@univ-smb.fr ; srdgrg@unife.it
Saussus Lise - lise.saussus@uclouvain.be
Scaro Agustina - scaroagustina@gmail.com
Tabbagh Alain - alain.tabbagh@upmc.fr
Taffin Ninon - ninon.taffin@u-bordeaux-montaigne.fr
Toriti Magali - mag.toriti@gmail.com
Tuffery Christophe - christophe.tuffery@inrap.fr
Urbanova Petra - urbanpetra@seznam.cz
Vandeveldé Ségolène - segolene.vandeveldé@univ-paris1.fr
Vautrin Adeline - adeline.vautrin1@mnhn.fr
Vernet Justine - justine.vernet@cea.fr
Walsh Kevin - kevin.walsh@york.ac.uk
Wojcieszak Marine - marine.wojcieszak@gmail.com

ORGANISATEURS ET SPONSORS - GMPCA 2022



PALEOTIME
archéologie préventive

ARCHEODUNUM
INVESTIGATIONS ARCHÉOLOGIQUES

SPEC SOLE

 **elementar**
EXCELLENCE IN ELEMENTS

HIROX


BRUKER

SYNERGIE⁴
... le service avant tout

HIROX

Inspection & mesure 2D/3D haute résolution

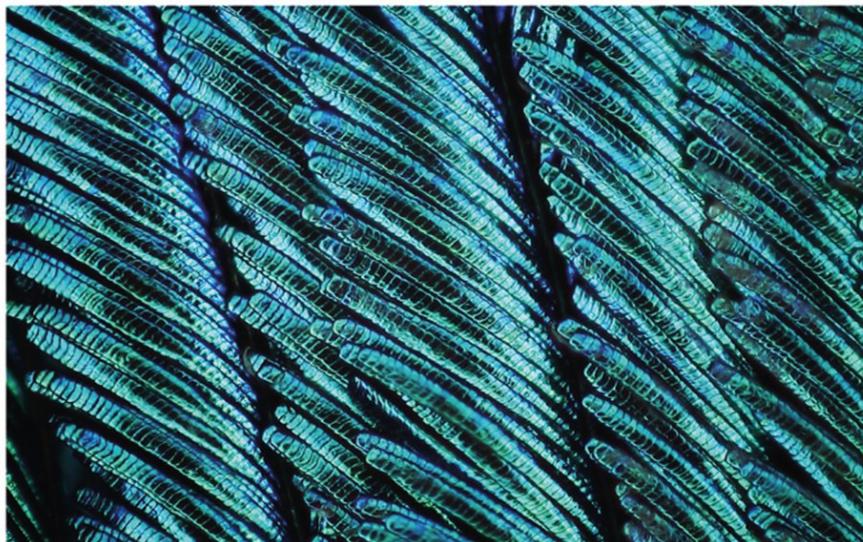
Hirox est un fournisseur leader de produits de microscopie numérique pour la recherche sur les matériaux et l'inspection de toutes sortes d'échantillons.

L'histoire de la firme a commencé il y a près de 100 ans, lorsque Hirox a commencé à produire des lentilles dès 1920. Hirox est un pionnier et un leader technologique avec plusieurs brevets.

Nous sommes aussi fiers d'avoir inventé la microscopie vidéo en 1985.

Nos conceptions optiques, mécaniques et d'éclairage de haute qualité confèrent aux microscopes vidéo numériques 3D la puissance d'inspection optique la plus élevée (10 000x) ainsi qu'une variété d'options et d'adaptateurs, y compris la tête rotative 3D brevetée.

Notre expérience en tant que fabricants d'objectifs permet de créer des objectifs de haute qualité qui offrent une grande profondeur de champ et peuvent générer des images à très haute résolution.



hirox-europe.com / info@hirox-europe.com / +33 426 25 03 40



Le **HRX-01** est le microscope numérique 3D Hirox de nouvelle génération : interface 4K, compatible PC, design portable, configurations flexibles avec packs logiciels de mesure 2D, 3D, panorama et cartographie, lentilles haute résolution de 0,1x à 10.000x, éclairages multiples, adaptateurs intelligents, tables et stands motorisés jusqu'à 1m50 et bien d'autres fonctionnalités à découvrir.



Le **NPS** est un système confocal de mesure 3D certifié ISO 25178-602. Dôté de capteurs à distance de travail et champs de mesure variables, il fonctionne par l'émission d'un faisceau de lumière blanche sur tout type d'échantillons, même transparent. Ce profilomètre permet des analyses et mesures sans contact avec une précision en Z au sous micron : volume, hauteur, surface, profil, rugosité, planéité, coplanarité, etc.



hirox-europe.com / info@hirox-europe.com / +33 426 25 03 40

DATA BULLETIN



High precision compound specific $\delta^{15}\text{N}$ measurements of amino acids for anthropology applications

Compound specific stable nitrogen isotopes of amino acids can provide an array of valuable information across application areas including marine ecology, terrestrial ecology, environmental sciences, biological sciences, and archaeology. The AnthroVISION package includes the GC5 gas chromatograph system for compound specific stable isotope analysis of C, N, O, and H isotopes. Traditionally, compound specific $\delta^{15}\text{N}$ analysis has been much more difficult than compound specific $\delta^{13}\text{C}$ analysis due to the two-stage conversion of organic nitrogen to gaseous N, via oxidation and subsequent reduction. The GC5 allows high precision $\delta^{15}\text{N}$ analysis of amino acids where samples are combusted and reduced in a single furnace stage.

To highlight the performance of the GC5 for compound specific isotope analysis, a low concentration standard mixture of 14 amino acids was analyzed, demonstrating the level of precision at low sample concentration. Overall, standard deviation between 5 replicates was 0.29 ‰ (including 3 co-eluting peaks due to derivatization methodology). Excluding these peaks standard deviation was 0.20 ‰ (Table 1).

Compound specific $\delta^{15}\text{N}$ analysis requires good baseline separation of different compounds. The GC5 gas chromatograph offers picomole sensitivity for low concentrations samples, while maintaining exceptional chromatographic integrity of the separated compounds. This in turn results in excellent chromatography through the IRMS.

Elementar's intuitive lyticOS® software saves time with automated Peak Mapping rapidly identifying and labelling compounds across multiple chromatograms (Figure 1). Automatic multi-point, multi-isotope can be applied to the raw data using certified reference materials, and the Calculated Columns feature allows automatic calculation of Trophic Enrichment Factors.

The GC5 also allows online measurement of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$, and $\delta^{18}\text{O}$ at the very highest levels of sensitivity, resulting in outstanding levels of detection for even the most demanding application areas.

INSTRUMENT:
AnthroVISION

DETAILS:
mode: N
sample: Amino acid mixed standard



Table 1. High precision analysis of a low concentration standard mixture of 14 amino acids.

AMINO ACID	NG N (ON COLUMN)	AVERAGE $\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	STD DEVIATION
Ala	39.33	-2.68	0.27
Gly	46.67	1.15	0.19
Val	29.91	1.78	0.09
Leu	26.72	1.08	0.10
Met	26.72	13.80	0.09
Thr	29.41	1.78	0.33
Ser*	33.33	3.02	0.66
Pro	30.43	-3.78	0.21
Asp	26.32	-7.65	0.15
Glu	23.81	-9.25	0.23
Hyp*	26.72	8.42	0.51
Phe	21.21	-1.14	0.23
Lys*	47.95	-3.21	0.71
Tyr	19.34	14.18	0.32
Average SD (excluding Ser, Hyp, and Lys)			0.20
Average SD			0.29

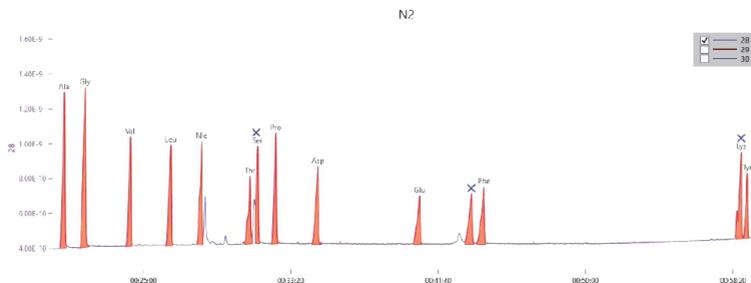


Figure 1. Example chromatogram from lytic05 showing all 14 amino acid peaks. Co-eluting peaks Ser, Hyp, and Lys marked with a cross.

Acknowledgement

Elementar would like to thank the University of Bristol for the supply of the mixed amino acid standard.

Elementar – your partner for excellent elemental analysis

Elementar is the world leader in high performance analysis of organic and inorganic elements. Continuous innovation, creative solutions and comprehensive support form the foundation of the Elementar brand, ensuring our products continue to advance science across agriculture, chemical, environmental, energy, materials and forensics markets in more than 80 countries.

06 / 2021 A

Elementar Analysensysteme GmbH
 Elementar-Straße 1 · 63505 Langenselbold (Germany)
 Phone: +49 (0) 6184 9393-0 | info@elementar.com | www.elementar.com



PRESENTATION DE SYNERGIE⁴

SYNERGIE⁴ est votre interlocuteur privilégié pour ce qui concerne la micro-fluorescence X, la microanalyse, la micro tomographie par rayons X, le dépôt de couches minces et également la microscopie électronique.

Toujours à la recherche de la satisfaction de nos clients, nous vous proposons des solutions complètes pour :

- des microscopes électroniques de table (MEB),
- des systèmes EDS, WDS, μ XRF et EBSD,
- des systèmes de μ XRF portable et de paillasse.
- des appareils de micro tomographie (μ CT),
- des Pico et Nano-Indenteurs pour MEB et MET,
- des appareils de découpe et de polissage par faisceau d'ions,
- des appareils de dépôts de couches minces.

Nous proposons également un ensemble de formations sur tout le catalogue.

Enfin, nous assurons le SAV de tous nos produits, ainsi que divers types de contrat de maintenance.

infos@synergie4.com ou à nous contacter par téléphone au : 01 60 86 08 48.

SYNERGIE⁴
C'est le service avant tout ...

BRUKER
TECHNOORG
LINDA

DENTON VACUUM
HIROX
EUROPE

NEW
SKYSCAN 1273

DESK V

MICROPOL



SYNERGIE⁴
... le service avant tout

