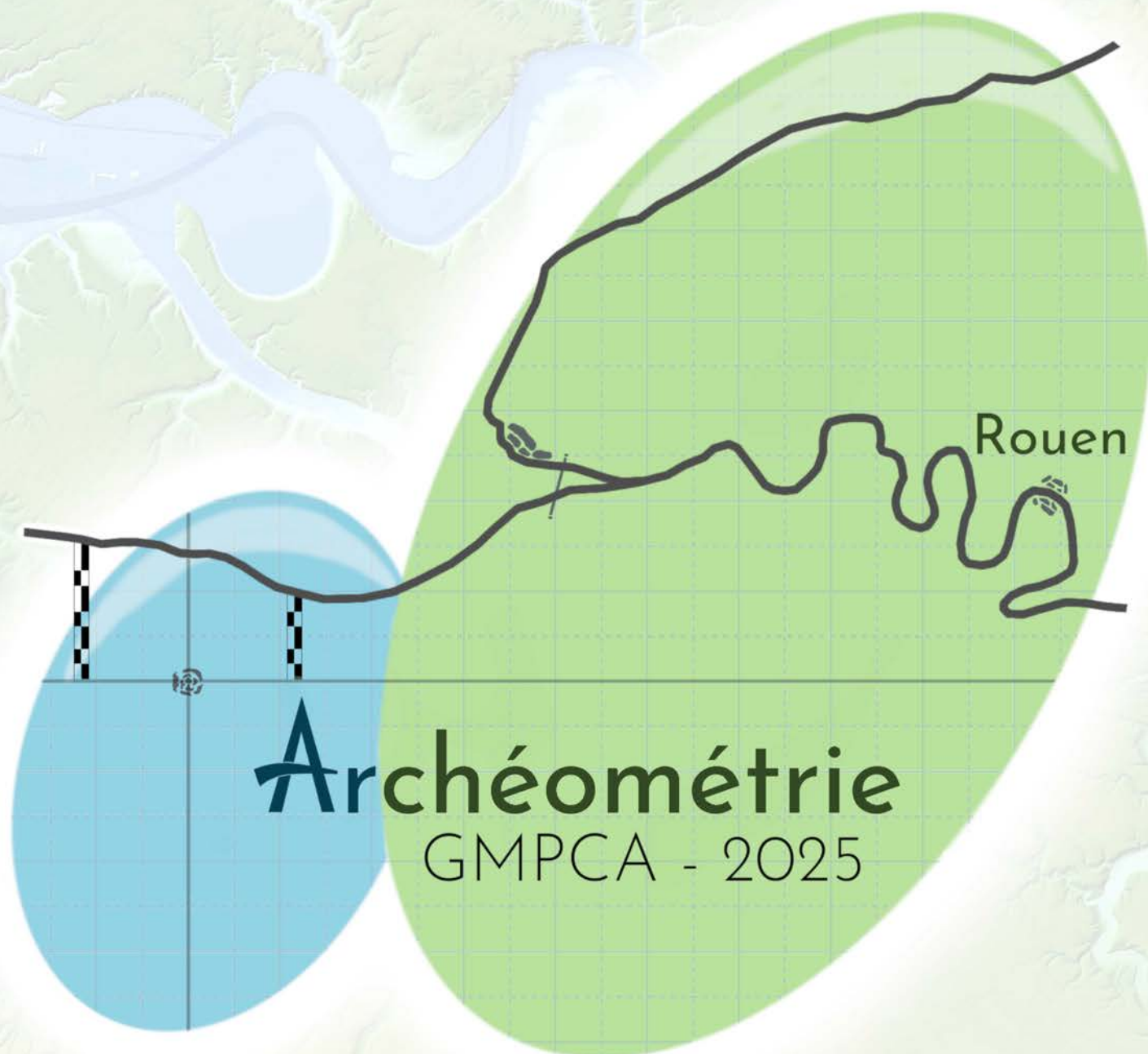


Colloque GMPCA XXV édition – Rouen

14 - 18 avril 2025

Université de Rouen Normandie
Campus Pasteur



Archéométrie

GMPCA - 2025



Archéométrie 2025
XXV^e colloque du GMPCA

14-18 avril 2025

Rouen, France

Livre des résumés

Sommaire

Mots des organisateurs	2
Comité scientifique	4
Comité d'organisation	6
Elles/ils nous soutiennent	7
Thème 1. Les paysages d'eau : des interactions Homme-Milieu aux dynamiques socio-environnementales	9
Thème 2. Identifier, analyser et reproduire les gestes des interactions humains-ressources-objets	59
Thème 3. Objets, matière, milieux externes ou souterrains : des outils innovants pour caractériser, imager et dater	183
Thème 4. Du vestige au paysage numérique : Articuler modélisations, analyses computationnelles, simulations et (géo)visualisations dans un cadre interdisciplinaire et de science reproductible	298
Liste des participants	337
Liste des auteurs	340
Table des matières	349

Mots des organisateurs

Le XXV^e colloque d'archéométrie du GMPCA (Groupe des Méthodes Pluridisciplinaires Contribuant à l'Archéologie) a lieu pour la première fois à Rouen du 14 au 18 avril 2025. Il est organisé conjointement par deux unités mixtes de recherche, IDEES (UMR 6266) et le CRAHAM (UMR 6273) et une équipe de recherche le GrHIs (UR 3831) dont l'archéométrie est au cœur des préoccupations. Plusieurs des thématiques choisies reflètent ainsi les problématiques portées par nos équipes.

Le colloque réunit environ 200 collègues français et étrangers : doctorant.e.s, universitaires, professionnel.le.s de l'archéologie et du patrimoine. Il est organisé autour de 15 sessions regroupées en 4 thèmes. D'eux d'entre eux correspondent aux thématiques « classiques » du GMPCA : Thème 2 « Identifier, analyser et reproduire les gestes des interactions humains-ressources-objets » et Thème 3 « Objets, matière, milieux externes ou souterrains : des outils innovants pour caractériser, imager et dater ». En outre, deux autres thèmes correspondent aux spécificités thématiques de nos laboratoire et à leur ancrage dans leurs territoires : le Thème 1 « Les paysages d'eau : des interactions Homme-Milieu aux dynamiques socioenvironnementales » et le Thème 4 « Du vestige au paysage numérique ». Nous sommes heureux d'organiser les trois sessions du thème 4 avec le Chapitre français du CAA (*Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*) ; nous adressons nos remerciements à R. Krummeich et S. Rey-Coyrehourcq pour tout le travail de mise en relation.

En plus des près de 80 communications orales et 110 posters, chacun des thèmes abordés fait l'objet d'une conférence. Nous remercions vivement les collègues qui ont accepté nos invitations : E. Gauthier (professeure, Chrono-environnement UMR 6249/CNRS, Besançon) ; F. Tereygeol (DR CNRS, UMR 5060 IRAMAT-LAPA, Univ. Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines) ; L. Bruxelles (DR CNRS, UMR 5608 TRACES, INRAP) ; S. Carrignon (Ass. prof., McDonald Institute for Archaeology, University of Cambridge, UK). Une conférence à destination du grand public est co-organisée avec le Pavillon des transitions de Rouen Métropole sur le thème « Archéologie et Climat ». Dominique Cliquet (conservateur en chef du Patrimoine au Service régional de l'Archéologie de Normandie et membre de l'UMR CReAAH) évoquera les occupations néandertaliennes vieilles de 80 000 ans au Rozel révélées par l'érosion littorale. Nous le remercions d'avoir accepté de donner cette conférence.

Le comité local d'organisation remercie sincèrement tous les partenaires qui de près ou de loin ont œuvré à la tenue de ce colloque international : les membres des trois laboratoires de recherches mais aussi les personnels de l'Université de Rouen Normandie (URN) qui ont fourni leur aide et leur expertise. L'URN nous accueille dans l'amphithéâtre 600 du Campus Pasteur et nous lui en sommes très reconnaissants. L'université de Rouen et le laboratoire IDEES ont mis à disposition les moyens humains et techniques pour assurer la gestion financière et les inscriptions et nous remercions très sincèrement B. Lecomte pour l'important suivi de ce colloque.

Le ministère de la Culture, la métropole de Rouen et le personnel du Pavillon des Transitions,

la mission interdisciplinaire du CNRS, le Collège International des Sciences Territoriales, l'UFR HSS de l'UCN, l'IRIHS (URN), Archeodunum, *Peer Community in Archaeology*, Synergie 4 et nos laboratoires sont les partenaires financiers de ce colloque. Le XXV^e colloque d'Archéométrie bénéficie également du soutien du SAS (*The Society for Archaeological Sciences*) qui finance le prix du poster étudiant qui sera remis lors du colloque. Nous remercions enfin des collègues archéologues de l'INRAP, Bénédicte Guillot, Hélène Dupont, Sylvain Mazet et Aminte Thomann ainsi que Stéphane Büttner du CEM d'Auxerre et l'abbaye de Jumièges d'avoir accepté de guider les congressistes pour la découverte du patrimoine local.

Le comité local d'organisation vous souhaite la bienvenue dans la ville de Rouen.

Pour le comité d'organisation,
Anne Bocquet-Lienard (UMR CRAHAM) & Damase Mouralis (UMR IDEES).

Comité scientifique

- Cécile ALLINNE, Maître de conférences, CRAHAM - Centre Michel Boüard, UMR CNRS 6273
- Marie BALASSE, Directrice de recherche (CNRS), Muséum national d'histoire naturelle (MNHN)
- Nicolas BERNIGAUD, Post-doctorant, ASM UMR CNRS 5140
- Frédérique BERTONCELLO, Chargé de recherche (CNRS), CEPAM UMR CNRS 7264
- Guillaume BLANCHET, Ingénieur de recherche, CRAHAM - Centre Michel Boüard UMR CNRS 6273
- Anne BOCQUET-LIÉNARD, Ingénieur de recherche, CRAHAM - Centre Michel Boüard UMR CNRS 6273)
- Sylvain BURRI, Chargé de recherche (CNRS), Traces UMR CNRS 5608
- Maria-Elena CASTIELLO, Post-doctorante, Institute of Archaeology - University of Bern
- Yoann CHANTREAU, Ingénieur de recherche, CReAAH UMR CNRS 6566) / Direction Régionale des Affaires Culturelles (Service Régional d'Archéologie de Bretagne)
- Stoil CHAPKANSKI, Ingénieur de recherche, IDEES UMR CNRS 6266
- Marie-Yvane DAIRE, Directeur de recherche CNRS, Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CReAAH UMR CNRS 6566)
- Bertrand DAVID, Ingénieur de recherche, ArAr UMR CNRS 5138
- Thomas DELBEY, Senior Research Fellow, Cranfield Forensic Institute (CFI)
- François DELISLE, Ingénieur de recherche, GRHis UR université de Rouen 3831
- Cécile FINCO, Chargé de recherche, ENDSUM CEREMA
- Paul FRANÇOIS, Ingénieur de recherche, LA3M UMR CNRS 7298
- Nicolas FREREBEAU, Ingénieur de recherche CNRS, Archeosciences Bordeaux UMR CNRS 6034
- Xavier GALLET, Ingénieur de recherche, HNHP UMR CNRS 7194
- Joseph GAUTHIER, Chargé de recherche CNRS, Chrono-environnement UMR CNRS 6249
- Kim GENUITE, Chercheur post-doctoral, PACEA UMR CNRS 5199
- Jean-Philippe GOIRAN, Chargé de recherche CNRS, Archéorient UMR CNRS 5133
- Julie GRAVIER, Chargée de recherche CNRS, Laboratoire ThéMA UMR 6049
- Anaïs GUILLEM, Ingénieure de recherche, MAP UPR CNRS 2002) / ERC n_Dame_Heritage
- Guillaume GUÉRIN, Chargé de recherche CNRS, Géosciences Rennes UMR CNRS 6118
- Thomas HUET, Ingénieur de recherche / Chercheur associé, School of Archeology (Oxford university / ASM UMR CNRS 5140
- Klervia JAOUEN, Chargée de recherche (CNRS), GET UMR CNRS 5563
- Raphaëlle KRUMMEICH, Ingénieure de recherche, IDEES UMR CNRS 6266
- Jean-Claude LEFÈVRE, Ingénieur de recherche, GEOPS UMR CNRS 8148
- Yann LEJEUNE, Géoarchéologue / Chercheur associé, Service archéologie de Loire-Atlantique / CReAAH UMR CNRS 6566
- Léa MAIRAVILLE, Doctorante, IDEES UMR CNRS 6266)
- Valentin MICLON, Chargé de projets, Région Normandie, CRAHAM - Centre Michel Bouard UMR CNRS 6273
- Gwénaëlle MOREAU, Ingénieur de recherche, Space-Arc
- Damase MOURALIS, Professeur, IDEES UMR CNRS 6266
- Carole NEHMÉ, Research Maître de conférences, IDEES UMR CNRS 6266
- Marie-Jeanne OURIACHI, Maître de conférences, CEPAM UMR CNRS 7264
- Inès PACTAT, Post-doctorante, TRACES UMR CNRS 5608
- Edwige PONS-BRANCHU, Professeur, LSCE UMR CNRS 8212
- Louise PURDUE, Chargé de recherche CNRS, CEPAM UMR CNRS 7264
- Sébastien PUTNIAK, Chargé de recherche CNRS, CITERES-LAT UMR CNRS 7324
- Alain QUEFFELEC, Ingénieur de recherche, PACEA UMR CNRS 5199
- Sylvain RASSAT, Ingénieur de recherche, SAMA UR Lorraine 1132
- Sébastien REY-COYREHOURCQ, Ingénieur de recherche, IDEES UMR CNRS 6266
- Ferreol SALOMON, Chargé de recherche CNRS, LIVE UMR CNRS 7362
- Pierre-Gil SALVADOR, Professeur, TVES ULR Lille 4477
- Guillaume SARAH, Chargé de recherche CNRS, IRAMAT UMR CNRS 7065
- Zoé SICARD-DELAGE, Doctorante, IDEES UMR CNRS 6266
- Pierre STEPHAN, Chargé de recherche CNRS, LETG UMR CNRS 6554
- Dominique TODISCO, Maître de conférences, IDEES UMR CNRS 6266
- Florian TÉREYGEOL, Directeur de recherche CNRS, IRAMAT UMR CNRS 7065
- Muriel VAN RUYMBEKE, Post-doctorante, C2DH université de Luxembourg
- Florence VERDIN, Chargé de recherche CNRS, Ausonius UMR CNRS 5607
- Sophie VERHEYDEN, Géologue, GSB Royal Belgian Institute of Natural Sciences

- Georges VERLY, Collaborateur scientifique / Chercheur associé, Royal Museum of Art and History Brussels - EACOM / IRAMAT UMR CNRS 7065
- Millena FROUIN, Ingénieur d'études, Ministère de la Culture DRAC SRA Île-de-France / Archéologies et Sciences de l'Antiquité (UMR 7041)
- Laurent DESCHODT, Géoarchéologue, INRAP / LGP UMR 8591

Ainsi que les membres du bureau du GMPCA :

- Ludovic BELLOT-GURLET, Professeur des universités, Monaris UMR CNRS 8233
- Philippe LANOS, Directeur de recherche, Archéosciences Bordeaux / Géosciences-Rennes (UMR CNRS 6118) / IRAMAT UMR CNRS 7065
- François-Xavier LE BOURDONNEC, Maître de conférences, Archeosciences Bordeaux UMR CNRS 6034
- Sylvain BAUVAIS, Directeur de recherche CNRS, IRAMATUMR CNRS 7065 / Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération / Laboratoire Métallurgies et Cultures
- Nadia CANTIN, Ingénieur de recherche, CEAlex UAR CNRS & CEA 3134
- Yoann CHANTREAU, Ingénieur d'études, CReAAH UMR CNRS 6566 / Direction Régionale des Affaires Culturelles (Service Régional d'Archéologie de Bretagne)
- Emmanuelle DELQUÉ-KOLIĆ, Ingénieure de recherche, LMC14 UMS CEA CNRS IRD
- Alexa DUFRAISSE, Chargée de recherche CNRS, AASPE UMR CNRS 7209
- Guillaume HULIN, Géophysicien / Chercheur associé, INRAP / METIS UMR CNRS 7619
- Gaspard PAGÈS, Chargé de Recherche CNRS, IFPO Beyrouth, Liban

Comité d'organisation

- Cécile ALLINNE, Maître de conférences, CRAHAM - Centre Michel Boüard UMR CNRS 6273
- Ingrid BEJARANO, Doctorante, IDEES UMR CNRS 6266
- Guillaume BLANCHET, Ingénieur, CRAHAM - Centre Michel Boüard UMR CNRS 6273
- Anne BOCQUET-LIÉNARD, Ingénieur, CRAHAM - Centre Michel Boüard UMR CNRS 6273
- Brian CHAIZE, Maître de conférences, IDEES UMR CNRS 6266
- Stoil CHAPKANSKI, Ingénieur, IDEES UMR CNRS 6266
- Armelle COUILLET, Ingénieur, IDEES UMR CNRS 6269
- François DELISLE, Ingénieur, GRHis UR université de Rouen 3831
- France DUBICHE, Doctorante, IDEES UMR CNRS 6266
- Juliette DUPRÉ, Technicienne, CRAHAM - Centre Michel Boüard UMR CNRS 6273
- Raphaëlle KRUMMEICH, Ingénieur, IDEES UMR CNRS 6266
- Laurent KUPELIAN, Doctorant, IDEES UMR CNRS 6266
- Benjamin LECOMTE, gestionnaire financier, IDEES UMR CNRS 6266
- Léa MAIRAVILLE, Doctorante, IDEES UMR CNRS 6266
- Sylvain MAZET, directeur adjoint scientifique et technique, INRAP (Seine-Maritime et Eure)
- Valentin MICLON, Chargé de projets, Région Normandie (site de Caen), CRAHAM - Centre Michel Boüard UMR CNRS 6273
- Damase MOURALIS, Professeur des universités, IDEES UMR CNRS 6266
- Carole NEHMÉ, Maître de conférences, IDEES UMR CNRS 6266
- Sébastien REY-COYREHOURCQ, Ingénieur, IDEES UMR CNRS 6266
- Zoé SICARD-DELAGE, Doctorante, IDEES UMR CNRS 6266
- Dominique TODISCO, Maître de conférences, IDEES UMR CNRS 6266
- Mariacristina VARANO, Maître de conférences, GRHis UR université de Rouen 3831

Elles/ils nous soutiennent

Le XXV^e colloque d'archéométrie est organisé par trois laboratoires avec le soutien de leurs tutelles :



<https://www.umd-idees.fr/>



<https://craham.unicaen.fr/>



<https://grhis.univ-rouen.fr/grhis/>



<https://www.univ-rouen.fr/>



<https://www.unicaen.fr/>



<https://www.normandie-univ.fr/>



<https://www.cnrs.fr/fr> &
<https://miti.cnrs.fr/>

Il bénéficie également du soutien des partenaires suivants :



<https://cist.cnrs.fr/>



Institut national
de recherches
archéologiques
préventives

<https://www.inrap.fr/>



Soutenu
par



Service Régional de
l'Archéologie :
<https://www.culture.gouv.fr/>



<https://www.metropole-rouen-normandie.fr/equipements/le-pavillon-des-transitions>



Institut de Recherche
Inter-disciplinaire
Homme Société

<https://irihs.univ-rouen.fr/fr>



<https://archaeo.peercommunityin.org/>



ABBAYE
DE JUMIÈGES

<https://www.abbayedejumieges.fr/>



SEINE-MARITIME
LE DÉPARTEMENT



<https://socarchsci.org/>



<https://caafrance.hypotheses.org/>



<http://synergie4.com/>



<https://www.archeodunum.com/>

Thème 1. Les paysages d'eau : des interactions Homme-Milieu aux dynamiques socio-environnementales

Coordination : Cécile ALLINNE, Stoil CHAPKANSKI, Léa MAIRAVILLE, Dominique TODISCO

Depuis des millénaires et sous toutes les latitudes, les hydrosystèmes continentaux et côtiers représentent des environnements attractifs pour les sociétés humaines. Ces « paysages d'eau » ont été anthropisés très précocement, jouant un rôle crucial dans les processus de diffusion culturelle et matérielle. En raison d'un fonctionnement hydro-géomorphologique pouvant être extrêmement dynamique, ces environnements peuvent toutefois montrer des réponses rapides face aux forçages climatiques. Ce dynamisme explique la nécessaire adaptation des sociétés riveraines, qui ont dû mettre en place des stratégies d'aménagements spécifiques pour réduire les risques, et la vulnérabilité associée, face aux inondations ou aux aléas d'érosion. Dans ce contexte, il est également pertinent de penser et documenter la vulnérabilité des sites archéologiques face au recul des rivages, à la fonte du pergélisol côtier, ou encore à l'érosion fluviale, véritable défi sociétal en France, mais aussi à l'étranger.

Session 1.1. Crises et résilience des sociétés en contexte fluvial et lacustre : communications orales & posters

Session 1.2. La trajectoire des socio-systèmes environnementaux à l'interface terre-mer : communications orales & posters

Session 1.3. Les sites archéologiques à l'heure de l'Anthropocène : Vulnérabilité, gestion et défis sociétaux : communications orales & posters

Keynote 1 :

Paysages d'eau et de glace : vivre au pied de l'Inlandsis groenlandais

Gauthier Émilie ¹

¹ Laboratoire Chrono-environnement UMR 6249, CNRS & Université de Franche-Comté, 16 route de Gray, 25000 Besançon – France – Emilie.Gauthier@univ-fcomte.fr

Le réchauffement global actuel en Arctique a des répercussions variées en termes de changements environnementaux, économiques et culturels. Compte tenu de ces bouleversements et de l'intérêt stratégique que revêtent les régions arctiques et subarctiques, il est fondamental de comprendre et de documenter les relations qui ont existées, au cours du dernier millénaire, entre les sociétés humaines et leur environnement. Cette période, couvrant l'optimum climatique médiéval, le Petit Age Glaciaire et le réchauffement récent, a été marquée par des fluctuations climatiques ayant affecté les dynamiques environnementales mais aussi l'évolution culturelle des populations. Comprendre les interactions sociétés-environnement s'inscrit dans une démarche de retro-observation associant archéologie, écologie, paléo-environnement et anthropologie sociale. Nous examinerons deux cas d'études, celui des agriculteurs médiévaux et modernes du sud du Groenland, et celui des chasseurs Thulé et Inuit de la côte est.

Session 1.1. Crises et résilience des sociétés en contexte fluvial et lacustre.

Communications orales

Les enceintes néolithiques dans leur contexte alluvial, nouveaux éléments dans la vallée de la haute Seine

Grimaud Jean-Louis * ¹, Patrick Gouge ², Inès Gabert ³,
Christophe Petit ^{4,5}

¹ Centre de Géosciences – MINES ParisTech - École nationale supérieure des mines de Paris – France

² Service départemental d'archéologie de Seine-et-Marne – - Centre Départemental Archéologie de la Bassée - 11 rue des Roises - 77 118 Bazoches-lès-Bray, France

³ MINES ParisTech - Centre de Géosciences – MINES ParisTech, PSL Research University – France

⁴ Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne (UP1) – Université Paris I - Panthéon-Sorbonne – 12 place du Panthéon - 75231 Paris Cedex 05, France

⁵ Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn) – Université Paris I - Panthéon-Sorbonne, CNRS : UMR7041, Université Paris X - Paris Ouest Nanterre La Défense – Maison René Ginouvès Boîte 3 21, allée de l'université 92023 Nanterre Cedex – France

Au cours du Néolithique, le processus de sédentarisation des populations de l'Europe occidentale non méditerranéenne s'est manifestement accompagné de l'édification de vastes enceintes dont les fonctions restent encore sujettes à débat. Une enceinte était généralement constituée d'une palissade curviligne de plusieurs centaines de mètres de circonférence, faite de bois et très souvent doublée à l'extérieur d'un fossé discontinu pour former un talus interne.

Dans la Bassée (les 60 km de plaine alluviale de la haute Seine entre sa confluence avec l'Aube en amont et celle avec l'Yonne en aval), plus d'une dizaine d'enceintes ont pu être détectées et fouillées depuis 1960. Elles se rapportent à différentes phases du Néolithique moyen (entre -4500 et -3700), voire peut-être du Néolithique récent (entre -3700 et -3200). La cartographie de ces enceintes dans le contexte alluvial de cette époque donne l'occasion de contribuer à préciser les interactions entre leurs occupants et le milieu naturel.

Dans cette étude, l'analyse de l'évolution de la migration latérale et du débit de la Seine est présentée afin de la restituer dans son contexte spatial et temporel. Dans un premier temps, une ré-estimation de cette évolution est proposée autour des deux enceintes asynchrones du « Haut des Nachères » à Noyen-sur-Seine. Nous montrons ainsi que, contrairement à l'hypothèse initiale, ces enceintes n'étaient pas adossées à un tracé de la Seine considéré à tort comme datant du Néolithique. En effet, les paléochenaux qui semblaient participer de l'aménagement de ces enceintes, se sont en fait révélés beaucoup plus récents (i.e. : Moyen-Âge et XVIII^e siècle). À l'origine, ces deux enceintes étaient donc beaucoup plus larges et ont, par la suite, été érodées par les déplacements latéraux de la Seine (qui pouvaient atteindre plus de 2 m par an au XVIII^e siècle). Dans un second temps, les tracés préservés des enceintes ont été digitalisés à partir des rapports de fouilles et reportés sur la carte géomorphologique de la plaine alluviale. Sur cette carte, les enceintes paraissent ainsi systématiquement interrompues par l'érosion fluviale à la limite entre les terrasses du Pléistocène et celles de l'Holocène. En revanche, les enceintes qui ont été complètement préservées de cette érosion, sont entièrement situées sur des terrasses du Pléistocène et présentent surtout un plan ovale. On peut donc raisonnablement avancer l'hypothèse que les enceintes néolithiques érodées étaient par conséquent non seulement beaucoup plus larges et ovales, mais également aménagées loin des cours d'eau au Néolithique, à bonne distance des crues et de leurs effets indésirables.

Mots-Clés : Neolithique, enceinte, rivières, plaine alluviale

*Intervenant

La séquence stratigraphique début holocène du site du Chemin Herbu à Persan (Val d'Oise) : récurrence d'occupations mésolithiques en amont d'un barrage de tuf calcaire ?

Mathieu Rué * ^{1,2}, Loïc Bouffard ³, Yann Le Jeune ^{4,5}, Aurélia Alligri ^{6,7}, Alexandre Angelin ⁸, Anaïs Lebrun ^{9,10}, Alexis Taylor ^{1,7}

¹ Paléotime – Société Paléotime – France – mathieu.rue@paleotime.fr

² Archéologie des Sociétés Méditerranéennes – UMR 5140 ASM - Archéologie des Sociétés Méditerranéennes – France

³ Inrap Auvergne-Rhône-Alpes – Ministère de la Culture et de la Communication, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – France

⁴ Service archéologie de Loire-Atlantique – Ministère de la Culture et de la Communication – France

⁵ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – CReAAH, UMR 6566 – France

⁶ Service départemental d'Archéologie du Val d'Oise – Ministère de la Culture et de la Communication – France

⁷ Archéologies et Sciences de l'Antiquité – ArScAn-UMR 7041, Nanterre – France

⁸ Archéorient - Environnements et sociétés de l'Orient ancien – Université de Lyon, CNRS, Archeorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, France – France

⁹ Eveha – Ministère de la Culture et de la Communication – France

¹⁰ Éco-Anthropologie – UMR 7206, Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS, Université de Paris, Musée de l'Homme 17 Place du Trocadéro 75016 Paris, France – France

Le site du Chemin Herbu à Persan est implanté dans le fond de vallée de l'Esches, à 1,5 km de sa confluence avec la rive droite de la basse vallée de l'Oise. Sa découverte est à mettre à l'actif du Service départemental d'archéologie du Val d'Oise lors d'un diagnostic de 47 ha réalisé en 2016. L'objectif de cette communication vise à présenter les principaux résultats obtenus sur le comblement sédimentaire du fond de vallée investigué lors du diagnostic et de la fouille préventive effectuée en 2019 et 2021 (stratigraphie, micromorphologie, granulométrie, datations). L'obtention de grandes coupes stratigraphiques continues, sur une longueur totale cumulée d'environ 750 m, a permis de documenter précisément l'organisation interne de ce comblement, de même que l'insertion des occupations épipaléolithiques, mésolithiques et protohistoriques reconnues.

Le remplissage de la vallée de l'Esches au cours de l'Holocène atteint une puissance cumulée d'environ 6 m à 7 m d'épaisseur. Il débute par une épaisse accumulation de tufs calcaires dans lesquels s'intercalent des horizons organiques relativement continus et subhorizontaux, probablement mis en place dans un contexte fluvio-lacustre d'arrière barrage stromatolithique. Ce milieu attractif pourrait expliquer la récurrence d'occupations au cours du Mésolithique. La datation des horizons organiques par le radiocarbone situe approximativement cette phase fluvio-lacustre entre 10.2 et 7.3 ka BP, soit entre la fin du Préboréal et le milieu de l'Atlantique. La remontée progressive de la retenue d'eau et des sols de rive associés a fortement contraint la formation et la conservation des espaces occupés par les Mésolithiques, ce que les données de la taphonomie lithique ont permis de confirmer.

Le déclin de ce système alluvial singulier, non encore précisément calé dans le temps (possiblement au cours du Néolithique moyen) laisse place à des apports limoneux traduisant une érosion croissante des versants et un assèchement du fond de vallée, propice à l'établissement de la nécropole de Chambly - Persan entre la fin du Hallstatt et La Tène ancienne.

*Intervenant

Mots-Clés : géoarchéologie, fond de vallée, tuf calcaire, Mésolithique, vallée de l'Oise, Bassin parisien

Cohabiter avec l'aléa hydrologique dans la longue durée : la résilience des sociétés du val de Cisse en Loire moyenne (région Centre-Val de Loire)

Pauline Thonniet * ¹

¹ EVEHA (Etudes et valorisations archéologiques) – UMR 7324 CITERES-LAT – France – pauline.thonniet@eveha.fr

Le val de Cisse a fait l'objet d'une thèse de doctorat en géoarchéologie afin de restituer la fabrique du paysage de ce géosystème dans la longue durée, en particulier depuis la fin du Tardiglaciaire, et jusqu'à la fin du Moyen Âge. La topographie de cet espace est particulière. En effet, il est situé en fond de vallée et il se trouve cloisonné entre le coteau nord au pied duquel s'écoule la Cisse, et la Loire au sud. En dépit de cet implantation, il est occupé depuis plusieurs millénaires, ce qui a conduit à s'interroger sur les relations des sociétés avec leur milieu, sur les modalités d'occupation du sol, sur la gestion de l'aléa hydrologique et du risque sur le temps long, ainsi que sur la perception de ce risque par les sociétés.

La démarche méthodologique – nécessairement pluridisciplinaire et multiscalaire – a mobilisé les sources historiques sous toutes leurs formes : textuelles, planimétriques et archéologiques, ainsi que des données environnementales (topographie, hydrographie, géologie, etc.). La méthode régressive et l'utilisation d'un système d'information géographique ont été des outils précieux pour le croisement des données et pour cartographier le risque au Moyen Âge et à la période moderne. Les témoignages écrits des populations apportent un éclairage sur la perception de l'aléa, du risque vécu, de la vulnérabilité ressentie et de la réponse des sociétés aux contraintes environnementales.

La recherche a principalement concerné le rapport des sociétés à l'aléa hydrologique dans ce géosystème soumis au fleuve ligérien, ce qui a permis d'identifier les ruptures et les continuités de l'aléa et du risque sur plusieurs siècles. Un intérêt particulier a été porté sur les processus-réponses que les riverains ont eu face au risque et sur les répercussions qu'elles ont eues sur l'hydrosystème Loire. Cette approche a mis en évidence qu'en dépit du risque naturel et des crises climatiques (Petit Âge Glaciaire), les sociétés se sont adaptées et ont façonné le paysage qui porte aujourd'hui la mémoire de leurs héritages et des catastrophes.

Mots-Clés : Loire, Cisse, Paysage, Aléa, Géoarchéologie

*Intervenant

Une villa dans les marais, étude des interactions socio-environnementales entre le site du Vernai (Isère) et son environnement

Lia Vermot ^{*} ¹, Jean-François Berger ², Robert Royet, Elvyre Royet, Charly Massa ³, Jacqueline Argant ⁴

¹ UMR 5600 Environnement Ville Société - IRG – Université Lumière - Lyon II – France

² UMR 5600 Environnement Ville Société – CNRS – France

³ ARTeHis UMR 6298 – CNRS, Université de Bourgogne – France

⁴ Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique – Aix-Marseille Université - AMU – France

Le Vernai est un site humide clé pour discuter des interactions socio-environnementales. Il est occupé de l'âge du Bronze à la fin du Moyen Âge avec peu de hiatus et des occupations souvent élitaires. Elles se développent sur une petite butte glacio-lacustre au cœur d'une vaste dépression humide d'origine glaciaire. Encore aujourd'hui, cette butte est entourée de marais et longée par une rivière, le Girondan. Les occupations successives du site ont forcément dû s'adapter à l'humidité omniprésente des terrains environnants.

En 2023, un sondage géoarchéologique a été réalisé entre le site et l'exsurgence du marais. La coupe a été échantillonnée et analysée par un protocole multi-indicateurs alliant sédimentologie, géochimie et paléoécologie. Cette coupe synthétise en partie l'évolution du milieu humide, les dynamiques hydro-sédimentaires et les conséquences des activités humaines sur ces milieux. On observe ainsi une nette rupture dans les dynamiques hydro-sédimentaires et les conditions du milieu à un moment encore indéterminé de la Protohistoire (dates C14 en cours), caractérisée par le passage d'un fonctionnement fluvio-palustre de marais à une sédimentation liée à l'érosion et à une ouverture plus importante du milieu pour une mise en culture des terres. Plusieurs épisodes de crues sableuses intercalées dans la séquence témoignent de phases de dérèglements hydrologiques qui ont impacté les marais et la rivière.

En plus de cette coupe, le marais, la rivière et le site sont étudiés depuis la fin des années 1990 par des recherches archéologiques (R. et E. Royet) qui intègrent des études géoarchéologiques et paléoenvironnementales (J.-F. Berger). Elles ont permis d'étudier les interactions entre les occupations du site et la gestion des milieux humides.

Plusieurs indices suggèrent une première mise en valeur des marais et des aménagements sur la rivière dès l'époque laténienne en relation avec la ferme qui s'y développe. Mais les plus importants aménagements sont liés à la villa gallo-romaine (40 av. J.-C. – Ve s. ap. J.-C.) avec de vastes réseaux drainants hiérarchisés afin de mettre en culture les marais dans un premier temps puis de les utiliser comme pâturages. Plusieurs aménagements pour stabiliser les berges de la rivière ont été identifiés.

Grâce à plusieurs centaines de mètres de tranchées réalisées dans le marais à la fin des années 1990, près d'une trentaine de fossés de drainage ont été recoupés et échantillonnés. En parallèle, des sondages s'intéressaient aux bords de la rivière. Plusieurs ont fait l'objet d'un protocole d'étude géoarchéologique pluridisciplinaire alliant sédimentologie, géochimie, paléoécologie et datations radiocarbone. Les résultats ont mis en avant l'existence de plusieurs dérèglements hydro-sédimentaires dans la rivière et dans les réseaux du marais. En parallèle sur le site, plusieurs vestiges témoignent de phases de réorganisations de l'occupation en réaction à ces dérèglements. La mise en valeur des marais va également évoluer au fil de ces dérèglements.

L'étude pluridisciplinaire du site du Vernai permet donc de mettre en lumière les influences mutuelles

^{*}Intervenant

entre les milieux humides et les occupations humaines qui sont intrinsèquement liés au sein de ce site depuis l'âge du Fer.

Mots-Clés : Géoarchéologie, Milieux humides, Dynamiques hydrosédimentaires, Adaptation, Socio, écosystème

L'écobuage des terres argileuses : une technique agricole méconnue à forte visibilité archéologique

Clément Menbrivès ^{*} ¹, Christophe Petit ^{2,3}

¹ Archéologies et Sciences de l'Antiquité – ArScAn-UMR 7041, Nanterre – France – clement.membrives@etu.univ-paris1.fr

² Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne - UFR Histoire de l'art et archéologie – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – 3 rue Michelet - 75006 Paris, France

³ Archéologies et Sciences de l'Antiquité – ArScAn-UMR 7041, Nanterre – France

On recense dans la littérature archéologique grise (rapports de diagnostic préventif ou de fouille) de nombreuses mentions de traces laissées par le passage du feu, qui résulteraient de déforestations anthropiques, menées notamment dans le cadre d'activités agricoles ou pastorales. Ces traces qui sont enregistrées comme des « foyers de déforestation », des « foyers d'essartage » ou encore des « chablis brûlés » ou des « souches brûlées », sont souvent signalées dans des contextes alluviaux et d'autres zones humides. Elles s'apparentent à de plus ou moins vastes couches de terre rubéfiée, qui sont souvent récurrentes spatialement. L'interprétation de ces traces reste hypothétique, car elles sont très rarement caractérisées en détail. De plus, des phénomènes très similaires d'un point de vue morphologique et contextuel sont interprétés de manière très diverse, tantôt comme des altérations produites par des incendies naturels ou des événements catastrophiques, tantôt comme le résultat de processus pédologiques seuls, excluant une hypothèse thermique.

Afin de comprendre l'origine de ces « foyers d'essartage », nous avons étudié des couches rubéfiées morphologiquement apparentées à ces phénomènes, mises au jour lors de différentes opérations archéologiques préventives et programmées (bordure du lac de Chalain, plaine alluviale de la Seine et de l'Allier, marais de Limagne). Ces couches ont été caractérisées à différentes échelles, sur le terrain et en laboratoire, à l'aide d'approches géoarchéologiques et archéométriques (analyse élémentaire, minéralogie, micromorphologie, microscopie électronique, spectrophotométrie, cuissons expérimentales, etc.) et d'études paléoenvironnementales.

Ces couches sont le résultat de dépôts relativement massifs et spatialement récurrents de matériaux en terre d'origine locale ayant été chauffés dans des conditions excédentaires en oxygène. Ces dépôts sont ensuite affectés de façon très hétérogène par des remaniements mécaniques, biologiques puis par des processus pédologiques qui peuvent entraîner le développement d'une rubéfaction encore plus marquée, ou la formation contiguë de nouveaux matériaux argileux noirâtres. La conjugaison de ces processus complexifie la compréhension de ces couches et motive l'approche multidisciplinaire mise en œuvre. Les résultats réfutent l'hypothèse qu'il s'agisse de foyers ou de chablis.

En revanche, leurs caractéristiques sont tout à fait cohérentes avec les produits d'une technique agricole singulière, l'écobuage, qui consiste à décapier la surface d'un terrain et à en brûler les éléments de sol extraits dans des fourneaux (Portères, 1972 ; Sigaut, 1975). Mené dans des contextes suffisamment argileux, l'écobuage peut entraîner une cuisson rubéfiante d'un important volume de terre. La cuisson des argiles et la combustion des matières organiques permettent de cultiver temporairement ces milieux très contraignants par leur texture lourde et leur humidité. Nous soutenons que ces couches rubéfiées correspondent à des vestiges de fourneaux d'écobuage, témoins de la mise en culture de ces espaces alluviaux et péri-lacustres à différentes époques depuis le Néolithique (Menbrivès, 2023).

*Intervenant

Bibliographie

Menbrivès C., 2023, *Cuire la terre pour cultiver depuis le Néolithique. Approches géoarchéologiques pour la reconnaissance de témoins primaires de feux agro-pastoraux (France)*, Thèse de doctorat d'Archéologie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris.

Portères R., 1972, De l'écobuage comme un système mixte de culture et de production, *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 19(6), 151-207.

Sigaut F., 1975, *L'agriculture et le feu. Rôle et place du feu dans les techniques de préparation du champ de l'ancienne agriculture européenne* École des Hautes Études en Sciences Sociales et Mouton & Co. éd., Cahiers des études rurales I, Paris, La Haye.

Mots-Clés : écobuage, abattis, brûlis, rubéfaction, paléosol, archéopédologie, Néolithique, Moyen Âge

Evolution of the fluvial landscape in the Mahasthangarh region (Bangladesh) over the last 2000 years : contribution of satellite images and geomorphological studies to the history of paleoenvironment

Yohan Chabot * ¹, Damien Arhan ^{2,3}, Vincent Lefevre ⁴,
Coline Lefrancq ⁵

¹ Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels – Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12, CNRS, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12 – France – yohan.chabot@lgp.cnrs.fr

² École française d'Extrême-Orient – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – France – damien.arhan@gmail.com

³ Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels – Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12, CNRS – France

⁴ Sorbonne Université - Faculté des Lettres - UFR Histoire – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – France – vincent.lefevre@sorbonne-universite.fr

⁵ Archéologies et Sciences de l'Antiquité – Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, Nanterre, CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication – France – coline.lefrancq@cnrs.fr

In Bangladesh, paleoenvironmental studies with regard to human settlements remain unusual. For the site of Mahasthangarh located in northwestern Bangladesh, a pioneering work was conducted by Christine Jacqueminet and Jean-Paul Bravard in the 1990's. They carried out a first study on the geo-environment of Mahasthangarh. This ancient city has been built on the eastern margin of the Barind Tract – a Pleistocene elevated alluvial terrace – along the Karatoya River. Nowadays, the Karatoya is a small river but in the historical times it was a tributary of the Tista River, a major river of North Bengal. According to written sources and ancient maps, the Karatoya has undergone many changes over the past 2000 years and especially over the last two centuries. In addition, some parts of the site appear to have been damaged by floods according to archaeological findings. After a gap of almost 25 years, the geomorphological studies have restarted to provide new data on the environmental changes recorded in the region of Mahasthangarh during the last 2000 years in relation to the human settlement.

This presentation will introduce the preliminary results of this second phase of research that is focusing (i) on the analysis of satellite images to identify the fluvial paleoforms and the ancient drainage network in the current landscape; (ii) on geomorphological operations conducted in the field (with a sedimentary record) to define the processes, the causes and the chronology of the fluvial changes.

Mots-Clés : Fluvial changes, Geomorphology, Karatoya River, Mahasthangarh, Bangladesh

*Intervenant

Session 1.1. Crises et résilience des sociétés en contexte fluvial et lacustre

Posters

La séquence organique de la vallée de l'Evel à Siviac (Evellys, Morbihan). Un jalon pour la compréhension des hydrosystèmes du Massif armoricain au début de l'Holocène.

Yoann Chantreau ^{*} ¹, Chantal Leroyer ², David Aoustin ³, Mathieu Le Diagon ⁴, Pierre Charretier ⁵, Muriel Mélin ⁶, Aurélie Crowch ⁶

¹ UMR 6566 CReAAH – DRAC- Service Régionale de l'Archéologie Bretagne – France – yoann.chantreau@culture.gouv.fr

² UMR 6566 CReAAH – Ministère de la culture – France – chantal.leroyer@univ-rennes.fr

³ UMR 6566 CReAAH - Archéosciences – CNRS : UMR6566, CNRS – France – david.aoustin@univ-rennes.fr

⁴ UMR 6566 CReAAH – Université de Rennes – France – lediagonm@hotmail.fr

⁵ UMR 6566 CReAAH – - - France – pierrecharretier@gmail.com

⁶ UMR 6566 CReAAH – DGAECAT- DC – Service archéologie du Morbihan – France – muriel.melin@morbihan.fr, aurelie.crowch@morbihan.fr

À l'occasion d'opérations d'archéologie préventive, une séquence organique de l'Evel, affluent du Blavet, a fait l'objet d'une approche paléoenvironnementale : géoarchéologie de cette vallée secondaire et analyses palynologiques, complétées par des datations 14C. Ces études contribuent à enrichir une réflexion plus globale, menée depuis 2020 dans le cadre d'un PCR (A. Crowch dir.), sur la formation de tourbières durant la première partie de l'Holocène dans le bassin versant du Blavet. La séquence étudiée s'organise en trois parties distinctes.

La sédimentation de base, très fine, rend compte d'écoulements extrêmement faibles, résultant du fonctionnement d'un chenal secondaire en marge du talweg principal. La granulométrie montre un processus de décantation, le chenal étant inactif et uniquement alimenté par des écoulements hypodermiques (bras mort). L'augmentation progressive du taux de matières organiques révèle que l'organogénèse semble s'initier dans l'axe du chenal et se propager latéralement notamment vers la berge au sud. Le paysage végétal apparaît principalement constitué de boisements clairs à noisetiers, accompagnés de chênes, ormes et tilleuls sur les versants. Une petite ripisylve, constituée de rares saules, aulnes et bouleaux, est implantée sur les berges. Restreinte, la végétation herbacée correspond à un bas-marais à Cypéracées, fougères et sphaignes. Cette première phase qui se déroule durant l'extrême fin du Boréal et l'Atlantique ancien, correspond donc à un ancien chenal de l'Evel en voie d'atterrissement.

Par la suite, la turfigénèse et le développement de la tourbière s'accompagnent d'une nette fermeture du milieu avec la mise en place d'une aulnaie dans le fond de vallée et une densification de la chênaie sur les versants. La strate herbacée, qui s'apparente à une cariçaie, apparaît réduite au sein de cette forêt alluviale. Aucune trace d'anthropisation n'est perceptible. La biomasse végétale produite devient importante et le niveau élevé de la nappe phréatique en pied de versant permet l'accumulation de la tourbe en favorisant une migration latérale du corps tourbeux vers l'axe de la vallée. Cette deuxième phase évoque donc la mise en place d'une tourbière au pied du versant sud de la vallée durant l'Atlantique récent, et traduit une période très stable sans qu'aucun processus détritique ne soit enregistré.

Ensuite, la chênaie perdure sur les versants mais la ripisylve, précédemment implantée dans le fond

*Intervenant

de vallée, régresse au bénéfice d'un bas-marais sans qu'aucun indice d'activités agro-pastorales ne soit reconnu. Ce net retrait de la ripisylve ne s'accompagne pas de changement dans la production de tourbe. Il est possible qu'une augmentation des précipitations ait permis une remontée de la nappe phréatique asphyxiant les éléments ligneux de la plaine alluviale. Cette étape est attribuée au début du Subboréal, en partie contemporain de l'occupation de la fin du Néolithique sur le plateau, mais celle-ci ne semble pas directement à l'origine des changements de la dynamique de végétation dans le fond de vallée. Enfin, il semble que la fin de la croissance de la tourbière doive être associée à un net regain de l'hydrodynamisme de la rivière, accompagné d'un rabattement du niveau de la nappe phréatique (drainage) liés à l'anthropisation du fonds de vallée et surtout des versants. Ceux-ci, encore largement boisés précédemment vont alors subir des défrichements augmentant les apports détritiques au sein de l'Evel sans doute dès la Protohistoire. À une période plus récente, l'aménagement du moulin en amont a dû contraindre l'Evel et stopper les migrations latérales de ces méandres.

Mots-Clés : Fond de vallée, turfigénèse, Holocène, Massif armoricain, anthropisation

Les documents planimétriques modernes au service de la compréhension des sociétés antiques

Aurore Di Liberto * ¹

¹ University of Luxembourg [Luxembourg] – Campus de Belval, avenue de l'Université L-4365
Esch-sur-Alzette, Luxembourg

Cette communication met en lumière l'intérêt des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) dans le domaine de l'archéologie. Outil désormais incontournable pour les archéologues, les SIG continuent de se développer et de s'adapter aux besoins spécifiques de cette discipline, en particulier pour mieux appréhender les relations entre différents sites archéologiques d'une même époque au sein d'une zone géographique donnée.

Dans ce contexte, une méthodologie a été élaborée pour recréer les parcellaires antiques à partir de plusieurs éléments : les données de structures linéaires fouillées et datées (fossés, murs, talus, etc.), les anomalies de terrain visibles sur des orthophotographies, LiDAR ou images satellites, ainsi que les documents cadastraux. Ces derniers, au cœur de notre étude, représentent une source précieuse pour la reconstitution des paysages anciens et viennent compléter les données archéologiques. Le géoréférencement et la vectorisation des cadastres napoléoniens en France, ou des Ordnance Survey Maps en Angleterre, permettent une analyse régressive, partant des documents modernes pour reconstruire les paysages anciens et leur évolution à travers les siècles.

Pour illustrer cette approche, nous présenterons les résultats obtenus de part et d'autre de la Manche, notamment dans le sud et le centre de l'Angleterre, ainsi que dans le nord de la France, couvrant les périodes protohistoriques et romaines. Dans des zones telles que la Baie des Veys en Normandie ou les Cotswolds dans le Gloucestershire, l'orientation des segments parcellaires modernes montre une adaptation à la topographie locale. En revanche, dans des régions comme l'Essex et le Nord-Pas-de-Calais, les cadastres modernes suivent davantage l'orientation des sites et des réseaux de voies antiques.

Cette méthode d'analyse, non destructive, s'applique parfaitement à l'archéologie, que ce soit pour anticiper de futures interventions ou pour aider à l'étude des stratégies d'implantation des sites archéologiques. Elle constitue un outil précieux pour faire progresser la compréhension de l'évolution des sociétés anciennes.

Mots-Clés : SIG, cadastres modernes, Ordnance Survey Maps, vectorisation, Bretagne romaine, Gaule

*Intervenant

Vers une étude historico-géo-archéologique de l'occupation du site de Narttamalai (Tamil Nadu, Inde) au cours des trois derniers millénaires

Valérie Gillet * ¹, Yohan Chabot ², Coline Lefrancq ³

¹ École française d'Extrême-Orient – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – France – valerie.gillet@efeo.net

² Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels – Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12, CNRS – France – coline.lefrancq@cnrs.fr

³ Archéologies et Sciences de l'Antiquité – Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, Nanterre, CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication – France

Situé en Inde du Sud, dans l'état du Tamil Nadu, le site de Narttamalai s'est développé au sein d'une vaste pédiplaine et est encadré par neuf collines granitiques résiduelles qui structurent le paysage. L'occupation du site et de ses alentours est attestée depuis le premier millénaire av. J.-C. et s'étend jusqu'à aujourd'hui. Les premières traces de cette occupation consistent en de grandes nécropoles construites avec des blocs de pierre et des urnes en terre cuite. Seuls vestiges archéologiques à avoir été fouillés jusqu'à présent, ces nécropoles sont disséminées tout autour du site - en dehors du périmètre délimité par les neuf collines - et localisées systématiquement à proximité de points d'eau. À partir de leur abandon, probablement vers le Ve s. apr. J.-C. et au cours des siècles suivants, plusieurs temples hindous vont être construits en différents endroits du site, cette fois dans la zone des neuf collines, par des communautés spécifiques : temples royaux entre le VII^e et le XI^e s. et temples marchands datés du XI^e s. d'après les premiers témoignages épigraphiques, mais dont la fondation est probablement antérieure. La communauté jain était également présente au moins depuis le VII^e s. comme en témoignent plusieurs abris sous roche ayant servi de monastères.

Soumis à un climat tropical semi-aride caractérisé par une forte variabilité interannuelle et pluriséculaire, l'accès à l'eau a toujours constitué un enjeu majeur à Narttamalai (y compris et peut-être même encore plus à l'heure actuelle). Le but de notre projet de recherche interdisciplinaire réunissant l'archéologie, l'épigraphie et la géomorphologie, vise à mieux comprendre le fonctionnement et le développement de ce site, en lien étroit avec l'évolution de ses paysages dans un cadre hydro-climatique changeant. L'objectif est de mettre en évidence les processus de transformation des paysages et des sociétés sud indiennes sur le temps long, et d'approfondir la compréhension de la période située entre le VI^e et IX^e s., encore mal documentée.

Deux missions de prospection initiale sur le terrain ont été menées en janvier et en septembre 2024. Les premières observations révèlent un environnement complexe, profondément modifié par des aménagements hydrauliques, ainsi que les vestiges d'une rivière (l'Agni) aujourd'hui asséchée mais ayant connu des flux importants, bien que probablement saisonniers. Ce contexte suscite des interrogations sur les relations qu'a pu entretenir le site avec la rivière Agni dont la source pourrait avoir été sur la seule colline boisée du site de Narttamalai. En tous les cas, la place de l'eau et sa gestion à grande échelle sur le site et ses alentours, illustrée par le développement des infrastructures hydrauliques à partir du VI^e s. apr. J.-C., peuvent en partie expliquer les transformations importantes que le site a connu à partir de cette

*Intervenant

époque. Au cours de notre intervention commune, nous présenterons les résultats préliminaires de ces campagnes de prospection en mettant également l'accent sur la nécessité de documenter ce patrimoine avant sa disparition partielle suite au développement des carrières de granite et de l'expansion urbaine.

Mots-Clés : Gestion de l'eau, Epigraphie, Géoarchéologie, Narttamalai, Inde du Sud

« La place avant la Place » : résultats de l'approche géoarchéologique menée lors de la fouille archéologique de la Place de la République de Caen (Calvados, France)

Arthur Glais * ¹

¹ CReAAH – CReAAH, UMR 6566 – Campus de Beaulieu, Rennes, France

En 2021, les archéologues du Département du Calvados (Normandie, France) entreprennent de fouiller l'emplacement de l'ancien hôtel de Ville de Caen détruit lors des bombardements des 7 juin et 7 juillet 1944. Si ces fouilles ont été l'occasion de retrouver les traces de ces destructions et de restituer les étapes de constitution de ce qui était, avant la guerre, le centre administratif et culturel de Caen, elles ont également permis de révéler les dynamiques paléoenvironnementales de cette zone humide. Longtemps resté inhospitalier, car soumis et partagé entre les influences estuariennes et fluviales, cet espace aujourd'hui pleinement intégré à la ville, constitue un milieu sédimentaire propice à l'enregistrement des changements environnementaux holocènes. Les résultats de l'approche géoarchéologique issue de la fouille viennent compléter les connaissances acquises à partir des séquences sédimentaires situées en aval de la vallée de l'Orne ou au sein de petits hydrosystèmes localisés hors de l'agglomération caennaise. Jusque-là les recherches s'étaient principalement concentrées sur la question de l'évolution des milieux dans la basse vallée depuis le Néolithique, en se focalisant sur la succession des dynamiques fluvio-estuariennes afin de proposer un cadre chronostratigraphique plus précis de son remplissage. Les périodes chronoculturelles comprises entre l'Âge du Fer et l'époque Moderne n'avaient pu être renseignées qu'à la marge. À l'issue de cette fouille, des analyses polliniques et granulométriques ont été menées sur une séquence sédimentaire de 4 mètres, située sous les niveaux de remblais contemporains. Depuis le début de l'Holocène, la Basse vallée de l'Orne correspond à un environnement fluvio-estuarien régulièrement soumis à des variations des dynamiques hydrosédimentaires. Les transgressions marines de l'Atlantique et du Subatlantique alternent avec des phases de retrait temporaire des incursions marines à la transition avec le Subboréal (Âge du Bronze) et au début de l'Antiquité. Ce n'est qu'à partir du Moyen Âge que la dynamique sédimentaire de la Place de la République témoigne du tournant historique qu'a connu cet environnement. La nature marécageuse du terrain et l'absence d'artéfact archéologique issu d'élément bâti antérieur au XVI^e siècle ont longtemps laissé penser à un espace délaissé à la marge et strictement assujéti aux dynamiques environnementales. Si ces faits sont confirmés par les sondages, en revanche les premiers grands travaux d'aménagement n'ont pas attendu l'intégration urbaine de la place au XVI^e siècle et interviennent dès l'émergence de Caen en tant que ville, à l'initiative de Guillaume le Conquérant au milieu du XI^e siècle. Ces actions entraînent un assèchement assez rapide des terrains qui deviennent des herbages traversés par des canaux de drainage. Malgré les aménagements à vocation hydraulique dès le règne de Guillaume le Conquérant, les siècles postérieurs ne semblent pas avoir permis une valorisation agricole permanente sur ces terrains dénommés « Grands Prés ». L'importante accumulation sédimentaire constatée sous l'ancienne église des eudistes (XVII^e), première construction du site, témoigne d'une déprise et d'un abandon probable ou d'un manque d'entretien de certaines infrastructures de gestion hydraulique, situées en amont de la ville de Caen. Des crues morphogènes à charge solide conséquente ont ainsi donné lieu à des inondations régulières et au dépôt d'une sédimentation limono-argileuse pendant plusieurs siècles. Ce n'est donc qu'après son intégration derrière les édifices protecteurs de la ville, à la fin du XVI^e siècle, que cet

*Intervenant

espace sort définitivement la tête de l'eau, qu'il devient « Place », Royale d'abord puis de la République ensuite.

Mots-Clés : Dynamique fluviale, Anthropisation, Gestion hydraulique, Géoarchéologie, Palynologie

Inondations dans la plaine alluviale de Tours à la fin du Moyen Âge et au début de l'époque moderne : à la recherche des zones de stockage sédimentaire et de marqueurs de crue

Jean-Baptiste Rigot ^{*} ¹, Isabelle Gay-Ovejero ², Florent Hinschberger ²

¹ Cités, Territoires, Environnement et Sociétés – Université de Tours, CNRS – France

² UR 6293 GéHCO – Université de Tours – France

Partant des témoignages de l'impact des crues de la fin du Moyen Âge sur la ville de Tours, qui isolent parfois la cité pendant plusieurs mois en raison d'inondations répétées, lui donnant une allure d'île, le projet TUIMA (Tours Une Île au Moyen Âge ?) a pour objet d'étudier les interactions entre la Loire, le Cher et les riverains au début du PAG (Petit Âge Glaciaire), au moment où se renforce l'aléa hydrologique. Ce projet interdisciplinaire (ART Univ. Tours 2022) est en cours d'achèvement et ce colloque est l'occasion de présenter un certain nombre de résultats. L'action « géoarchéologie » du programme a consisté à identifier les espaces de stockage des sédiments de cette période dans la plaine alluviale, à analyser les sédiments et les dater (14C) et enfin, à tenter de les associer à des phases d'inondation identifiées dans les sources textuelles.

Peu d'informations existent sur les dépôts naturels du Moyen Âge ou de l'époque moderne dans la plaine, alors que les niveaux antiques sont bien repérés. Un des objectifs de cette recherche était donc de trouver des espaces de sédimentation datant de ces périodes récentes. Plus largement, il s'agissait de réfléchir sur les dynamiques hydro-sédimentaires dans ce secteur de Loire moyenne au moment où se renforce l'aléa hydrologique.

Notre travail montre que les modalités de l'inondation dans la plaine de Tours sont fortement contraintes par les aménagements, en particulier les digues établies le long des cours d'eau. Si ces dernières sont encore assez peu élevées à la fin du Moyen Âge (4 m environ par rapport à l'étiage le long de la Loire), elles vont progressivement devenir insubmersibles au cours de la période moderne. Dans ces conditions, seules les crues extraordinaires, qui conduisent à la rupture de ces ouvrages, pourraient permettre la sédimentation dans les Varennes de Tours, qui serait dès lors fort limitée. Cependant, les archives textuelles témoignent d'inondations de plus en plus fréquentes dès le XIV^e s. Deux questions se posent alors : soit les crues transportent très peu de particules en suspension, ce qui entraîne une trop faible sédimentation pour être identifiable ; soit cette sédimentation se fait dans des espaces spécifiques qu'il nous faut identifier.

Les vecteurs des inondations dans la plaine de Tours (en particulier ordinaires et moyennes) sont d'anciens chenaux de la Loire et du Cher : le ruau Sainte-Anne, orienté Nord-Sud et reliant les deux cours d'eau à l'ouest de la ville et son affluent, le ruisseau de l'Archevêque, orienté est-ouest, provenant de la vallée du Cher. Si les crues récurrentes à partir de la fin du Moyen Âge ont laissé des traces, c'est probablement dans ces chenaux que l'on pourra les identifier.

Ainsi, le remplissage sédimentaire de ces deux paléochenaux, aujourd'hui disparus mais accessibles dans les jardins publics de la ville, a été prospecté : d'abord par géophysique (géoradar et méthode EMI) et ensuite par carottages (transects), ce qui a permis de mettre en évidence des niveaux appartenant à

*Intervenant

cette période. Leur analyse sédimentaire fine (granularité, susceptibilité magnétique, spectrophotométrie) permet d'identifier ce qui pourrait s'apparenter à des épisodes de crue.

Mots-Clés : Tours, Loire, PAG, inondations, dynamiques hydrosédimentaires, paléochenaux, archives sédimentaires, sources écrites, datation 14C

Prospecter un réseau hydraulique souterrain au moyen de scanner fixe et SLAM, d'après les exemples des abbayes cisterciennes de Morimond (Haute-Marne) et d'Ourscamp (Oise)

Benoit Rouzeau * ^{1,2}, Colliou Christophe ², Joël Lucas ²

¹ Textes, Représentations, Archéologie, Autorité et Mémoires de l'Antiquité à la Renaissance - UR UPJV 4284 – Université de Picardie Jules Verne, Université de Picardie Jules Verne : UR4284 – France – benoit.rouzeau@orange.fr

² Laboratoire de Médiévisitisme Occidentale de Paris – Laboratoire de Médiévisitisme Occidentale de Paris, UMR 8589 – France – christophe.colliou@gmail.com, joel.lucas@alienmagiv.io

La question des relevés des réseaux hydrauliques monastiques souterrains est essentielle pour comprendre l'anthropisation des fonds de vallée. De la précision de ces relevés dépend la compréhension du fonctionnement du réseau et de son évolution dans la longue durée. Plus encore, ils permettent souvent en négatif d'appréhender l'organisation des bâtiments dans l'enclos monastique quand ceux-ci ont disparu. Rendre compte de la complexité de ces structures est un objectif des chercheurs qui travaillent sur le monachisme depuis de nombreuses années car ces travaux sont préalables à l'implantation des bâtiments mais le plan d'ensemble est bien sûr conçu dans ses grandes lignes dès l'installation de la communauté monastique. Après des relevés fait au décamètre, au clinomètre et à la boussole dans les années 1990, voire à la station totale au début des années 2000, les techniques ont très largement évolué. L'utilisation de scanners fixes et SLAM a considérablement renouvelé les méthodes. Ils permettent de disposer des pentes et des sections permettant d'avoir une analyse fine des différentes phases de construction. Par là même, il est possible de calculer des débits maximum autorisés. Ces calculs permettent d'appréhender les régimes des hautes eaux des cours d'eau de l'époque de leur création.

Deux abbayes cisterciennes, Morimond (Haute-Marne, région Grand Est) fondée vers 1117 et Ourscamp (Oise région des Hauts-de France), fondée en 1135, ont bénéficié de relevés qui permettent de mieux appréhender leur réseau hydraulique principal. Il faut noter que ces deux monastères font partie d'abbayes aux moyens conséquents, ce qui impacte bien entendu la constitution et l'organisation de leur réseau hydraulique. La position de ces monastères, l'un en tête de bassin versant le long du ruisseau du Flambart et l'autre, le long de l'Oise, cours d'eau navigable, n'implique pas la même quantité d'eau à disposition pour les usages des abbayes. Couplé à une connaissance du terrain et des archives de ces deux monastères, des relevés ont été effectués sur les réseaux de Morimond en 2021 et 2022, et d'Ourscamp en 2023. Ils permettent de présenter les méthodes de relevés, de rendre compte des résultats obtenus, de les discuter et de voir comment poursuivre l'amélioration de ces méthodes.

Mots-Clés : Scanner fixe, Slam, réseaux hydrauliques souterrains, cisterciens

*Intervenant

Genèse, mobilisation et transferts sédimentaires dans le méandre d'Anneville-Ambourville (Seine-Maritime, France) : une étude des paléo environnements, processus de dépôts et sources d'apports sédimentaires dans la vallée de la Seine

Zoé Sicard-Delage * ¹, Carole Nehme ¹, Hélène Tissoux ^{2,3}, Jean-Louis Grimaud ⁴, Pierre Voinchet ⁵, Stoil Chapkanski ¹, Armelle Couillet ¹,
Cécile Finco ⁶, Damase Mouralis ¹

¹ Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – Université de Caen Normandie, Université Le Havre Normandie, Université de Rouen Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Recherche Interdisciplinaire Homme et Société – France – zoe.sicard-delage1@univ-rouen.fr

² Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) – Ministère chargé de la Recherche, Ministère chargé de l'Environnement et Ministère chargé des Mines – France

³ Histoire naturelle de l'Homme préhistorique – Museum National d'Histoire Naturelle, Université de Perpignan Via Domitia, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7194, Centre National de la Recherche Scientifique – France

⁴ Centre de Géosciences – Mines Paris - PSL (École nationale supérieure des mines de Paris) – France

⁵ Histoire naturelle de l'Homme préhistorique (HNHP) – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – Institut de Paléontologie Humaine - 1, rue René Panhard - 75013 Paris, France

⁶ Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement - Direction Normandie-Centre – Cerema Normandie-Centre – France

Cette étude du méandre d'Anneville-Ambourville s'intègre dans un travail de thèse intitulé « Chronologie de l'adaptation des karsts et des versants à la dynamique d'incision quaternaire dans le bassin parisien » visant à identifier la part des apports de versants dans les accumulations sédimentaires de la basse et moyenne vallée de la Seine. Appréhender ces processus et leur chronologie permet de mieux resituer le contexte paléo-environnemental des sites archéologiques. Dans la vallée de la Seine, plusieurs sites archéologiques préservés dans des dépôts alluviaux ont été identifiés comme les sites de Tourville (MIS 6-7), (Vallin 1991, Cliquet et al., 2013, Faivre et al., 2014) ou de Saint-Pierre-les-Elbeuf (MIS 10-11) (Cliquet et Lautridou, 2007, Cliquet et al., 2009, Cliquet et al., 2013).

Les cours d'eau sont intégrés dans des systèmes évoluant au fil du temps, tributaires de l'environnement dans lequel ils se trouvent et de facteurs climatiques et tectoniques notamment. L'évolution des systèmes fluviaux dans le temps long engendre des transformations des paysages au travers desquels ils s'écoulent. Depuis plus d'un million d'années, la Seine incise les plateaux crayeux en Normandie. Dans la basse et moyenne vallée de la Seine, son tracé méandrique a évolué depuis le début du Quaternaire, au fil de périodes d'incision et d'aggradation (incision moyenne 55m/Ma, Antoine et al., 2007 ; Nehme et al. 2020 ; Genuite et al., 2024 ; Chourio-Camacho 2024), laissant des témoins dans le paysage permettant de

*Intervenant

reconstruire son paléo tracé (Génuite et al., 2021).

Au cours de ces phases d'incision et d'aggradation, la Seine mobilise et remobilise des sédiments selon un fonctionnement sédimentaire complexe. La compréhension des relations entre les diverses sources d'apports sédimentaires, au-delà de la dynamique amont-aval, permet de mieux comprendre les dynamiques du fleuve et de son environnement.

Le méandre d'Anneville-Ambourville apparaît comme un objet privilégié pour l'étude de ces processus. On y trouve des séquences fluviales, estuariennes et de dépôts périglaciaires en contexte de rive convexe de la Seine, avec une proximité aux plateaux, versants et au karst en rive concave (grottes et carrières de Caumont).

Dans ce travail, des séquences localisées dans la carrière CBN à Yville ont été étudiées. Huit logs sédimentaires localisés au GPS différentiel ont été réalisés ainsi que deux prélèvements pour datation ESR/OSL et pour caractérisation des sédiments (13). Cette étude sédimentaire préliminaire sur le terrain a été complétée par une acquisition de données avec prises de vues aériennes et obliques au drone afin de réaliser une orthophotographie et un modèle 3D des fronts de tailles étudiés, et de corréler les logs précédemment relevés. Enfin, des profils géoradar selon des axes NS et EO ont été réalisés au-dessus de ces fronts de taille. L'objectif est de pouvoir aboutir à une étude et interprétation de ce site en reconstituant des morphologies, environnements de dépôts, leur chronologie et dressant ainsi une meilleure compréhension des processus taphonomiques affectant les sites archéologiques.

Mots-Clés : Dynamique fluviale, Dépôts de versant, Quaternaire, Paléo, environnements, Photogrammétrie

Analyse du signal incendie sur une séquence profonde du lac de Chalain (Jura, France) : quels apports pour la connaissance des rythmes de l'anthropisation du milieu au Néolithique ?

Alix Simonelli * ^{1,2}, Damien Rius ², Christophe Petit ¹, Vincent Bichet ²,
Emilie Gauthier ², Clément Menbrivès ¹, Claude Souvignet ², Hervé
Richard ²

¹ Archéologies et Sciences de l'Antiquité (UMR 7041) – Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne – France

² Laboratoire Chrono-environnement (UMR 6249) – Université de Besançon – France

Depuis le Néolithique, le feu est un outil pour l'aménagement du territoire, mais la définition de son rôle, de son impact sur le milieu, et des pratiques associées à son utilisation reste polémique (Jacomet *et al.*, 2016). À Chalain, la question est d'autant plus sujette à discussion que les dynamiques de peuplement auraient été en partie contrôlées par les besoins d'une agriculture itinérante sur brûlis au Néolithique (Pétrequin *et al.*, 2016). La découverte de traces archéologiques d'écobuages sur la rive occidentale du lac invite cependant à considérer d'autres modalités d'utilisation du feu sur le temps long (Menbrivès, 2023; Menbrivès, 2024).

Le « signal incendie », c'est-à-dire l'analyse d'un des produits du feu, les microparticules de charbon, est un outil pertinent pour questionner ces modèles et approfondir la connaissance des processus de transformation du milieu. La prise en compte de ce marqueur dans l'analyse paléoenvironnementale d'une section d'un carottage réalisé au fond du lac de Chalain a ainsi permis de dégager plusieurs tendances dans l'histoire des feux au Néolithique.

L'évolution des apports en microparticules de charbons montre que : 1. Le feu ne joue de rôle important ni dans le fonctionnement de l'écosystème ni dans l'aménagement du milieu du Néolithique ancien à la fin du Néolithique moyen II. 2. À partir de 3700 av. n. è. environ, l'augmentation des apports en microparticules de charbon pendant une période climatiquement peu propice au déclenchement de feux naturels peut-être mise au compte de l'utilisation du feu par les populations riveraines. 3. La quantification des microparticules de charbons ne permet pas, pour le moment, de distinguer le type de pratiques associées à ces feux.

Les premiers résultats obtenus sur une section du forage profond montrent tout l'intérêt de conduire une analyse paléo-environnementale à haute résolution chronologique à proximité des sites palafittiques jurassiens. L'analyse des microparticules de charbon piégées dans les archives sédimentaires apparaît ainsi comme un outil privilégié pour affiner la chronologie des phases d'anthropisations des rives du lac de Chalain. Ces analyses seront poursuivies sur l'ensemble du carottage et sur un nouveau forage issu du lac de Clairvaux.

Jacomet S., Ebersbach R. *et al.* 2016 : On-site data cast doubts on the hypothesis of shifting culti-

*Intervenant

vation in the late Neolithic (c. 4300–2400 cal. BC) : Landscape management as an alternative paradigm, *The Holocene*, 26-11, p. 1858-1874.

Menbrivès C., Petit C., Camerlynck C. et Richard H., 2024. Mise en évidence archéopédologique d'un défrichement par le feu du littoral du lac de Chalain (Jura) pour son exploitation agropastorale au haut Moyen Âge. *Actes des Journées régionales de l'Archéologie de Bourgogne-Franche-Comté*, Besançon, décembre 2022 : 50-54.

Menbrivès C. 2023 : Cuire la terre pour cultiver depuis le Néolithique. Approches géoarchéologiques pour la reconnaissance de témoins primaires de feux agro-pastoraux (France), Thèse, Paris 1 Panthéon Sorbonne.

Pétrequin P., Pétrequin A.-M., Schaal C., 2016 : Introduction : rythme d'occupation des villages et agriculture céréalière, *in* Pétrequin P., Pétrequin A.-M. (dirs.), *Clairvaux et le « Néolithique Moyen Bourguignon »*, p. 1129-1150.

Mots-Clés : Néolithique, Agriculture, Feu, Paysage, Environnement

Session 1.2. La trajectoire des socio-systèmes environnementaux à l'interface terre-mer

Communications orales

Reconstruire le paysage littoral de la cité étrusque de Populonia au cours de l'Holocène par la géoarchéologie

Amber Goyon * ^{1,2}, Yanni Gunnell ³, Gilles Van Heems ², Cécile Vittori ⁴,
Gilles Brocard ⁵, Brahimsamba Bomou ⁶, Jean-Philippe Goiran ⁷

¹ Environnement, Ville, Société (EVS) – Ecole Normale Supérieure de Lyon, Ecole des Mines de Saint-Etienne, Université Lumière - Lyon 2, Université Jean Moulin - Lyon 3, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Université Jean Monnet - Saint-Etienne, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon, Centre National de la Recherche Scientifique – 18 Rue Chevreul 69362 LYON CEDEX 07 UMR 5600, France

² Histoire et Sources des Mondes antiques (HiSoMA) – Ecole Normale Supérieure de Lyon, Université Lumière - Lyon 2, Université Jean Moulin - Lyon 3, Université Jean Monnet - Saint-Etienne, Centre National de la Recherche Scientifique – 7 rue Raulin 69365 Lyon cedex 07, France

³ Environnement, Ville, Société (EVS) – École Normale Supérieure (ENS) - Lyon, Institut National des Sciences Appliquées [INSA] : - LYON, École Nationale des Travaux Publics de l'État [ENTPE], Université Jean Monnet - Saint-Etienne, Université Lumière - Lyon II, Université Jean Moulin - Lyon III, CNRS : UMR5600, École Nationale Supérieure des Mines - Saint-Étienne – France

⁴ ARCHEORIENT - Environnements et sociétés de l'Orient ancien (Archéorient) – Université Lumière - Lyon 2, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5133, Centre National de la Recherche Scientifique – Maison de l'Orient et de la Méditerranée Jean-Pouilloux 7 rue Raulin 69365 LYON Cedex 07, France

⁵ University of Lyon, CNRS, Archéorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon – Université de Lyon, CNRS, Archeorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, France, Université Lumière -Lyon 2 – France

⁶ ISTE, Université de Lausanne, Unil-Mouline, 1015 Lausanne – Suisse

⁷ ARCHEORIENT - Environnements et sociétés de l'Orient ancien – Université Lumière -Lyon 2 – France

La cité étrusque de Populonia est un des centres majeurs de la métallurgie au I^{er} millénaire avant J.-C. Seule cité en position littorale, elle est notamment décrite dans les textes comme un pôle d'échange principal au coeur de la mer Tyrrhénienne. Sa renommée est liée aux minerais de l'île d'Elbe et des Collines Metallifères qu'elle exploite, en particulier le cuivre et le fer, qu'elle traite afin d'exporter des produits semi-finis et finis. Cette industrie connaît un véritable essor à la fin de la période étrusque, changeant le paysage pour les siècles à venir. Ainsi, les déchets de la métallurgie ont été conservés in situ et s'étendaient encore sur plusieurs mètres d'épaisseur dans les quartiers portuaires et artisanaux lorsque les archéologues ont redécouvert Populonia. La quantité de scories est si importante que celles-ci sont réutilisées au début du XX^{ème} siècle par les usines toscanes. Une telle activité industrielle, couplée à un commerce portuaire, aurait dû avoir un impact significatif sur l'environnement, mais les recherches archéologiques n'ont pas encore permis pour autant de retrouver les traces portuaires et commerciales associées.

Dans le but de parvenir à reconstruire ce paysage au cours de l'Holocène, quatre carottages ont été réalisés en quatre points différents de la région (golfe de Baratti, quartier industriel de Populonia, limite et plaine de Piombino). Ils offrent des informations complémentaires pour comprendre la configuration du territoire, où se situaient les zones d'influence anthropique, et où intensifier de futures recherches

*Intervenant

archéologiques ou paléoenvironnementales. Une étude géoarchéologique multi-indicateurs a été réalisée sur chaque carotte : sédimentologie, géochimie, étude des bio-marqueurs, datations au radiocarbone.

La reconstitution de cette première chronostratigraphie met en évidence plusieurs phénomènes dans la région. D'une part, dans le golfe de Baratti, la remontée progressive du niveau marin semble avoir été rapide à l'Holocène, et l'érosion des versants de grès et de marnes aux alentours immédiats a participé à un comblement rapide du littoral. Les deux dynamiques ont abouti, à l'image du reste du trait de côte toscan, au développement de zones humides, comme des marais ou des lagunes. D'autre part, dans la plaine de Piombino, une lagune de grande ampleur est apparue après la dernière glaciation, dans une paléovallée. Cette lagune s'est progressivement comblée et a connu des phases d'ouverture et de fermeture sur la mer. Elle a par la suite été bonifiée à l'époque moderne pour gagner des terrains agricoles.

D'un point de vue anthropique, les périodes étrusques sont complexes à appréhender par les carottages. Dans la lagune de Piombino, l'évolution chronologique est difficile à tracer en raison d'inversion d'âge ¹⁴C entre 1000 av. et 1000 ap. J.-C. Cela pourrait résulter de variations paléoenvironnementales ou de gestion humaine de la lagune sous forme de creusements et de remplissages. Cette étude préliminaire permet de poser les bases pour réaliser des projets de plus grande ampleur, impliquant géographes et archéologues.

Mots-Clés : Géoarchéologie, Etrusques, Lagune, Chronostratigraphie, Littoral

Colonising the water : a diachronic eco-anthropological perspective on the Greek colonisation of the Danube delta (Western Black Sea coast, Romania)

Alexandra Bivolaru ^{*} ¹, Tatiana Theodoropoulou ²

¹ CEPAM Université de Nice Côte d'Azur – Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France – alexandra.bivolaru@univ-cotedazur.fr

² CEPAM CNRS – CEPAM - UMR7264, Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

This paper examines the Greek colonization of the Danube Delta (7th–6th c. BC), integrating geoarchaeological and zooarchaeological data for the first time to explore how early settlers adapted to the region's dynamic waterscape and utilized its ecological and geographical features to establish an interconnected network of settlements. Greek communities strategically managed aquatic resources to sustain their social organization as well as local-scale agriculture and trade, reflecting an adaptive approach distinct from later Roman intensification of Danube delta control. Through this paper, we aim to address the following two key questions : (1) what was the evolution of the deltaic waterscape during the functioning of the settlements and (2) how did Greek settlers in the delta balance environmental constraints and potentialities with socio-cultural practices and needs? To answer these questions, we used an interdisciplinary multi-proxy approach that integrates coring, bio-sedimentological and zooarchaeological analysis, archaeological excavation, and geophysical investigations. Our methodological approach aimed to firstly reconstruct the paleo-environmental evolution of the Danube delta in order to understand the strategies used by Greek settlers to interact with and harness aquatic resources of the deltaic waterscape. Together, these methods allowed us to map long-term patterns of human-environmental dynamics, highlighting the ways Greek colonists managed water's agentive forces to create interdependent settlements and inscribe their socio-cultural values onto the waterscape. This research ultimately sheds light on the adaptive strategies that underpinned the Greek colonization of the Danube delta and the broader implications for understanding human interactions with and within complex hydrological systems.

Mots-Clés : geoarchaeology, zooarchaeology, eco, anthropology, Greek colonization, Black Sea, Danube delta

*Intervenant

Enquête sur les relations terre-mer des communautés du Tardiglaciaire et du début l'Holocène dans le Massif armoricain : l'apport de la pétroarchéologie des galets marins de silex

Louis Marguet * ^{1,2}, Marine Laforge ², Vincent Delvigne ³, Nicolas Naudinot ⁴

¹ UMR 7194 HNHP - Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), 17 place du Trocadéro - 75016 Paris - France – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) – France

² EVEHA (Etudes et valorisations archéologiques), 23 Rue des Maréchaux, 35132 Vezin-le-Coquet - France – EVEHA (Etudes et valorisations archéologiques) – France

³ UMR 8068 TEMPS - Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques, bâtiment René Ginouvès, 21 Allée de l'Université, 92023 Nanterre - France – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, Centre National de la Recherche Scientifique – France

⁴ UMR 7194 HNHP - Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), 17 place du Trocadéro - 75016 Paris - France – Museum National d'Histoire Naturelle, CNRS : UMR7194 – France

Rendues inaccessibles par la remontée du niveau marin, les occupations littorales du Tardiglaciaire et du début de l'Holocène dans le Massif armoricain sont largement absentes de nos modèles socio-économiques et de nos réflexions sur cette période. Alors que les transferts de ressources alimentaires littorales vers l'intérieur des terres sont anecdotiques le long de la façade atlantique, la fréquentation de ces environnements côtiers est en Bretagne indirectement attestée par la collecte massive sur les estrans actifs de galets marins de silex par les communautés de la fin de la Préhistoire. L'étude de ces matériaux et de leur circulation constitue donc un proxy de premier ordre puisque l'analyse techno-économique de ces silex permet dès lors de questionner la relation de ces communautés avec leurs environnements littoraux, alors en pleine mutation en raison de la transgression marine entamée au début du Tardiglaciaire. Suite au dernier maximum glaciaire (DMG), marqué par une forte régression du niveau marin, plusieurs sources de silex étaient disponibles sur les marges du Massif armoricain. Les affleurements primaires (craie du Crétacé supérieur) et secondaires - situés sous l'actuelle Manche, ainsi que les alluvions du paléo-fleuve Manche - étaient tous accessibles durant la première partie du Tardiglaciaire (niveau marin entre -120 et -80 m par rapport à l'actuel). Quant aux galets marins de silex, ils étaient disponibles sur la façade atlantique, parfois à plusieurs dizaines de kilomètres de la côte actuelle. Ces galets marins sont au cœur de notre recherche et sont considérés comme une ressource marine centrale dans les systèmes économiques préhistoriques.

Basée sur la création d'un référentiel pétrologique des galets marins de silex à l'échelle du Massif armoricain, notre recherche a pour objectifs : 1) d'identifier des critères pétrologiques caractéristiques d'une collecte dans un environnement littoral actif ou fossile à différentes échelles (loupe binoculaire, lame mince, cartographie MEB-EDS, spectroscopie et géochimie raisonnées), en s'inscrivant dans les travaux menés actuellement par le GDR « Silex » et 2) de documenter la répartition géographique des faciès des galets de silex autour de la Bretagne en vue de comprendre la dynamique de formation des plages de galets (stock local ou lointain remanié ?). *In fine*, ce référentiel permettra l'étude pétroarchéologique d'un

*Intervenant

corpus de sites s'échelonnant de la fin du Magdalénien au second Mésolithique, afin de discuter de façon diachronique de la place des environnements côtiers durant cette période.

Mots-Clés : Silex, Paléolithique final, Bretagne, littoral, galets, ressources, pétroarchéologie

Quelles approches méthodologiques pour reconstituer les changements paléogéographiques holocènes sur les littoraux du Nord-Ouest de la France ? Exemple de la Baie d'Audierne (Finistère, Bretagne)

Aneta Gorczynska * ¹, Pierre Stéphan ¹, Pascal Le Roy ², Axel Ehrhold ²,
Yvan Pailler ¹, Bernard Le Gall ²

¹ LETG, UMR 6554 – CNRS : UMR6554, Univ. Brest, Nantes Université, Université de Rennes 2, Université de Rennes 2 – France

² Geo-Ocean – Université de Bretagne Occidentale [UBO], Université de Bretagne Sud [UBS], Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), CNRS – France

Le réchauffement climatique holocène s'accompagne d'une remontée rapide du niveau global des océans modifiant sensiblement la position de la ligne de rivage. Sur les littoraux de l'ouest de la France, de nombreux vestiges archéologiques aujourd'hui submergés par la mer ou ensevelis sous les dunes côtières témoignent de cette dynamique sur le temps long. Au cours des dernières décennies, la compréhension et la reconstruction de l'évolution du niveau de la mer sur les côtes atlantiques françaises ont permis de proposer de premières reconstitutions paléogéographiques qui ont considérablement amélioré notre compréhension des dynamiques de population. Néanmoins, à ce jour, ces reconstitutions se basent uniquement sur des modèles de submersion passive des territoires côtiers, sans tenir compte des dynamiques sédimentaires passées et des changements morphologiques associés. Ce travail s'intéresse à l'intégration des processus de sédimentation, comme la mise en place des dunes côtières ou le colmatage progressif des vallées estuariennes, dans les reconstitutions paléogéographiques des territoires littoraux. La complexité de ces dynamiques ainsi que leur diversité spatiale et temporelle ont nécessité le développement des études pluridisciplinaires et multiscalaires. Ainsi une large gamme des approches méthodologiques a été déployée sur un territoire côtier dont l'évolution a été largement contrôlée par les processus de sédimentation : la baie d'Audierne. Les résultats obtenus ont permis de porter un nouvel éclairage sur les dynamiques naturelles qui ont sensiblement modifié la physionomie de ces secteurs au cours des derniers millénaires. Les changements mis en évidence dans ce travail ont également une incidence directe sur l'interprétation des vestiges archéologiques littoraux de ces territoires.

Mots-Clés : géomorphologie littorale, paléogéographie, dunes littorales, Holocène, estuaires, dynamiques sédimentaires

*Intervenant

Session 1.2. La trajectoire des socio-systèmes environnementaux à l'interface terre-mer

Posters

Géoarchéologie du bassin portuaire primitif de l'Ancienne-Knidos (péninsule de Datça, sud-ouest de la Turquie)

Hugo Delile * ¹, Jean-Philippe Goiran ², Gilles Brocard ³, Friederike Stock , Janne Blichert-Toft , Elizabeth Greene , Francis Albarède , Justin Leidwanger , Tuna Numan , Lana Radloff

¹ University of Lyon, CNRS, Archéorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon – Université de Lyon, CNRS, Archéorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, France – France

² ARCHEORIENT - Environnements et sociétés de l'Orient ancien – Université Lumière -Lyon 2 – France

³ University of Lyon, CNRS, Archéorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon – Université de Lyon, CNRS, Archéorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, France, Université Lumière -Lyon 2 – France

Situé sur la péninsule de Datça, au sud-ouest de la Turquie, le site de Burgaz, également connu sous le nom de l'« Ancienne-Knidos », a bénéficié, depuis sa fondation au VIII^e s. av. J.-C., d'une position stratégique au cœur des routes maritimes reliant l'Égée et l'Asie Mineure à l'Égypte et au Proche-Orient. Dès l'époque archaïque, la ville s'est dotée de plusieurs bassins portuaires pour soutenir les échanges commerciaux en pleine expansion en Méditerranée orientale, devenant ainsi une plaque tournante majeure durant les périodes hellénistique et romaine.

L'un des événements le plus marquant de son histoire concerne sa relocalisation, au milieu du IV^e s. av. J.-C., vers Tekir, ou « Nouvelle-Knidos », située à l'extrémité occidentale de la péninsule. La prise d'une telle décision est lourde de conséquences, notamment sur le plan économique, et nécessite donc des motivations impérieuses. Il est possible que celles-ci n'aient pas été consignées dans les registres historiques en raison d'un temps de réflexion relativement long, en réponse à un événement progressif et diffus. C'est dans ce contexte que nos travaux ont été entrepris pour évaluer si des phénomènes naturels auraient contribué à délocaliser et, finalement, l'influencer tout ou partie, en portant une attention particulière aux changements de conditions naturelles, qu'ils soient soudains ou graduels.

Les fouilles archéologiques sous-marines réalisées entre 2011 et 2015 par un consortium international, comprenant l'Université de Brock, l'Université de Stanford, l'Université technique du Moyen-Orient et l'Institut d'Archéologie Nautique, ont permis de dégager une coupe stratigraphique immergée d'environ 3 m d'épaisseur dans le premier bassin portuaire de Burgaz (bassin L1). Des analyses géochimiques (élémentaires, spectrales et isotopiques) et sédimentologiques (granulométrie, susceptibilité magnétique, perte au feu) ont été réalisées sur les 24 échantillons couvrant l'intégralité de la stratigraphie. Leur cadre chronostratigraphique a été élaboré à partir d'un modèle d'âge-profondeur robuste intégrant à la fois des datations archéologiques et radiocarbone.

L'identification des processus paléo-environnementaux moteurs - élévation du niveau marin, influences marines et terrestres, précipitations évaporitiques - ainsi que des principaux réservoirs sédimentaires, suggère un phasage stratigraphique en trois temps. Entre le IV^e et le I^{er} millénaire av. J.-C., l'aggradation du plancher marin (1,25 mm an⁻¹), dont les dépôts sédimentaires présentent un enrichissement relatif en particules d'origine volcanique, semble suivre le rythme de l'élévation du niveau marin. Cette dyna-

*Intervenant

mique est modifiée au milieu du VII^e s. av. J.-C. par le creusement du bassin portuaire, qui s'est suivi de son comblement rapide (2,35 mm an⁻¹) avec une entrée massive de flux terrigènes riches en serpentine. La phase d'abandon portuaire s'amorce à la fin du Ve s. ap. J.-C., période marquée par un hiatus sédimentaire révélant une reprise de l'activité de dragage pour maintenir le bassin navigable. Toutefois, l'envasement progressif conduit à un comblement irréversible du bassin portuaire : l'influence terrestre dans les dépôts s'intensifie, et le tirant d'eau, désormais limité à environ 30 cm, compromet toute activité de navigation. Au cours de la période médiévale, l'accrétion du fond marin (0.65 mm an⁻¹) est à nouveau rythmée par la vitesse de remontée du niveau marin.

Mots-Clés : Géoarchéologie, sédiment, niveau marin relatif à l'Holocène, Méditerranée orientale, bassin portuaire, traçage sédimentaire

Exploration géoarchéologique d'ombilics de brèches de digues aux trajectoires ultérieures contrastées (estuaire de l'Aa, nord de la France)

Laurent Deschodt * ^{1,2}, Samuel Desoutter ^{3,4}, Pauline Lhommel ¹,
Mathieu Lançon ^{5,6}, Jean-Yves Reynaud, Muriel Boulén

¹ Institut national de recherches archéologiques préventives, centre archéologique de Villeneuve-d'Ascq – Institut national de recherches archéologiques préventives – France

² Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12, Centre National de la Recherche Scientifique, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12 : UMR8591, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8591 – France

³ Institut national de recherches archéologiques préventives - Centre de recherches archéologiques de Villeneuve d'Ascq (Inrap, Villeneuve d'Ascq) – INRAP Hauts de France – 11 rue des Champs, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

⁴ Institut de Recherches Historiques du Septentrion (IRHiS) - UMR 8529 (IRHiS) – Université de Lille, Centre National de la Recherche Scientifique – Bâtiment A Niveau - 1 Rue du Barreau BP 60 149 59653 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

⁵ Institut de Recherches Historiques du Septentrion (IRHiS) - UMR 8529 (IRHiS) – Université de Lille, Centre National de la Recherche Scientifique – Bâtiment A Niveau - 1 Rue du Barreau BP 60 149 59653 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

⁶ Institut national de recherches archéologiques préventives - Centre de recherches archéologiques de Villeneuve d'Ascq (Inrap, Villeneuve d'Ascq) – Institut national de recherches archéologiques préventives – France

Les campagnes de diagnostics archéologiques sur l'extension du port de Dunkerque ont révélé de nombreuses structures isolées ou en chapelet, vastes (environ 30 à 40 m de large) et profondes (environ 5 m), à remplissage sous influence marine ou par un sédiment tourbeux en eau douce dans l'ancien estuaire de la Déna, un bras du petit fleuve côtier Aa. En 2022 et 2023, trois mares ont pu être recoupées et étudiées après rabattement de nappe.

Une mare (F2 2023) montre clairement un creusement naturel et catastrophique dont nous interprétons le déroulement selon le scénario suivant : brèchage d'une digue (en raison d'une surcote de tempête?), démantèlement du schorre argileux environnant, affouillement du sable sous-jacent et piégeage de mottes argileuses dans une structure large et profonde, puis dépôt d'un dépôt à haute énergie sous eau (depuis la brèche ouverte au cours de la marée descendante?) tandis que la structure s'élargit encore par l'effondrement de blocs massifs de sable tidal encaissant. Le reste du comblement est constitué de tidalites argilo-sableuses qui accommodent rapidement la dépression (en quelques dizaines de mois?). Une digue est reconstruite côté terre et contourne la mare, la laissant sous l'influence de la marée.

Les deux autres mares (F1 2023 et 2024) montrent quant à elles un comblement en eau douce avec des dépôts tourbeux en contexte d'habitat.

Si les mares ont une origine naturelle, leurs évolutions ultérieures s'avèrent différentes. La présence sur les

*Intervenant

sites d'habitats ou à proximité de mares en eau douce préservée des influences marines pose la question d'interventions anthropiques opportunistes pour constituer des « mares endiguées » ou *Hollestelle*.

Mots-Clés : digue, ombilic de brèche, tidalites, mares endiguées, hollestelle

Juliobona, chef-lieu de la civitas des Calètes bénéficie-t-elle d'un accès direct à la Seine ?

Léa Mairaville ^{*} ¹, Thierry Lepert ², Stoil Chapkanski ¹, Jonas Parétias ³,
Christine Paillès ⁴, Dominique Todisco ¹, Damase Mouralis ¹

¹ IDEES (UMR 6266, Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés) – Université de Caen Normandie, Université Le Havre Normandie, Université de Rouen Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Recherche Interdisciplinaire Homme et Société – France – lea.mairaville1@univ-rouen.fr

² Groupe Archéologique du Val de Seine – Groupe Archéologique du Val de Seine – France

³ Archéologie et histoire ancienne : Méditerranée - Europe (ARCHIMEDE) – université de Strasbourg – MISHA - 5, allée du Gal Rouvillois - CS 50008 - 67083 Strasbourg cedex, France

⁴ Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (CEREGE) – Aix-Marseille Université - AMU, CNRS, Institut de recherche pour le développement [IRD], INRAE – Europôle Méditerranéen de l'Arbois - Avenue Louis Philibert - BP 80 - 13545 Aix-en-Provence cedex 4, France

Depuis le début du XIX^e siècle, la tradition locale mentionne l'existence d'un port à *Juliobona* (Lillebonne, entre Le Havre et Rouen) pendant l'Antiquité. Si la proximité de la Seine et l'implantation de la ville dans la vallée du Commerce, une petite vallée affluente, semblent offrir une configuration privilégiée, les liens de *Juliobona* au fleuve ne peuvent être restitués en raison des travaux d'endiguement réalisés dans le secteur. Aujourd'hui située à 4 km au nord du lit mineur canalisé de la Seine, la ville occupe une position alluviale totalement déconnectée du fonctionnement tidal du fleuve. De nos jours, les plus fortes marées astronomiques dans ce secteur génèrent en effet un marnage qui dépasse les 7 m et affectent uniquement le chenal endigué du fleuve. Si les sources modernes et contemporaines illustrent l'évolution de son lit majeur au cours des derniers siècles, cette documentation est globalement muette pour les 1,5 km de la vallée du Commerce en aval de Lillebonne. Pourtant, dès 1906, l'exploitation d'études géotechniques conduisait C. Apel à écrire que « *le flot et le jasant produisaient leurs effets dans la vallée de Lillebonne* (pendant l'Antiquité) ».

Depuis 2016 et l'investissement de l'intercommunalité Caux Seine Agglo dans la valorisation du patrimoine archéologique romain, l'acquisition des données nouvelles s'avérait nécessaire pour restituer l'environnement de la ville romaine et son contexte hydro-géomorphologique. Engagé depuis 2021, le Projet Collectif de Recherche « *Juliobona*, capitale des Calètes » a permis la réalisation d'une dizaine de carottages en amont et aval de Lillebonne. À l'aval, une première carotte sédimentaire de près de 10 m a été soumise à une approche intégrée associant paramètres abiotiques (sédimentologie, géochimie) et paramètres biotiques (diatomées) avec un calage géochronologique robuste. Cette approche multi-indicateurs permet de reconstituer de manière plus complète les processus environnementaux et de discuter les facteurs de forçage au cours de l'Holocène.

Un phasage évolutif diachronique est proposé avec la succession d'un environnement marin/côtier (TPQ : ca. -437 BCE), saumâtre puis d'eau douce (TAQ : ca. -144 BCE). Ce phasage propose une nouvelle vision de l'évolution environnementale dans la vallée du Commerce. Il invite à reconsidérer les hypothèses précédentes qui supposaient, jusqu'au début du XXI^e siècle, malgré l'absence de données paléoenvironnementales, un colmatage de la vallée attribué à la période romaine. Son accentuation était avancée comme cause du déclin de l'activité portuaire et donc de la ville dans la seconde moitié du III^e siècle. À l'immédiat aval de la ville antique se dessine un environnement tidal en évolution lente. Compte tenu des données disponibles, il semble que le flot se connectait naturellement à la ville romaine lors des

*Intervenant

marées biquotidiennes sans que cela n'implique, en l'état des données archéologiques, la présence d'installations portuaires à *Juliobona*. Si des profils en long et en travers de la vallée du Commerce peuvent être ébauchés en aval de Lillebonne, restent à maîtriser les conditions et le rythme de mise en place des sédiments conduisant à l'aboutissement des processus de déconnexion tidale. Compte tenu des travaux géoarchéologiques conduits ces deux dernières décennies sur la basse vallée de la Seine, il est possible que cette bascule soit contemporaine à postérieure aux XIV^e-XV^e siècles.

Mots-Clés : Géoarchéologie, Dynamique de colmatage, Marnage, Sédimentologie

Trophic indicators in relation to human activities and application to historical samples

Audrey Marguin * ^{1,2}

¹ Culture et Environnements, Préhistoire, Antiquité, Moyen-Age – CNRS – France

² Ecology and Conservation Science for Sustainable Seas – CNRS – France – marguinaudrey@gmail.com

Dans cette présentation, je détaillerai différents indicateurs trophiques couramment rencontrés dans les études d'écologie trophique (Partie I) et présenterai une étude de cas sur l'application de ces indicateurs à des échantillons historiques (Partie II).

Partie I : Les études en écologie intègrent de nombreux indicateurs pour évaluer et quantifier le régime alimentaire des espèces marines. Je détaillerai les différents indicateurs trophiques couramment rencontrés en écologie marine et les méthodes utilisées pour les mesurer. Je m'intéresserai particulièrement aux mesures d'isotopes stables.

Nous verrons, à travers quelques exemples, comment les isotopes stables peuvent nous aider à répondre à diverses questions parmi lesquelles : de quoi se nourrissent les poissons ? De quelles sources d'azote et de carbone dépendent-ils pour leur alimentation ? Comment les activités humaines peuvent-elles influencer le régime alimentaire des espèces ?

Partie II : Cette deuxième partie présente une étude de cas d'une espèce historiquement exploitée dans une lagune côtière méditerranéenne française.

Je détaillerai une étude sur une espèce communément rencontrée dans les lagons méditerranéens : la dorade royale *Sparus aurata*.

Nous verrons comment son régime alimentaire a évolué depuis les premiers témoignages de pêche sur la lagune et comment les isotopes stables nous permettent de mieux comprendre les impacts humains historiques sur le réseau trophique.

Mots-Clés : Pêche, lagune, *S. aurata*, Isotopes stables

*Intervenant

Session 1.3. Les sites archéologiques à l'heure de l'Anthropocène : Vulnérabilité, gestion et défis sociétaux

Communications orales

Vulnérabilité du patrimoine littoral et changements climatiques : bilan du projet ALeRT dans l'Ouest de la France.

Marie-Yvane Daire * ¹, Elias Lopez Romero ¹

¹ UMR 6566 CReAAH – CNRS : UMR6566, CNRS, CNRS : UMR6556 – France –
marie-yvane.daire@univ-rennes.fr

Cette communication présente une évaluation du projet ALeRT (Archéologie, Littoral et Réchauffement Climatique) initié en 2006 dans l'ouest de la France. Basé sur une approche participative de recherche-action, le projet est dédié à la vulnérabilité du patrimoine archéologique, menacé par les effets du changement climatique et de la pression anthropique. Basé sur le principe de « préservation par l'étude », la démarche s'inscrit dans un processus circulaire basé sur i) la participation des communautés à l'inventaire des sites et à l'évaluation de leur vulnérabilité, ii) l'analyse et la cartographie de la vulnérabilité comme base de priorisation des actions à mener, qu'il s'agisse iii) de suivi (enquêtes, photogrammétrie, etc.), iiiii) d'investigations plus approfondies (enquêtes, fouilles, protocoles de datation, analyses physico-chimiques, etc.), iiiiii) ensuite, les résultats sont régulièrement communiqués aux gestionnaires et au public afin de leur donner un retour d'information, de poursuivre l'action de sensibilisation, d'impliquer de nouveaux membres dans le réseau et d'améliorer la collecte des données. La première phase d'observation (état sanitaire) implique le public au sens large (bénévoles, associations, gardes du littoral...) et met en œuvre des outils dédiés, notamment une base de données interactive incluant une grille normalisée d'évaluation de la vulnérabilité selon une dizaine de critères. Le traitement numérique de cet outil permet ensuite de générer des cartes de vulnérabilité à différentes échelles (du local au régional) conçues comme des aides à la décision des actions à mener pour les gestionnaires du patrimoine. À l'issue de 18 années de fonctionnement du projet, nous proposons ici un bilan quantitatif et qualitatif de cette démarche pour la Bretagne, à partir des 1995 enregistrements de la base de données, et une réflexion sur ses apports - aux échelles locale, régionale, nationale et internationale - mais aussi ses limites, au regard du contexte international actuel.

Mots-Clés : archéologie littorale, vulnérabilité, changements climatiques, patrimoine

*Intervenant

Les palafittes de Savoie à l'épreuve de l'anthropocène. Enjeux, solutions et perspectives.

Robin Brigand * ^{1,2}, Camille Gorin ^{3,4}

¹ Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines [Marseille] – Ministère de la culture – France – robin.brigand@culture.gouv.fr

² Trajectoires - UMR 8215 – CNRS, Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne – France

³ Direction Régionale des Affaires Culturelles - Auvergne-Rhône-Alpes – Ministère de la culture – France – camille.gorin@culture.gouv.fr

⁴ Archéologie et Archéométrie – CNRS, Université de Lyon, Université Lyon 1 – France

Dans les lacs français, les découvertes des stations littorales du Néolithique et de l'Âge du Bronze suivent de peu l'identification retentissante des premiers villages sur les berges du lac de Zurich en 1854. Pour F. Keller, imprégné des images de cités lacustres rapportées des tropiques par les grands navigateurs, les vestiges observés à l'occasion d'étiages remarquables appartiennent à des habitats installés sur de vastes plateformes en bois implantées au-dessus de l'eau. Il faut attendre la première moitié du XX^e siècle pour que la prise en compte de la variabilité climatique permette de considérer différemment ces vestiges, alors perçus comme des habitats disposés sur des grandes plages exondées et dotés de planchers réhaussés afin de se prémunir des variations saisonnières des plans d'eau. Depuis, dans plusieurs lacs alpins et jurassiens, la multiplication de fouilles archéologiques et d'études paléoenvironnementales ont permis d'affiner la compréhension de ces habitats et de leur cadre environnemental. Dans le contexte du réchauffement climatique en cours et d'une augmentation manifeste des facteurs susceptibles d'impacter ces vestiges très vulnérables, la question de leur préservation à long terme se fait pressante. L'inscription en 2011 de neuf sites palafittiques de Savoie et de Haute-Savoie sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco – cent onze sites à l'échelle de six pays de l'arc alpin – a apporté une visibilité nouvelle à ce patrimoine immergé, et accompagné un tournant dans l'histoire de la recherche en archéologie lacustre. En effet, partir de 2015 un bilan documentaire et sanitaire (dir. Y. Billaud) a été mené sur plus de la moitié des sites néolithiques et de l'Âge du bronze connus. Des constats d'atteintes ont été dressés pour chaque site et une première synthèse des données planimétriques et chronologiques a été faite. Dans le contexte d'une érosion manifeste du patrimoine lacustre, l'inégalité du niveau de connaissance des palafittes savoyards interpelle. Quelles pistes de recherche sont à notre disposition pour progresser dans notre compréhension de ces habitats ? Quels outils peuvent être mobilisés pour assurer leur conservation ? Les axes de cette présentation – documenter ; analyser ; modéliser ; conserver – reflèteront les dynamiques de recherche amorcées en Auvergne-Rhône-Alpes pour l'inventaire, l'étude et la protection de ce patrimoine singulier.

Mots-Clés : palafittes, lacs alpins, UNESCO, changement climatique, vulnérabilité

*Intervenant

Identifier et dater les vestiges conservés dans les cours d'eau de moyenne montagne du Puy-de-Dôme (projet ACIS) et évaluer leurs vulnérabilités

Camille Gorin ^{*} ^{1,2}, Emma Bouvard-Mor ^{1,2}, François Blondel ³, Claire Mitton ¹, Elise Nectoux ^{1,2}, André-Marie Dendievel ^{4,5}

¹ Service régional de l'archéologie – DRAC - Service Régionale de l'Archéologie – France – camille.gorin@culture.gouv.fr

² Archéologie et Archéométrie – Université de Lyon, Université Lyon 1 – France

³ Laboratoire Chrono-environnement (UMR 6249) – CNRS – France

⁴ École Nationale des Travaux Publics de l'État – Ministère de la Transition écologique et solidaire – France

⁵ Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés – CNRS – France

Initié en 2022, le projet de recherche ACIS vise à caractériser les Aménagements des Cours d'eau de moyenne montagne et leurs Impacts sur les écoSystèmes au cours du temps (coord. A.-M. Dendievel). L'objectif est de développer une méthodologie précise et reproductible pour localiser et dater les aménagements variés conservés dans le lit mineur des petits cours d'eau.

En effet, reconstituer l'histoire de ces aménagements n'est pas aisé car les vestiges ont subi des modifications, des déplacements ou des destructions au cours du temps. Ils sont difficiles à dater en raison de la rareté des matériaux périssables et des réfections contemporaines. De plus, ces aménagements sont aujourd'hui menacés de disparition, en raison du changement climatique (crues et sécheresses accentuées) et de la politique de continuité écologique et sédimentaire des cours d'eau visant à l'effacement de nombreux seuils, en France comme en Europe. Il y a donc un véritable enjeu de connaissance et une urgence à documenter ces vestiges.

Pour ce faire, le projet ACIS adopte une démarche pluridisciplinaire (archéologie, sciences paléoenvironnementales, histoire et géographie) qui se base sur (1) une approche archéo-géographique et géohistorique des cartes et cadastres anciens, et de recherches en archives, pour inventorier des structures potentielles occupant le lit mineur (seuils, biefs, vannes, points de franchissement). Ensuite, (2) des prospections de terrain sont menées au niveau des sites possiblement les plus anciens pour définir leur état de conservation et réaliser des prélèvements en vue de datations absolues. Enfin, (3) une étude approfondie des sites les plus caractéristiques est menée par relevés topographiques, croisements de datations 14C et dendrochronologiques, carottages et analyses sédimentaires. L'ensemble de ces informations est utilisé pour renseigner la carte archéologique nationale et offrir un outil aidant à la gestion et à la sauvegarde du patrimoine.

La zone d'étude du projet correspond aux vallées de la Durolle et de la Credogne dans le Puy-de-Dôme (63). Cette région est notamment connue pour sa production papetière puis coutelière depuis le Moyen Âge jusqu'à nos jours. L'économie locale s'est développée grâce à la maîtrise de la force hydraulique. De nombreux seuils et prises d'eau permettaient autrefois d'alimenter les moulins dédiés à l'affutages des lames : les rouets d'émouleurs. Le projet ACIS a démontré une diversité beaucoup plus large de fonctions pour ces aménagements, pouvant alimenter à l'origine ou en série des moulins fariniers, des scieries, des

*Intervenant

papeteries, des mailleries, voire servir conjointement à l'irrigation des terres (céréaliculture, essais de riziculture). Plusieurs datations montrent que certaines structures peuvent remonter aux XV-XVII^e siècles. Le croisement avec les archives textuelles permet en outre de connecter des événements ponctuels (crues, travaux) avec l'évolution de l'anthropisation des paysages fluviaux.

Dans cette communication, il s'agira de présenter la méthodologie développée dans le programme ACIS pour évaluer le potentiel archéologique de ces milieux fluviaux fragiles et menacés à court terme, à travers deux fenêtres tests, ainsi que d'en présenter les principaux résultats, tant en termes de nombre que de diversités de vestiges mis au jour. L'accent sera mis sur la vulnérabilité de ces vestiges, menacés par les travaux d'arasement des obstacles aux cours d'eau et par l'impact des crues ainsi que par les étiages. En effet, le double impact du réchauffement climatique et des travaux d'effacement menés, entraîne aujourd'hui une modification à long terme et irréversible des conditions de conservation de ces sites fluviaux.

Mots-Clés : hydrosystèmes, archéologie, paléoenvironnement, équipements hydrauliques, vestiges fluviaux, obstacles à l'écoulement, vulnérabilité, moyenne montagne, Auvergne

Session 1.3. Les sites archéologiques à l'heure de l'Anthropocène : Vulnérabilité, gestion et défis sociétaux

Poster

Recherches pluridisciplinaires sur des îles de la basse vallée de la Seine : les prospections autour de l'île aux Bœufs et de l'île Sainte-Catherine (Oissel / Tourville-la-Rivière, Seine-Maritime)

Cécile Lagane * ¹, Léa Mairaville ², Cécile Finco ³, Stoil Chapkanski ²

¹ Centre Michel de Bouïard - Centre de recherches archéologiques et historiques anciennes et médiévales – Centre Michel de Bouïard, Centre de Recherches Archéologiques et Historiques Anciennes et Médiévales (Crahm - UMR 6273 CNRS-UNICAEN) – France

² Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – CNRS UMR IDEES – France

³ Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement - Direction Normandie-Centre – Cerema Normandie-Centre – France

Depuis 2022, est engagée une recherche pluridisciplinaire sur les îles du secteur de Oissel (Seine-Maritime), dans la basse vallée de la Seine, qui vise à mieux caractériser l'occupation anthropique dont elles ont pu faire l'objet au fil du temps. Encore très nombreuses au XVIII^e s., la plupart de ces îles ont aujourd'hui disparu, souvent sous l'effet des travaux d'aménagements du bras principal du fleuve aux XIX^e et XX^e s. L'approfondissement du chenal de navigation, la rectification du tracé des berges ainsi que la construction du barrage de Poses ont en effet eu pour conséquence de modifier le débit et le niveau du fleuve et de provoquer des envasements, menant à la disparition de nombreuses îles. La création de chambres de dépôt sur certaines d'entre elles, plateformes où ont été versés les sédiments à la suite du creusement du chenal, a par ailleurs profondément modifié leur topographie. Enfin, la salve de bombardement du mois de juillet 1944 a laissé des traces importantes sur le secteur, dont certaines ont un impact direct sur la manière de mener des recherches archéologiques.

C'est dans ce contexte que deux campagnes de prospections archéologiques ont été menées en 2023 et 2024, visant à préciser les marques d'anthropisation de ces îles, en particulier l'île aux Bœufs et l'île Sainte-Catherine, au niveau des communes de Oissel et Tourville-la-Rivière. Ces deux îles montraient en effet un potentiel archéologique important, à travers la présence de vestiges déjà attestés ou par le repérage d'anomalies sur la documentation graphique (LiDAR, photographies aériennes, cadastres et cartes anciennes). Ont alors été réalisées des prospections au SONAR sur la Seine, subaquatiques dans le fleuve, géophysiques, géomorphologiques et pédestres sur les îles mêmes, menées en collaboration par les archéologues et historiens du CRAHAM de l'université de Caen, les géomorphologues d'IDEES de l'université de Rouen et les géophysiciens du Cerema.

Par la combinaison de ces approches pluridisciplinaires, mêlant analyse des données de l'imagerie, de l'archéométrie, des observations de terrain et l'étude des textes, l'anthropisation de ces îles se dessine peu à peu et montre toute sa complexité, malgré un environnement en évolution constante. Tour à tour espace funéraire, habitat fortifié, terres d'exploitation vivrière par la pêche et l'agriculture, ces îles, pendant longtemps uniquement accessibles par bateau, ont largement fait partie du paysage local mais aussi au-delà. La présence d'un camp viking à Oissel, signalé entre 857 et 862, a permis de mettre en avant l'importance de ces îles au cœur du fleuve, relais de l'autorité locale et, lorsque celle-ci fait faillite, lieu d'implantation stratégique pour les pirates du nord, leur servant tout à la fois de base d'hivernage et de

*Intervenant

point de repli dans leurs expéditions plus en amont du fleuve et ailleurs. Les premiers résultats attestent de la présence d'un fossé, observé sur les documents graphiques anciens et en cours de confirmation par les relevés géophysiques et géomorphologiques, d'une structure de pêcherie de l'époque moderne, d'un site funéraire à la datation indéterminée et d'aménagements divers des berges.

Mots-Clés : Archéologie fluviale, géomorphologie, géophysique, pluridisciplinarité, géoarchéologie

Thème 2. Identifier, analyser et reproduire les gestes des interactions humains-ressources-objets

Coordination : Guillaume BLANCHET, Valentin MICLON, Anne BOCQUET-LIÉNARD, Damase MOURALIS

Les interactions entre les humains, les ressources et les objets impliquent une multitude de gestes et de processus matériels et immatériels dont les vestiges archéologiques sont les témoins privilégiés. L'accroissement des angles d'investigation de ces archives, par les récents développements méthodologiques, et leur intégration à l'étude multiscalaire, étoffe considérablement notre connaissance des sociétés du passé. Ils permettent d'appréhender les organisations socio-économiques, leurs articulations aux écosystèmes et leurs implications (sociales, économiques, écologiques et sanitaires). Documenter et reproduire certaines de ces interactions, identifier leurs répercussions sont des aspirations majeures de la recherche archéologique actuelle. Ce thème propose de rassembler les travaux de toutes périodes chronologiques s'inscrivant dans cette dynamique, et notamment ceux visant à décrire et à restituer les gestes mis en œuvre dans la chaîne opératoire, depuis l'acquisition des ressources, leur gestion, leur transformation à leur usage, puis leur rejet ou leur recyclage.

Session 2.1. Acquérir et gérer des ressources : communications orales & posters

Session 2.2. Transformer : communications orales & posters

Session 2.3. Utiliser, consommer, échanger et circuler : communications orales & posters

Session 2.3. Reproduire pour comprendre les gestes de la chaîne opératoire (axe transversal) : communications orales & posters

Keynote 2 :

L'expérimentation en archéologie des périodes historiques : évolution sémantique et réalités des pratiques

Tereygeol, Florian ¹

¹ LAPA – CEA, CNRS : UMR5060, CNRS : UMR3685 – LAPA-IRAMAT, NIMBE, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette France, France – tereygeol@cea.fr

L'expérimentation en archéologie a d'abord été l'apanage des préhistoriens. Le développement des travaux archéologiques portant sur les périodes historiques s'est accompagné plus lentement d'une pratique expérimentale, notamment dans la sphère de l'histoire des techniques. Fille de l'expérimentation en archéologie de la préhistoire, l'archéologie expérimentale appliquée aux périodes historiques s'est également enrichie du recours aux sources écrites pour penser les expérimentations, et interpréter les textes dans une démarche récursive. Ces dernières décennies, cette approche s'est diversifiée dans ses formats et a agrégé de nouveaux acteurs. Aujourd'hui, il n'est plus possible de parler de l'expérimentation en archéologie, mais bien des expérimentations, dont les questions, les moyens et les protagonistes se sont largement renouvelés jusqu'à intégrer maintenant la simulation numérique et la modélisation. C'est cette variété que nous explorerons en nous appuyant sur des exemples pris dans le domaine des arts du feu.

Session 2.1. Acquérir et gérer des ressources

Communications orales

Diversité de matières, de sources et de pratiques dans le Later Stone Age : les peintures blanches de Pomongwe cave

Stéphanie Touron * ¹, Camille Bourdier *

¹ Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques – Ministère de la Culture et de la Communication – 29, rue de Paris 77420 Champs-sur-Marne, France – stephanie.touron@culture.gouv.fr

La variabilité techno-stylistique de l'art rupestre des sociétés de chasseurs-collecteurs préhistoriques (Later Stone Age) en Afrique australe, sa caractérisation et son interprétation en termes socio-culturels constituent une problématique essentielle des recherches actuelles, après plus d'une trentaine d'années de désintérêt. Les dynamiques spatio-temporelles de cette production graphique demeurent ainsi très mal documentées, a contrario des sphères technique, cynégétique et alimentaire.

La question des changements et continuités de l'iconographie dans la longue durée guide les études interdisciplinaires menées dans l'abri peint et occupé de Pomongwe (Zimbabwe). Les précédents travaux avaient en effet mis au jour une longue séquence d'occupation au Later Stone Age, entre la fin du Pléistocène et l'Holocène récent, à laquelle se rapporterait la production picturale. Notre objectif est ainsi d'établir la séquence chrono-stylistique des peintures rupestres de Pomongwe, qui deviendrait une référence dans le cadre régional du massif des Matobo. Notre approche combine analyse techno-stylistique des peintures et du mobilier associé (fragments de parois peintes, matières colorantes, équipement pictural) et étude des archéoséquences (nouveaux sondages, études de mobilier).

L'analyse de l'iconographie comporte notamment la caractérisation typo-morphologique (caractéristiques visuelles) et physico-chimique (composition) des peintures sur paroi et sur fragments exfoliés. La méthode repose ainsi sur un dialogue étroit entre archéologie, archéométrie et géologie, depuis la formulation des questions de recherche jusqu'à la discussion des résultats, incluant des terrains communs avec observation croisée des dépôts colorés et stratégie commune de prélèvements. Trois enjeux primordiaux de ce volet analytique consistent en effet à différencier les peintures et les dépôts colorés issus de l'altération, à identifier les matières colorantes employées et leur provenance, à déterminer l'impact des processus taphonomiques ayant affecté les peintures afin de mieux caractériser la variabilité visuelle actuelle.

Un intérêt particulier a été porté aux dépôts colorés blancs dont l'origine - anthropique ou non - n'était souvent pas évidente à trancher a priori (a fortiori sur les fragments exfoliés) puisque pouvant résulter de multiples altérage. Par ailleurs, à la différence de la famille des ocres, les blancs restent peu étudiés en Afrique australe. L'analyse physico-chimique combinée (MEB-EDS-, IRTF, DRX) d'un ensemble de prélèvements sur parois et sur fragments exfoliés croisée avec leur analyse visuelle a révélé l'existence de trois pratiques picturales mettant en jeu les blancs : comme couleur indépendante dans des motifs polychromes, en mélange avec d'autres matières colorantes pour obtenir certaines recettes picturales (jaune, orange, rose), en badigeon comme fond coloré. Quatre matières colorantes différentes ont été identifiées – kaolinite, calcite, gypse, et polyhalite ou magnésite - d'origines diverses : cours d'eau dans le massif, coquilles d'œuf d'autruche, formations géologiques extra-régionales importées. Elles semblent correspondre à des pratiques distinctes inscrites dans la diachronie. Ces résultats témoignent de la large gamme de ressources utilisées dans la technologie picturale dans l'abri de Pomongwe, ainsi que de dynamiques temporelles entre innovations, perdurations et abandons. Ils ouvrent également une autre fenêtre sur les relations aux ressources minérales et animales de ces groupes et sur les paysages culturels qu'ils ont créés, à l'intérieur du massif et avec les espaces environnants.

*Intervenant

Mots-Clés : matières colorantes, peintures, blancs, Later Stone Age, Pomongwe cave

Le rouge et le jaune dans le Bassin parisien : Stratégie d'approvisionnement au Paléolithique supérieur

Aurélien Chassin De Kergommeaux ^{* 1,2}, Hélène Salomon ¹, Magali Rossi ¹, Emilie Chalmin ¹, Caroline Peschaux ³, Emilie Lesvignes ³, Elisa Caron-Laviolette ³, Pierre Bodu ³, Olivier Bignon-Lau ³

¹ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Université Savoie Mont Blanc, CNRS – UMR 5204 EDYTEM – France

² Groupe d'Etude sur les Géomatériaux et ENvironnements Anthropisés - UR 3795 – Université de Reims Champagne-Ardenne – France

³ UMR 8068 TEMPS – UMR TEMPS 8068, CNRS – France

Les matériaux colorants ferrugineux sont des matières premières offrant un aperçu des choix délibérés faits par les sociétés anciennes, notamment du Paléolithique supérieur, éclairant leurs voies de circulation, leurs idées, leurs préférences et leurs traditions.

Le Bassin parisien regroupe de nombreux sites du Paléolithique supérieur et possède de nombreuses et diverses ressources riches en oxy(hydroxy)des de fer colorants. Une étude y a été entreprise afin de documenter les ressources ferrugineuses des formations locales et d'analyser les collections archéologiques provenant de sites significatifs tels que la Grotte du Renne (Arcy-sur-Cure, Châtelperronien), le Mont-Saint-Aubin (Oisy, Badegoulien), Pincevent (Magdalénien supérieur) et Louviers (Magdalénien supérieur). Les échantillons ont fait l'objet d'analyses pétrographiques systématiques et d'identifications de traces de modifications techniques passées à l'aide de stéréomicroscopes. Les analyses (microscopie optique et électronique, DRX, PIXE) ont permis de caractériser la nature, la provenance (par rapport aux références géologiques), les propriétés pétrophysiques, les techniques de travail et les utilisations des différentes roches riches en oxy(hydroxy)des de fer colorants présentes dans les collections archéologiques.

Malgré la disponibilité de matières premières locales (grès ferrugineux, calcaires, concrétions et hématites oolithiques - OIS), certaines ressources externes au bassin versant ont été préférées et présentent des schémas d'utilisation durables. Par exemple, les calcaires à entroques ferrugineux utilisés pour la production de poudre à la Grotte du Renne, au Mont Saint-Aubin et à Pincevent proviennent de l'Hettangien des contreforts nord-est du Morvan (à une distance de 35-145 kilomètres au SE).

De nouvelles ressources ont été introduites au Badegoulien et se sont répandues au Magdalénien, comme l'OIS provenant des formations ordoviciennes de Normandie (à 100-360 kilomètres au NO), utilisée pour le façonnage de disques perforés et la production de poudres. À Pincevent, où vingt niveaux documentent des établissements récurrents sur une courte période (moins d'un siècle), la transition dans la sélection de l'OIS de la formation de l'Aalénien-Toarcien (300 kilomètres au sud) à celle de l'Ordovicien normand (200 kilomètres à l'ouest) souligne les changements dans les pratiques d'approvisionnement en matériaux.

Dans l'ensemble, les analyses pétrographiques et technologiques croisées révèlent des stratégies spécifiques d'acquisition et de sélection des matériaux parmi les groupes humains anciens, qui privilégient les propriétés souhaitées à la proximité géographique. Cela met en évidence la relation complexe entre le comportement humain, la disponibilité des ressources et l'innovation technologique dans les contextes préhistoriques.

*Intervenant

Mots-Clés : Matières colorantes riches en oxy(hydroxy)des de fer, analyses pétrographiques, analyse technologique, provenance, Bassin Parisien, Paléolithique supérieur

Minières et bas fourneaux du Premier âge du Fer dans les Monts d'Arrée : approches archéologiques, archéométriques et paléoenvironnementales

Cristina Gandini ^{*} ¹, Emmanuelle Meunier ², David Aoustin ³, Simon Puaud ³, Gwendoline Rupin ³, Le Carlier De Veslud Cécile ³

¹ Centre de recherche bretonne et celtique – Université de Bretagne Occidentale [UBO] – France – cristina.gandini@univ-brest.fr

² Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – Université de Toulouse II Jean-Jaurès – France – emmanuelle_m@hotmail.fr

³ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – Université Rennes – France – david.aoustin@univ-rennes.fr, gwendoline.rupin@univ-rennes.fr, simon.puaud@univ-rennes.fr, cecile.lecarlier@univ-rennes.fr

Les gisements de fer sont particulièrement répandus dans le Massif armoricain et ont été exploités dès le Premier âge du Fer, avec le développement de la technologie des fours à scories piégées.

Cette communication présente les résultats d'une enquête pluridisciplinaire menée à Briou/Goassélen, sur les communes de Berrien et Le Cloître-Saint-Thégonnec, au cœur des landes du Cragou dans les Monts d'Arrée (Finistère). Ce site fait l'objet d'une étude spécifique depuis 2023, dans le but de reconstituer l'organisation d'un atelier métallurgique du Premier âge du Fer (VIII^e-Ve s. av. J.-C.), de la mine à la production de métal brut.

Après la réalisation d'une prospection géophysique magnétique révélant la présence de plusieurs bas fourneaux autour d'une zone d'extraction minière, les sondages effectués en 2024 ont permis d'étudier cinq fours de taille et de morphologie différentes et de comprendre leurs modes de construction et de fonctionnement. Les cheminées ne sont pas conservées, mais des fragments de paroi en argile blanche avec de grosses inclusions de dégraissant ont pu être récupérés. Certains conservent des traces d'événements et des empreintes de doigts faites lors du montage de la structure. Les analyses chimiques par fluorescence X portable des fragments de paroi, du mobilier scorifié et des minerais permettent de caractériser l'origine des matériaux, d'estimer la quantité de minerai et de combustible employés et le volume de métal produit. Différentes méthodes de datation (¹⁴C, paléomagnétisme) ont également été associées, afin d'affiner les chronologies, faute de mobilier céramique.

Le sondage réalisé en bordure d'une minière a permis d'observer des creusements multiples, montrant que les mineurs ont suivi des poches plus riches en minerai au sein des schistes. Deux puits recoupant les déblais depuis la surface semblent correspondre à une phase de prospection pour évaluer l'opportunité de reprendre l'exploitation.

Une étude paléoenvironnementale a également été engagée. L'analyse des prélèvements de charbons dans les fours et sur les sols montre une utilisation préférentielle du chêne, accompagné de noisetier, Maloïdées, Prunoidées, genêt/ajonc et bouleau, restituant un environnement de type chênaie, avec toutefois la présence de milieux plus ouverts. Des examens complémentaires permettent d'aborder la sélection des bois effectuée aux différentes étapes du traitement du minerai de fer (bois de gros calibre, perche, branche, tige, etc.). Ces premières observations ont été complétées par des carottages réalisés dans une tourbière

*Intervenant

située à quelques centaines de mètres en contrebas du site. L'étude palynologique et sédimentologique des quatre séquences prélevées permet d'obtenir des informations sur la dynamique des peuplements végétaux et les événements sédimentaires contemporains, antérieurs et postérieurs à l'activité métallurgique, afin de comprendre l'éventuel impact de celle-ci sur son environnement.

Mots-Clés : Bretagne, Age du Fer, Mine, Fer, Métallurgie, Scorie, Anthracologie, Palynologie, Sédimentologie, Datations radiocarbone, Archéomagnétisme

Approche archéométrique de la chaîne opératoire des dérivées de sigillée paléochrétiennes (DSP), catégorie emblématique de l'Antiquité tardive : structures et productions du site de Las Craveros (Fanjeaux, Aude).

Thomas Delbey * ¹, Benoît Favennec ^{2,3}, Claire Faisandier ³

¹ Cranfield University - Faculty of Engineering and Applied Sciences – Royaume-Uni – thomas.delbey@cranfield.ac.uk

² Archéologie des Sociétés Méditerranéennes – UMR 5140 ASM - Archéologie des Sociétés Méditerranéennes – France

³ INRAP Midi-Méditerranée – INRAP – France

Le site de *Las Craveros* correspond à un groupement artisanal polyvalent qui s'étend sur environ 1 hectare, à approximativement 30 km à l'ouest de Carcassonne. Il comprend notamment divers aménagements liés à la production de céramiques datés entre la fin du IV^e s. et le début du VI^e s.

Les fouilles programmées depuis 2017 ont permis en particulier de mettre au jour un grand nombre de vestiges potiers tels qu'une carrière d'argile, des fossés de lévigation, des espaces de stockage et de foulage de l'argile, ainsi que 13 fours et les niveaux dépotoirs associés. Ces installations constituent à ce jour le plus gros corpus d'aménagements potiers dégagés en France pour la fin du IV^e s., le V^e s. et le VI^e s. apr. J.-C.

Le répertoire de production céramique est lui aussi tout à fait exceptionnel. Outre le fait qu'il comprend tout une gamme de vaisselle pour la préparation, la cuisson et le stockage, c'est surtout la qualité, la quantité et les décors des céramiques pour la table et le service qui le démarquent de ses contemporains. Par exemple, en partant du volume d'argile extrait sur place, le nombre de vases fabriqués est estimé entre plusieurs centaines de milliers de pièces voire plus d'un million de vases selon les différentes hypothèses envisagées. L'aire de diffusion des poteries engobées et poinçonnées, dites DSP, est un autre critère soulignant l'importance du site : elle s'étend au minimum au Languedoc occidental, au Roussillon et au Toulousain, soit dans un rayon de 125 km. Toutefois, de récents travaux semblent indiquer qu'elle pourrait s'étendre en Catalogne et peut-être dans une grande partie de la Péninsule Hispanique ou encore en Italie.

Des analyses physico-chimiques (LA-ICP-MS et XRPD) réalisées sur tessons et échantillons d'argile crue provenant de différents contextes du site permettent de mettre en lumière les critères de sélection de la matière première, les choix technologiques (températures de cuisson, préparation générale de la pâte, etc.) ainsi que la présence de différents groupes de pâtes. Une telle approche de la chaîne opératoire et de l'évolution technique des productions céramiques est rarement possible pour les ateliers de céramique de l'Antiquité tardive en Gaule méridionale.

Les résultats des analyses élémentaires contribueront à pister la diffusion des vases de Las Craveros et à améliorer nos connaissances sur les réseaux de diffusion des céramiques en Gaule et Méditerranée occidentale durant l'Antiquité tardive. Des échelles de transports que l'on pensait jusque-là réservées à la sigillée d'Argonne ou à des céramiques importées d'autres régions méditerranéennes (sigillées et vaisselles

*Intervenant

africaines, céramiques engobées rhodaniennes/savoyardes) apparaissent désormais pour des céramiques fabriquées en Gaule narbonnaise.

Mots-Clés : dérivées de sigillée paléochrétiennes, chaîne opératoire, Antiquité tardive, archéométrie

Retracer les aires de circulation du cuivre et de ses alliages dans les Pyrénées françaises à la fin du Moyen Âge

Léa Chanal * ¹, Guillaume Sarah ², Florian Téreygeol ³

¹ IRAMAT - Centre Ernest Babelon – CNRS UMR 7065, Université d'Orléans – France

² IRAMAT - Centre Ernest Babelon – CNRS UMR 7065, Université d'Orléans – France

³ IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Prévion de l'Altération – CEA, CNRS, Université Paris-Saclay – France

L'économie de la fin du Moyen Âge à l'échelle de l'Europe connaît de profondes évolutions en lien avec des innovations techniques majeures et les exploitations minières s'intensifient sous l'impulsion de pouvoirs politiques ou religieux. Dans ce contexte, d'importants changements s'opèrent au sein du marché des métaux. C'est notamment le cas pour les alliages cuivreux, qui font l'objet de productions diversifiées à l'époque médiévale.

Plusieurs dizaines de gisements susceptibles d'avoir alimenté la production du cuivre et de ses alliages aux époques anciennes ont été recensés dans les Pyrénées françaises. Leurs périodes d'exploitation sont pour la plupart indéterminées, même si les données archéologiques attestent d'une exploitation durant la fin du Moyen Âge pour certains d'entre eux.

Plus largement, la chaîne opératoire de production du cuivre et de ses alliages dans l'espace pyrénéen est méconnue et les sources textuelles qui s'y rapportent s'avèrent rares. C'est notamment le cas pour les aires de circulation des demi-produits (lingots, tôles) et des produits finis (objets). L'une des stratégies à mettre en œuvre pour enquêter sur ces circuits d'approvisionnement est d'établir une filiation entre les minerais et les objets finis par le biais de leurs compositions.

Cette enquête passe par l'analyse compositionnelle d'une sélection de mobiliers archéologiques en alliages cuivreux retrouvés dans l'espace de diffusion préférentiel des productions pyrénéennes, dans des contextes datés de la fin du Moyen Âge. Les analyses par ICP-MS avec prélèvement par ablation laser (LA-ICP-MS) permettent de quantifier, outre les principaux éléments d'alliage du cuivre (étain, zinc et plomb), les éléments-traces, dont la présence sous la forme d'impuretés n'est pas intentionnelle mais résulte de l'histoire propre à chaque échantillon. Ces signatures chimiques, fixées en fonction du minerai dont les métaux sont issus ainsi que de leurs techniques de production, permettent d'identifier d'éventuels éléments mineurs et traces indicateurs de l'utilisation de minerais particuliers.

D'abord, les résultats des teneurs en impuretés sont mis en relation avec les caractéristiques du mobilier archéologique (type d'objet, technique de fabrication, nature de l'alliage et datation), permettant la distinction de groupes de différents stocks de métaux. Ensuite, les signatures chimiques du mobilier pyrénéen sont comparées à celles d'objets issus de la région Centre-Val de Loire, zone géographique éloignée des espaces de production du cuivre, afin de mettre en lumière des particularités pyrénéennes. Enfin, les informations relatives aux minéralisations recensées dans les Pyrénées sont mises en regard des teneurs en éléments-traces du mobilier archéologique et d'alliages cuivreux produits expérimentalement à partir de minerais connus.

La mise en relation de l'ensemble de ces données contribue à l'avancement des connaissances sur la chaîne

*Intervenant

opératoire de production du cuivre et de ses alliages, et permet plus particulièrement de lever le voile sur les aires de circulation de ces produits.

Mots-Clés : exploitations minières, alliages cuivreux, analyses compositionnelles, impuretés, circulation, Moyen Âge

Approche archéobotanique, archéoentomologique et isotopiques de la production agroalimentaire et combustible en Al-Andalus : le cas de Las Sillas (Aragon)

Marie Larrieu * ¹, Sébastien Gasc ², Ilham Bentaleb ¹, Magali Toriti ³,
Philippe Sénac ⁴, Jordi Gibert Rebull ⁵, Sandrine Canal ¹, Christophe
Vaschalde ⁶, Jérôme Ros ¹

¹ ISEM, UMR5554, Université de Montpellier, CNRS, IRD, EPHE – ISEM Montpellier – France – marie.larrieu@umontpellier.fr, ilham.bentaleb@umontpellier.fr, sandrine.canal@umontpellier.fr, jerome.ros@umontpellier.fr

² IRAMAT - Centre Ernest Babelon, UMR 5060 – CNRS – France – sebastien.gasc@cnrs-orleans.fr

³ CReAAH, UMR 6566 – CNRS-Université de Rennes1 – France – magali.toriti@univ-rennes.fr

⁴ Université Paris-IV Sorbonne – Université Paris-Sorbonne - Paris IV – France – philippe.senac@paris-sorbonne.fr

⁵ LA3M - Universitat Autònoma de Barcelona – Espagne – jgibertr@hotmail.com

⁶ LA3M, UMR7298, Mosaïques Archéologie, – Aix Marseille Université (Aix-en-Provence), CNRS – France – c.vaschalde@mosaiquesarcheologie.com

Devant la difficulté à documenter la réalité des pratiques d'exploitation des paysages en Espagne musulmane médiévale, le recours à des analyses interdisciplinaires s'avère essentiel. Le site de Las Sillas, habitat rural musulman occupé entre le Xe et le XI^e siècle dans la vallée du Flumen (Aragon, Espagne), en est un parfait exemple, grâce à une recherche croisant des analyses carpologiques, anthracologiques, dendrologiques, anthraco-entomologiques et isotopiques.

Établi à environ 420 m d'altitude, cet ancien village s'étend sur une large plateforme de grès, aujourd'hui entourée d'une végétation sclérophylle clairsemée, ponctuée de champs, d'oliveraies et de matorrals. Les conditions locales difficiles posent la question des pratiques et adaptations mises en œuvre par les populations médiévales pour s'approvisionner en eau, en nourriture et en bois, dans un environnement considéré comme semi-aride. Face à des sources textuelles peu prolixes, une approche pluridisciplinaire des vestiges bioarchéologiques, notamment archéobotaniques, semble le seul moyen d'appréhender finement les pratiques d'exploitation des paysages agricoles et boisés, que ce soit pour la production alimentaire, de fourrage et de combustible, ou pour mieux appréhender l'état des terroirs exploités.

Les études archéobotaniques menées sur les contextes domestiques du site documentent les ressources végétales et les pratiques agro-sylvo-pastorales passées, mettant notamment en évidence l'exploitation d'une végétation typiquement méditerranéenne, composée de ciste, de fabacées, de romarin, et d'essences plus arborées (chêne sempervirent, pin). La présence sur certains charbons de bois de galeries d'insectes témoigne d'un stockage de certaines essences et donc d'une gestion rationalisée de la ressource combustible. Concernant l'agriculture locale, elle reposait sur une diversité appréciable de céréales, de légumineuses et de fruitiers. Les analyses des isotopes stables (azote, carbone, soufre) de caryopses d'orge vêtue et de blé nu suggèrent une agriculture sèche, sans recours à l'irrigation malgré l'aridité locale, ainsi qu'un apport en fumure pour favoriser le développement de ces céréales. L'importante proportion de bois de fruitiers, et particulièrement de plusieurs *Prunus* sp. dans le combustible du site, interroge quant au rôle et à la

*Intervenant

gestion de ces fruitiers et de leurs déchets de taille dans le village. Ces données variées, contextualisées et spatialisées, mettent en évidence des différences de ressources en fonction des secteurs d'habitat, et donc une diversité des pratiques au sein du village.

Mots-Clés : Moyen Âge, Paysage boisé, Anthracologie, Carpologie, Entomo, anthracologie, Isotope, Fumure, Culture fruitière

De la haute mer aux ruisseaux : les lieux de pêche dans la Picardie médiévale et moderne

Christophe Cloquier * ^{1,2,3}, Benoit Clavel *

¹ Bibliothèque centrale du service de santé des Armées – Service de Santé des Armées, Ecole du Val-de-Grâce – France

² Laboratoire de Médiévisitisme Occidentale de Paris (LAMOP) – CNRS : UMR8589, Université Paris I – Panthéon-Sorbonne – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne - Centre Sorbonne - 17 rue de la Sorbonne 75005 Paris - CNRS LAMOP (Institut des Traditions Textuelles) 7 rue Guy Môquet BP 8 94801 Villejuif Cedex - Centre Malher - Université Paris 1 - 9 rue Malher 75004 Paris - Institut d'art et d'archéologie. Centre Michelet 3 rue Michelet 75006 Paris - Musée national de la Marine Palais de Chaillot 17 place du Trocadéro 75116 Paris, France

³ Laboratoire interdisciplinaire des énergies de demain – Université de Paris Cité – France

Durant les périodes médiévale et moderne, le respect des impératifs alimentaires, imposés aux populations ecclésiastiques et laïques par l'Église, aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain, impliquait la consommation de grandes quantités de poissons. Durant les 146 jours maigres, soit deux jours sur cinq, répartis sur l'année, les approvisionnements devaient répondre aux demandes des populations avec des captures régulières et suffisamment importantes. Ainsi, dans un territoire comme la Picardie médiévale et moderne, en raison de ces impératifs, non exclusifs, la multiplicité des seigneurs ecclésiastiques et laïcs engendrait non seulement des oppositions, rivalités et conflits pour la pratique de la pêche mais également pour la possession de zones ou lieux de pêche.

Ainsi, du littoral picard et de l'estuaire de la Somme aux plus petit des ruisseaux, sans oublier les canaux, les étangs ou les fossés des villes, ces biotopes aquatiques, potentiellement riches en ressources naturelles, constituaient autant d'espaces naturels ou anthropisés à posséder et gérer que de zones et lieux d'approvisionnement en poissons. Si les espaces maritimes permettaient uniquement de pêcher des poissons marins, les espaces fluviaux offraient la perspective de capturer des poissons euryhalins migrateurs, comme l'anguille (*Anguilla anguilla*) et l'esturgeon (*Acipenser sturio*), en plus des poissons dulçaquicoles, dont le barbeau fluviatile (*Barbus barbus*) et le brochet (*Esox lucius*) ; le milieu estuarien constituant également un milieu particulier avec des poissons non migrateurs, comme le flet commun (*Platichthys flesus*) et la plie commune (*Pleuronectes platessa*). Inévitablement, avec une telle pression halieutique, les zones et lieux de pêche ainsi que les populations de poissons et les tailles des individus capturés changèrent au fil des siècles.

Si les sites archéologiques et les sources documentaires livrent des restes osseux et informations textuelles qui permettent d'identifier les espèces, quantités et tailles des poissons pêchés, pour une période ou une population connue, ils peuvent également conduire à l'identification des zones et lieux de pêche. De plus, aux éléments ichtyologiques, il convient d'ajouter les vestiges d'engins et de structures de pêche qui permettent également de localiser très précisément des lieux de pêche, ponctuellement éloignés des sites de consommation, puisque la demande en poissons, bien qu'amplifiée par les impératifs religieux, s'inscrivait dans un contexte économique, social et environnemental plus large. Ainsi, des espaces maritimes, pélagiques ou côtiers, aux espaces fluviaux, voire palustres et stagnustres, les zones et lieux de pêches, exploités par les différents artisans de la pêche, peuvent être identifiés et étudiés au fil des siècles et, au-delà, associés aux échanges commerciaux à longue distance et aux innovations technologiques.

*Intervenant

Mots-Clés : zones de pêche, espaces maritimes, espaces estuariens, espaces fluviaux, sources archéologiques, sources textuelles, Moyen Age, époque moderne

Session 2.1. Acquérir et gérer des ressources

Posters

De la paroi à la source d'approvisionnement : stratégie d'étude de la matière colorante dans le cas de site orné de la vallée de la Similkameen (Colombie Britannique, Canada)

Emilie Chalmin * ¹, Anne-Lise Develle-Vincent ², Wafaa Bouits ¹, Jeremy Ash ³, Angela Clyburn , Brenda Gould , Megan Harris ⁴, Susan Rowley ⁵, Jean-Jacques Delannoy ⁶, Mike Allison , Anita Quiles ⁷

¹ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204 / FRE 2641, Université Savoie Mont Blanc, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204, Centre National de la Recherche Scientifique – France

² Environnements, Dynamiques et Territoires de Montagne – Centre national de la recherche scientifique - CNRS (France), Université Savoie Mont Blanc, Université Savoie Mont Blanc – France

³ Monash university – Australie

⁴ University of British Columbia [Vancouver] – Canada

⁵ Museum of Anthropology - University of British Columbia – Canada

⁶ Environnements, Dynamiques et Territoires de Montagne – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université Savoie Mont Blanc – France

⁷ Laboratoire de mesure du carbone 14 – CEA – France

Les peintures rupestres de la vallée de la Similkameen (Colombie Britannique, Canada) appartiennent à une large tradition de peintures indiennes d'une région connue comme étant la plus concentrée en sites d'art rupestre d'Amérique du Nord, avec plus de 200 sites répertoriés. Le site de Chuchuwayha conserve plusieurs dizaines de figurations rouges et noires, référencées depuis les années 1930 (Teit, 1928) et inventoriées depuis les années 1950 (Corner, 1949). À l'initiative de la communauté *des Upper Similkameen Indian band*, l'étude archéologique du site a été engagée en 2016 par une équipe internationale et interdisciplinaire, soutenue depuis 2019 par la commission des fouilles du MEAE. Dans ce projet, une approche intégrée est développée pour l'étude de ce site dans l'objectif de construire un modèle chronologique complexe et intégratif de l'abri sous roche permettant de dépasser la seule dimension locale du site et de renseigner la compréhension archéologique régionale et la singularité de la vallée de la Similkameen.

Les peintures du site de Chuchuwayha sont le reflet de l'histoire de ces premiers peuplements de l'Amérique du Nord et sont le témoin des changements qui ont marqué leur territoire (avant et après l'arrivée des colons européens). L'exploitation du site sacré d'Ochre Bluff (Tulammen) situé environ 30 km en amont comme source de matière première colorante est encore attestée par la communauté et constitue un indice précieux pour retracer les trajectoires des matières premières dans le temps. L'étude de ces matières colorantes constitue ici un fil conducteur d'acquisition de connaissances sur ces sociétés comme les sources de matières premières et leurs étapes de préparation.

Pour étudier les matières colorantes, nous avons réalisé avec l'accord des propriétaires du site des micro-prélèvements de la paroi pour évaluer la taphonomie de celle-ci, des micro-prélèvements de peintures ainsi que d'échantillons naturels provenant du site de Ochre Bluff. À partir d'une méthodologie multi-échelle et multi-technique, nous sommes en mesure d'accéder à la stratigraphie complexe de la paroi (granite),

*Intervenant

de la couche picturale, jusqu'aux différentes couches d'encroutement. Couplée à la caractérisation des échantillons géologiques colorants, cette méthode vise à reconnaître des marqueurs permettant de trouver des relations entre ce site sacré reconnu comme étant le site d'approvisionnement local et les matières colorantes identifiées sur les parois.

Mots-Clés : art rupestre, matière colorante, source d'approvisionnement, analyses physico, chimique, taphonomie de paroi

Agnelage d'automne dans le Sud de la France : implications pour l'acquisition et la gestion des ressources au Néolithique

Eléa Gutierrez * ¹, Pierre Pignaut ¹, Emma Bourguignon ¹, Lionel Gourichon ², Stéphanie Bréhard ¹, Denis Fiorillo ¹, Didier Binder ², Jean Guilaine ³, Claire Manen ⁴, Cédric Lepère ², Urs Leuzinger ^{5,6}, Rose-Marie Arbogast ⁷, Marie Balasse ¹

¹ Muséum national d'Histoire naturelle – CNRS UMR 7209 AASPE – France – elea.gutierrez@mnhn.fr

² Université Côte d'Azur – CEPAM - UMR7264 – France

³ Académie des Inscriptions et belles lettres (aibl) – aibl – France

⁴ Université Toulouse - Jean Jaurès – UMR 5608 - TRACES – France

⁵ Kanton Thurgau Amt für Archäologie – Suisse

⁶ Leiter Museum für Archäologie – Suisse

⁷ Université de Strasbourg – UMR7044 Archimède – France

L'organisation des tâches agropastorales et la disponibilité saisonnière des productions animales sont étroitement liées au calendrier de reproduction des troupeaux domestiques. Au Néolithique, les sociétés agropastorales ont dû composer saisonnièrement avec les contraintes environnementales et la physiologie animale. Sous les latitudes tempérées, les brebis alternent annuellement entre une période de fertilité et un repos sexuel, un cycle principalement calé sur la photopériode. Dans le bassin méditerranéen, le cadre climatique, ainsi que l'existence de races ovines méditerranéennes ayant une forte capacité au désaisonnement, ont permis l'émergence de l'agnelage d'automne, contrastant avec le modèle dominant des mises bas printanières en Europe tempérée. Pour reconstituer la saison de naissance des moutons au Néolithique, nous nous appuyons sur l'analyse séquentielle des isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}O$) dans l'émail dentaire. Des agnelages d'automne ont déjà été observés dès le VI^e millénaire avant notre ère dans le sud de la France et en Espagne. Dans le cadre du programme AUTUMN LAMBS, nous élargissons les recherches dans le Sud de la France, tant sur le plan géographique que chronologique afin de mieux comprendre les conditions socio-économiques et paléoenvironnementales ayant conduit à l'émergence et la perdurance de ces systèmes d'élevage. Nous présenterons les nouveaux résultats de l'analyse de huit contextes du Sud de la France datés du VI^e au IVE millénaires avant notre ère (Montélimar-Daurelle, Grotte Lombard, Les Bréguières, Montou, Mourre de la Barque, Pendimoun, Pertus II, et le Taï), ainsi que de trois contextes d'Europe continentale du IVE millénaire (Arbon Bleiche 3, Chalain 19, Clairvaux XIV). Nos résultats confirment la présence des naissances automnales en Méditerranée dans le Cardial et leur persistance sur la diachronie dans des complexes chronoculturels du VBQ, Chasséen et Ferrières. Ces agnelages d'automne confirment la capacité physiologique des moutons néolithiques au désaisonnement, ainsi que la maîtrise des interactions socio-sexuelles au sein du troupeau par les éleveurs. De plus, ces résultats reflètent un environnement propice, offrant des ressources fourragères suffisantes pour soutenir la lactation en automne, typique du climat méditerranéen. La combinaison d'un agnelage automnal et printanier permettait aux éleveurs de disposer de produits animaux, notamment du lait, sur un temps plus long de l'année, leur offrant ainsi un avantage significatif dans l'acquisition des ressources.

*Intervenant

Mots-Clés : naissance, moutons, Néolithique, isotopes, oxygène, Europe

Caractéristiques pétrographiques et géochimiques de briques du haut Moyen Âge de la région d'Angers : implications pour l'origine des terres argileuses.

Thomas Hunot * ¹, Mikaël Guiavarc'h *

1

¹ CReAAH, UMR6566 – CNRS : UMR6566 – France– thomashunot01@gmail.com

Les lieux de production des terres cuites architecturales durant l'Antiquité et le haut Moyen Âge en Maine-et-Loire sont méconnus. Seuls quelques fours ont été identifiés au sud de Saumur mais n'ont pas fait l'objet de fouilles archéologiques. Pour déterminer la localisation de zones d'extraction de matières premières, un corpus de 84 terres cuites architecturales a été sélectionné pour cette étude. Les échantillons ont été prélevés sur des monuments de la ville d'Angers et de sites de la vallée de la Loire. La nef de l'église de Savennières a fourni en particulier plus de la moitié du corpus. Ces terres cuites architecturales ont été analysées sous forme de lames minces au microscope optique polarisant (MOP) couplé à des analyses EDS au MEB de quelques minéraux. La composition chimique des terres cuites a été déterminée sur des pastilles de poudre au spectromètre de fluorescence des rayons X portable (pXRF) et comparée à des échantillons de terres argileuses de gisements potentiels. Ces analyses ont permis de mettre en évidence que les briques de l'ensemble du corpus étudié ont des caractéristiques similaires. Les terres argileuses ont donc probablement été extraites dans le même gisement mais néanmoins différent des deux gisements connus pour le bas Moyen Âge dans cette région (Les Rairies et Le Fuilet). La nature des inclusions minérales et la matrice phylliteuse des pâtes sont caractéristiques d'une terre argileuse issue de l'altération d'une roche granitique. Une partie de ce lot est composée d'une charge sableuse typique des alluvions de la Loire qui révèlent probablement un rajout volontaire dans la préparation des pâtes. Plusieurs sources de terres argileuses associées à des roches du Massif armoricain situées le long de la vallée de Loire sont compatibles avec ces résultats.

Mots-Clés : Terres cuites architecturales, Moyen Âge, pétrographie, géochimie, provenance

*Intervenant

Territoire des chasseurs-collecteurs du Later Stone Age : Étude préliminaire des gisements de matières colorantes ferriques dans la vallée de Congo (Cap-Occidental, Afrique du Sud)

Guilhem Mauraⁿ * ^{1,2}, Hayley Cawthra^{3,4}, Petrus Alfeus Tangeni⁵, Malesetla Sepamo⁵, Tammy Hodgskiss⁶, Tyler J. Faith^{7,8}, Brian Chase^{9,10}, Justin Pargeter¹¹

¹ Travaux et Recherches Archéologiques sur les Cultures, les Espaces et les Sociétés – Centre National de la Recherche Scientifique, Université Toulouse Jean Jaurès – France

² Rock Art Research Institute, University of the Witwatersrand – Afrique du Sud

³ Minerals and Energy Unit, Council for Geoscience Western Cape regional office – Afrique du Sud

⁴ African Centre for Coastal Palaeoscience, Nelson Mandela University – Afrique du Sud

⁵ School of Geography, Archaeology, and Environmental Studies, University of the Witwatersrand – Afrique du Sud

⁶ Origins Center, University of the Witwatersrand – Afrique du Sud

⁷ Natural History Museum of Utah, University of Utah, Salt Lake City, UT – États-Unis

⁸ Department of Anthropology, University of Utah, Salt Lake City, UT – Afrique du Sud

⁹ Institut des Sciences de l'Évolution-Montpellier (ISEM), University of Montpellier, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), EPHE, IRD, Montpellier – CNRS-IRD-Université de Montpellier – France

¹⁰ Department of Environmental and Geographical Science, University of Cape Town, South Lane, Upper Campus, 7701 Rondebosch – Afrique du Sud

¹¹ African Paleosciences Laboratory, Department of Anthropology, New York University – États-Unis

Au cours des 30 000 dernières années, les chasseurs-collecteurs d'Afrique australe ont développé diverses industries microlithiques et macrolithiques, dont les alternances de production restent encore mal comprises. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer ces variations : adaptations aux changements environnementaux, migrations de populations, diffusion par échanges réciproques ou encore innovations spontanées. Durant cette période, l'occupation de l'intérieur des terres devient plus significative, avec une localisation accrue de certaines productions, telles que les ornements en coquillages *turbo* ou les outils en incisives de phacochère. Ces éléments semblent indiquer une réorganisation sociale majeure parmi les chasseurs-collecteurs de la région. Cependant, cette réorganisation demeure peu explorée.

Parmi les vestiges archéologiques, les matières colorantes se distinguent comme les seules matières premières ayant servi à des fins à la fois technico-économiques, prophylactiques et symboliques. Parmi elles, les matières ferriques dominent largement dans les niveaux archéologiques d'Afrique australe. Ces matériaux, riches en fer, présentent une grande diversité en texture et en composition, reflétant leur origine géologique. Cette diversité rend possible une analyse de provenance essentielle pour comprendre les réseaux d'approvisionnement et l'organisation des espaces sociaux. Les analyses pétrographiques et géochimiques sont particulièrement utiles à cet égard. Si la pétrographie permet d'interroger l'origine des matières colorantes retrouvées dans les niveaux archéologiques, elle est cependant inapplicable aux

*Intervenant

couches picturales, qui nécessitent d'autres approches analytiques couplant analyses minéralogiques et élémentaires.

La grotte de Boomplaas, située dans la vallée de Cango (Afrique du Sud), constitue un site exceptionnel grâce à ses archives bien datées, fournissant des informations paléo-environnementales, alimentaires et sédimentaires précieuses. Ces archives documentent d'importants changements climatiques, végétaux et en ressources au cours du dernier cycle glaciaire-interglaciaire (~40-10 ka).

Dans cette étude, nous explorons si les ressources en matières colorantes ferriques de la vallée de Cango respectent les critères du Postulat de provenance. Pour ce faire, nous avons combiné : des prospections géologiques, des analyses pétrographiques, des observations au microscope électronique à balayage (SEM) couplées à des analyses EDS, et une analyse élémentaire non invasive par émission de rayons X induite par particules (PIXE), permettant de quantifier 22 éléments. Nous avons appliqué des méthodes statistiques multivariées, incluant une transformation par ratio logarithmique centré, afin de traiter les données corrélées positivement au fer et d'améliorer la discrimination des sources en fonction de leurs caractéristiques texturales, minéralogiques et élémentaires.

Nos prospections ont permis d'identifier 22 affleurements d'ocre dans et autour de la vallée de Cango. Les analyses pétrographiques et SEM-EDS révèlent une grande diversité de faciès des matières colorantes ferriques, témoignant de formations géologiques distinctes. Bien que la discrimination des sources basée uniquement sur la composition élémentaire nécessite des approches statistiques en plusieurs étapes, l'intégration des données structurales permet une différenciation plus directe et efficace des gisements de matières colorantes.

Ces résultats constituent une avancée significative pour comprendre les réseaux d'approvisionnement en matières colorantes et les dynamiques sociales des chasseurs-collecteurs du Later Stone Age.

Mots-Clés : matières premières colorantes, approvisionnement, organisations socioéconomiques, Afrique australe

Caractérisation des ateliers de production de terra nigra dans les Pays-de-la-Loire et du Morbihan par analyses pétrographiques et chimiques (ICP-AES).

Baptiste Pesquet ^{*} ¹, Benjamin Gehres ², Anne Bocquet-Liénard ³,
Guiavarch'h Mikaël ⁴, Lola Trin-Lacombe ^{5,6}

¹ Université de Rennes 2 – Université de Rennes 2 – France – pesquetbaptiste@gmail.com

² UMR 6566 - CReAAH, Archéosciences – CNRS, Université de Rennes – France –
benjamin.gehres@cnrs.fr

³ Centre Michel de Boüard - Centre de recherches archéologiques et historiques anciennes et médiévales – CNRS, Université de Caen – France – anne.bocquet-lienard@unicaen.fr

⁴ UMR 6566 - CReAAH, Archéosciences – CNRS, Université de Rennes – France –
mikael.guiavarch@univ-rennes.fr

⁵ Hellénisation et romanisation dans le monde antique – Université de Poitiers EA3811 – France

⁶ Archeodunum - Sainte-Luce-sur-Loire – Archéodunum SA – France – l.trin-lacombe@archeodunum.fr

Cette étude s'inscrit dans le cadre du PCR (Programme Collectif de Recherche) *La céramique entre Loire et littoral du Ier s. av. J.-C. au VIe s. ap. J.-C. (Pays-de-la-Loire, Morbihan)* coordonné par Sébastien Thébaud, Christian Le Boulle, Maxime Mortreau et Lola Trin-Lacombe. Elle porte sur la céramique fine *terra nigra* dont la production est attestée dans l'Ouest de la France. Le corpus est composé de huit ateliers dont les périodes de production s'étendent de la seconde moitié du Ier s. av. J.-C. jusqu'à la première moitié du IVe s. ap. J.-C. L'objectif est de caractériser la production de *terra nigra* par la combinaison de deux méthodes d'analyses archéométriques (pétrographiques en lame mince, et ICP-AES) avec 48 lames minces et 61 échantillons géochimiques provenant des différents ateliers. À partir de ces analyses, nous avons pu distinguer les productions des ateliers d'un point de vue minéralogique et géochimique en montrant une possible utilisation de matières premières locales. Les résultats nous offrent la perspective d'identifier des dynamiques de circulation dans la région entre les ateliers de productions et les sites de consommation. Pour cela des analyses complémentaires sur des *terra nigra* issues de contextes de consommations seront comparées à celles des ateliers de production.

Mots-Clés : ateliers de production, céramique, matières premières, pétrographie, ICP, AES

*Intervenant

Provenances des décors en marbre de la villa du Gleyzia d'Augreilh à Saint-Sever, Landes.

Jeanne Meaucourt , Marie-Claire Savin , Laura Barataud , Isabelle Pianet ¹

¹ Archéosciences Bordeaux, Matériaux, Temps, Images et Sociétés – CNRS : UMR6034, Université Bordeaux Montaigne, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

La *villa* du Gleyzia d'Augreilh située à Saint-Sever (Landes), est assimilée à une grande demeure aristocratique gallo-romaine du bas empire, qui a livré pas moins d'une tonne de marbre dans un état très fragmentaire (plus de 2500 fragments). Plus de la moitié de ces fragments correspond à des marbres blancs, blanc-gris ou veinés, principalement utilisé dans le décor architectural des différentes parties de la *villa*, fûts de colonne, bases, chapiteaux ou plinthes (Barataud, 2023). Des études archéométriques préliminaires effectuées sur un ensemble de chapiteaux conservés à Saint-Sever avaient mis en évidence l'utilisation de marbres provenant de deux vallées différentes des Pyrénées, celle de Saint-Béat et celle d'Ossau, distantes d'une centaine de kilomètres : ces marbres auraient été utilisés à des périodes différentes et pour des motifs sculpturaux différents (Cabanot, 1992).

Nous avons entrepris d'étudier d'autres éléments de décors en marbre blanc de cette *villa*, en intégrant les analyses faites par C. Costedoat et J. Cabanot (1992). Onze éléments de décors différents (6 chapiteaux, 3 bases et 2 plaques) ont été soumis à une analyse archéométrique alliant critères géologiques et chimiques. Les critères géochimiques sont renseignés par l'analyse pétrographique de lames minces au microscope optique et électronique à balayage (MEB) donnant accès à la taille des grains, leur orientation, leur jointure, et à la présence de minéraux accessoires. Les critères chimiques, qui sont directement reliés à la composition du protolithe sédimentaire d'origine, sont les suivants : la mesure des isotopes stables du Carbone et de l'Oxygène, la quantification des éléments traces par ICP-OES et l'évaluation du degré de substitution du carbonate par des éléments chimiques autre que le Calcium par RMN du Carbone. Les provenances sont déterminées par la comparaison des données obtenues pour les artefacts avec celles obtenues pour les différentes carrières des Pyrénées par Analyses en Composantes principales.

La mesure des rapports isotopiques du carbone et de l'oxygène permet de distinguer 2 lots distincts : si trois des échantillons analysés ont des valeurs qui entrent clairement dans le champ isotopique des marbres de la vallée d'Ossau, les huit autres ont des valeurs qui se rapprochent du champ isotopique des marbres de Saint-Béat. Ces résultats expliquent l'interprétation initiale de J. Cabanot, qui proposait une origine à Saint-Béat. Cependant, de nouvelles données suggèrent une provenance encore non identifiée, potentiellement située dans la vallée d'Ossau ou ses environs.

En effet, l'analyse des critères géologiques révèle que l'ensemble des marbres de la *villa* présente des caractéristiques similaires à celles des marbres de la vallée d'Ossau, notamment l'orientation des grains de calcites et leur taille moyenne avoisinant 0,3mm. Par ailleurs, la quantification des éléments traces, leur traitement statistique ainsi que les résultats de la spectroscopie RMN montrent une certaine homogénéité avec des valeurs proches de celles observées pour les marbres de la vallée d'Ossau.

Cabanot J. (1992) Recherches sur l'origine des marbres blancs pyrénéens de l'Antiquité tardive et du haut Moyen Age, méthodes et résultats. In : Bull Soc Nat Antiquaires France, 1994. pp. 389-395.

Barataud, L. (2024) La villa du Gleyzia d'Augreilh, Saint-Sever (Landes). Etude des décors en marbre : placages, colonnes et chapiteaux. A paraître.

Mots-Clés : Pyrénées, décors, Marbre, provenance, isotopes, géochimie

Les formations superficielles, matériaux et ressources pour l'édification du bâti rural en Bretagne administrative du XVI^e au XX^e siècle

François Pustoc'h¹, Simon Puaud^{* 2}, Eric Darrigrand³, Fabrice Mahé³,
Yoann Chantreau^{4,5}

¹ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CReAAH) – Le Mans Université, Université de Rennes, Université de Rennes 2, Centre National de la Recherche Scientifique, Ministère de la culture, Nantes Université - UFR Histoire, Histoire de l'Art et Archéologie – Université de Rennes 1 Bâtiment 24-25 Campus de Beaulieu 263, Avenue du général Leclerc Campus de Beaulieu CS 74205 - 35042 Rennes Cedex- France, France – francois.pustoch@univ-rennes.fr

² UMR 6566 CReAAH - Archéosciences – CNRS : UMR6566, CNRS – France – simon.puaud@univ-rennes1.fr

³ Institut de Recherche Mathématique de Rennes – CNRS – France – eric.darrigrand-lacARRIERE@univ-rennes.fr, fabrice.mahe@univ-rennes.fr

⁴ DRAC Bretagne (SRA) – Ministère de la culture – 6 rue du Chapitre - CS 24405 35044 Rennes Cedex, France, yoann.chantreau@culture.gouv.fr

⁵ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CReAAH) – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – Université de Rennes Bâtiment 24-25 Campus de Beaulieu 263, Avenue du général Leclerc Campus de Beaulieu CS 74205 - 35042 Rennes Cedex- France, France

L'utilisation de la terre crue dans l'architecture vernaculaire d'une partie de la Bretagne administrative a été une pratique courante jusqu'au début des années 1950. Deux techniques ont été utilisées : principalement la bauge et le torchis. Le rapport entre la disponibilité de ce matériau de construction et la nature du substrat géologique (régolithe : altérites et/ou dépôts de couverture) devient une question prégnante qui constitue la problématique de cette étude.

C'est la raison pour laquelle à partir de 2013, l'un de nous (FP) a mené une enquête de terrain qui cherchait, d'une part, à définir précisément l'extension de l'aire géographique des constructions en bauge en Bretagne et d'autre part à dégager les zones de plus grande concentration de ces constructions au sein de cette aire.

Parallèlement, l'étude du substrat géologique, du régolithe et de sa couverture pédologique a permis de révéler le lien entre l'abondance des constructions en terre crue et la présence des limons éoliens (loess) couvrant les formations géologiques essentiellement argilo-silteuses et profondément altérées attribuées au Briovérien (fin du Précambrien du Massif armoricain).

Outre le recensement des constructions en bauge l'enquête reposait également sur la collecte d'échantillons de terre ayant été utilisée dans les édifices. Chacun de ces prélèvements a été analysé sur le plateau de sédimentologie de la plateforme de recherche LAGO du laboratoire Archéosciences de l'UMR 6566 CReAAH. Ces analyses ont porté sur les caractérisations physique et minéralogique des sédiments : granulométrie (granulomètre laser Cilas 1180) ; minéralogie de la fraction lourde (séparation densimétrique) et minéralogie des argiles par diffraction des rayons X (DRX). Ces analyses révèlent la variabilité des dépôts étudiés à travers celle des spectres granulométriques et minéralogiques.

*Intervenant

Les courbes granulométriques obtenues à partir de l'analyse des échantillons de terre se révèlent être des courbes complexes composées de plusieurs courbes gaussiennes unitaires correspondant chacune à une famille de particules. Une étude mathématique par déconvolution (démixage) a permis d'extraire chacune de ces composantes. Il a ainsi été possible d'établir la composition granulométrique de ces mélanges et de saisir la proportion des différentes composantes grâce à l'analyse de types idéalement choisis et caractérisés à partir des cartes géologiques : loess, altérites du Briovérien ou autres types de substrat. De cette façon des courbes de références ont pu être établies. L'étude minéralogique a été menée en parallèle de l'étude granulométrique, elle permet d'affiner la caractérisation des matériaux utilisés. Un SIG a été composé pour associer et faire la synthèse de l'ensemble des données obtenues. Cette synthèse cartographique fait ressortir des liens entre ce type de construction et certaines caractéristiques socio-culturelles de cette aire géographique.

Mots-Clés : terre crue, formations superficielles, Bretagne, architecture vernaculaire, sédimentologie, traitement mathématique, caractéristiques socioculturelles

Diversité de l'olivier en Bétique romaine et au delà : nouveaux apports de la morphométrie géométrique

Juliette Testas * ¹, Oriane Bourgeon ^{2,3}, Iván González Tobar ⁴, Clémence Pagnoux ⁵, Stéphane Mauné ⁶, Terral Jean-Frédéric ⁷

¹ Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier – CNRS, UMR 5554 Institut des Sciences de l'Evolution (Université de Montpellier) – France

² Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM) – Université Paul Valéry - Montpellier III, CNRS : UMR5140 – 390 av de Pérols - 34970 LATTES, France

³ Labex Archimede (ANR-11-LAB-0032-01) – Université Montpellier 3, CNRS : UMR5140 – Université Paul Valéry-Montpellier 3, site Saint-Charles, Bureau 254, Route de Mende, 34199 Montpellier cedex 05, France

⁴ Casa de Velázquez de Madrid – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – France

⁵ UMR 7209 AASPE – Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), Centre national de la recherche scientifique - CNRS (France) – France

⁶ Archéologie des Sociétés Méditerranéennes – Ministère de la culture, Université Paul-Valéry - Montpellier 3, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5140, Centre National de la Recherche Scientifique – France

⁷ Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR ISEM) – Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Institut de recherche pour le développement [IRD] : UR226, Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Montpellier – Place E. Bataillon CC 064 34095 Montpellier Cedex 05, France

Entre 2013 et 2019, les programmes PAEBR et OLEASTRO (LabEx Archimede) ont exploré les multiples aspects de la production d'amphores à huile des vallées du Genil et du Guadalquivir durant l'Empire romain, principalement à travers la fouille d'ateliers de potiers. Ces investigations ont révélé de nombreux noyaux d'olives, utilisés comme combustible dans les fours et qui constituent désormais des témoins archéobotaniques précieux (Bourgeon, 2018 ; González Tobar, 2020). À cette époque, la Bétique s'impose comme l'un des principaux centres oléicoles de l'Empire, exportant massivement son huile à travers tout le territoire, jusqu'à ses confins les plus éloignés (Brun, 2004).

Dans le cadre du projet PATRIMOLEA (coordination J.-F. Terral), la thèse de Juliette Testas vise à caractériser la diversité passée et présente de l'olivier en Occitanie et en Méditerranée occidentale en combinant morphométrie géométrique et génétique. Un travail méthodologique a d'abord été mené sur les techniques de morphométrie géométrique appliquées aux noyaux, parallèlement à une étude de taphonomie expérimentale portant sur les effets de la carbonisation. Parmi les méthodes testées, les Transformées Elliptiques de Fourier (TEF) se sont révélées les plus adaptées pour discriminer les différents morphotypes.

Cette méthodologie a été appliquée aux assemblages de noyaux provenant de trois ateliers de production d'amphores (Las Delicias, Fuente de los Peces et El Mohino) afin de les caractériser et de les comparer à un référentiel variétal moderne issu de tout le bassin méditerranéen, enrichi de données génétiques. Prenant la suite de l'étude de 2018 de Bourgeon *et al.*, ce travail offre un éclairage nouveau sur la diversité des oliveraies bétiques durant l'Empire et contribue à mieux caractériser les dynamiques d'exportation de l'huile et des olives de table en les replaçant dans un contexte méditerranéen plus large.

*Intervenant

Bourgeon, O. (2018). La production d'amphores à huile dans la basse vallée du Genil : Contribution à l'histoire socio-économique de la Bétique à l'époque romaine (Ier s. av. J.-C.- Ve s. ap. J.-C.). (Thèse de doctorat, Montpellier 3).

Bourgeon, O., Pagnoux, C., Mauné, S., García Vargas, E., S., I., Bonhomme, V., Ater, M., Abdelmajid, M., & Terral, J.-F. (2018). Olive tree varieties cultivated for the great Baetican oil trade between the 1st and the 4th centuries ad : Morphometric analysis of olive stones from Las Delicias (Ecija, Province of Seville, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany*, 27.

Brun, J.-P. (2004). *Archéologie du vin et de l'huile dans l'Empire romain*. Errance.

González Tobar, I. (2020). La production d'amphores à huile de Bétique dans le Conventus Cordubensis (Province de Bétique, Espagne) à l'époque romaine : Nouvelles perspectives socio-économiques (Thèse de doctorat, Montpellier 3).

Mots-Clés : Olives, Sélection variétale, Agrobiodiversité, Morphométrie géométrique, Archéobotanique, Bétique romaine, Commerce de l'huile

Les carreaux de pavement médiévaux de l'abbaye de Cluny (Saône et Loire) : changement de matière première argileuse au fil des siècles ?

Valérie Thirion-Merle ^{*} ¹, Anne Schmitt ¹, Anne Baud ¹, Clarisse Couderc ¹, Florent Delencre ¹, Florian Galletti ^{1,2}, Françoise Notter-Truxa ³

¹ ArAr, Archéologie et Archéométrie – CNRS : UMR5138, Université Lumière - Lyon 2, Université de Lyon, Université Lyon 1 – France – valerie.merle@mom.fr

² Centre des monuments nationaux - Musée d'Art et d'Archéologie Abbaye de Cluny – Ministère de la Culture et de la Communication – France

³ Maison de l'Orient et de la Méditerranée - Jean Pouilloux – Univ Lyon, Université Lyon 2, CNRS, Université Lyon 1 – France

À Cluny en Saône-et-Loire, les nombreuses fouilles de l'abbaye bénédictine ont mis au jour une importante quantité de carreaux de pavement, dispersés dans différentes réserves du musée d'Art et d'Archéologie et du Centre des monuments nationaux-Abbaye à Cluny. Ces carreaux, datés pour l'instant d'entre le XII^e ou XIII^e siècle et le XVII^e siècle, n'ont fait l'objet que de ponctuelles études iconographiques. Un regain d'intérêt a permis la mise en place d'un programme collectif de recherche, financé par la DRAC Bourgogne-Franche-Comté, associant archéologie et archéométrie.

Ce programme a pour objectifs de proposer une chrono-typologie des carreaux entre le XII^e et le XVII^e siècle et surtout de caractériser les matières premières argileuses utilisées par les tuiliers et localiser les ateliers de production. En effet, aucune analyse de composition n'a jamais été entreprise sur les terres cuites architecturales de cette abbaye prestigieuse et on ne connaît rien des ateliers les ayant produits.

Les premières analyses, chimiques et pétrographiques, ont porté sur un échantillonnage de carreaux bicolores, datés d'après l'iconographie et la technique utilisée, entre le XIII^e et le XV^e siècle. Tous les carreaux ont d'abord fait l'objet d'observations visuelles à l'aide de stéréomicroscope et microscope numérique sur cassure fraîche, mettant en évidence l'existence de trois groupes de pâtes céramiques. Ces premières observations ont été confortées par l'étude pétrographique qui a confirmé les trois groupes de pâtes, avec un cortège minéralogique toutefois banal mais compatible avec l'environnement géologique de Cluny. Les analyses chimiques par fluorescence X en dispersion de longueur d'onde ont montré, quant à elles, l'existence de deux groupes nettement distincts, l'un correspondant aux pâtes dites marbrées, l'autre aux pâtes sableuses orangées et intermédiaires.

L'analyse croisée des données chimiques et iconographiques met en évidence une évolution dans le choix des matériaux utilisés pour la fabrication des carreaux. Les carreaux appartenant au groupe chimique des pâtes sableuses ou intermédiaires présentent des motifs caractéristiques du XIII^e siècle. Ces motifs correspondent à des sous-catégories bien définies dans le répertoire des carreaux bicolores de cette époque. En revanche, les carreaux du groupe chimique des pâtes marbrées arborent des motifs associés à d'autres sous-catégories de carreaux bicolores, typiques des XIV^e et XV^e siècles. Ces observations suggèrent que le groupe chimique des pâtes marbrées est postérieur à celui des pâtes sableuses. Il semble qu'une transition se soit opérée, avec un remplacement progressif des carreaux à pâte sableuse par ceux

*Intervenant

fabriqués à partir d'une pâte marbrée. Cette évolution dans la composition des carreaux témoigne d'un changement dans les techniques de production et possiblement dans les préférences esthétiques au cours de la période médiévale.

Les recherches se poursuivent par l'extension des analyses chimiques aux autres catégories techniques de décoration ainsi qu'aux matières premières argileuses locales. Un programme de prospections a en effet été entrepris pour étudier les nombreuses ressources en argiles disponibles aux alentours de Cluny. Cette démarche vise à mieux comprendre les évolutions techniques qui ont marqué la fabrication des carreaux au fil du temps.

Mots-Clés : terre cuite architecturale, médiéval, abbaye de Cluny, analyses par fluorescence X, pétrographie

Earthen constructions studies from the Early Bronze Age settlement « Himiliyata » (Nova Zagora, Bulgaria)

Bozhidar Todorov * ¹

¹ Université Paul-Valéry - Montpellier 3 – UPV Montpellier 3 – France –
bozhidar.todorov@etu.univ-montp3.fr

Constructions made of earthen building materials, and more precisely their degradation over time, are playing a very important role in the processes of formation of a Bronze Age mound. In Bulgaria, there are some published researches concerning the use of earthen building materials, but there is a lack of more in-depth studies on their composition, structure, differences, etc. In fact, the geoarchaeological studies in particular soil micromorphology are not developed in this context. The current study works in this direction. The geographical area in which the studied archaeological site is located is Upper Thrace valley. The research focuses on various structures such as dwellings, floors, walls, ovens and hearths from tell settlement « Himitliyata » and more precisely its Early Bronze Age level. All of the samples were subjected to analyses at different scales from macroscopic to microscopic, with the help of soil micromorphology. The main goal of this study is to analyze the earth building materials that were used during the Early Bronze Age in Bulgaria and characterize the « chaîne opératoire » (nature of raw material, mixture, implementation, etc.). Another aim of this research is to establish the various raw materials that have been used by man in the production process, as well as revealing the anthropogenic element in it. Identified were some materials such as sand, straw, pottery fragments, etc., which can be added to the raw aggregates assuming a purpose to improve the mechanical strength of the earth building material.

As a result of the research, some materials such as sand, straw, ceramic fragments, etc. were identified, which can be added to the raw aggregates in order to improve the mechanical strength of the finished building material. Another result of this study shows that the overall microstructure of some samples is less massive than that of others. Part of the compact structure may be due to anthropogenic activities, including pressure as a type of shaping during the production process. The observed quartz grains of different sizes are characteristic of all the samples studied. The conclusions reached are that these are building materials, the raw material of which comes from mixtures of different horizons of local soil types, vegetation, etc. The human element in the production process is established through the use of different in composition and quantity impurities of clay, plant parts, ash, etc. It can be said that all the studied samples of earth building materials have largely similar indicators at the macro and micro level, but also those that distinguish them from each other. As example can be given the presence of phytolith, which is found in just one of the samples. At the end, it can be said that the local natural conditions and their elements were consistently used by the ancient people who lived in this place during the Early Bronze Age. They created their settlements and their accompanying structures with the intention of using these conditions and primary raw materials in the most complete and correct way.

Mots-Clés : construction techniques and materials, micromorphology, Bronze Age, tell settlement « Himitliyata », Bulgaria

*Intervenant

Trier le minerai au Moyen Âge central ? Étude géochimique d'un ensemble d'ateliers

Celine Tomczyk * ^{1,2}, Nicolas Minvielle Larousse , Lucille Brevet

¹ IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération – CNRS – France –
celine.tomczyk@gmail.com

² ArScAn – CNRS, Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, Ministère de la Culture et de la
Communication, Université Paris Nanterre, Nanterre – France

Les mines de la vallée du Minier (Viala du Tarn, Aveyron) ont été exploitées pour le plomb-argent entre les XII^e et XV^e siècles. Des fouilles récentes ont permis de mettre à jour un ensemble exceptionnel de 5 bâtiments contemporains liés au concassage et au tri des minerais au sortir d'un puits de mine. L'étude de cet ensemble offre des perspectives inédites tant la découverte de ce type de site est rare. Cependant, cette étude est complexe car aucun mobilier n'ayant été découvert, seuls les sols en terre battue témoignent de la fonction des différents bâtiments.

Quel maillage opérer pour étudier des sols aux compositions hétérogènes ? Comment caractériser le fond pédo-géochimique naturel ? Comment appréhender les différences de mobilité de certains éléments chimiques tels que le plomb et le zinc ? Toutes ces questions ont accompagné l'analyse géochimique des sols en fluorescence X portable.

Au terme de cette étude, nous pouvons affirmer que chaque bâtiment était probablement dédié à une étape distincte du tri des minerais. Chaque minéral présent dans les minéralisations était ainsi progressivement séparé des galènes argentifères comme le témoignent les teneurs en cuivre, zinc, plomb, ou encore en baryum des sols.

Mots-Clés : Minéralurgie, sols, plomb, zinc, géochimie

*Intervenant

Session 2.2. Transformer

Communications orales

Traditions techniques et séquence stylistique dans l'art rupestre levantin : une étude comparée entre le geste et la forme à travers la caractérisation des pigments de l'abri de Cova Remigia (Ares del Maestrat, Castellón, Espagne)

Esther Lopez Montalvo * ¹, Guilhem Maura ²

¹ Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – CNRS, Université Toulouse - Jean Jaurès – France

² Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – CNRS, Université de Toulouse Jean Jaurès – France

La séquence de l'art rupestre levantin a été principalement étudiée à travers une analyse typologique et formelle de la figure humaine, qui présente une variabilité plus importante que la figure animale. Cette variabilité semble résulter de facteurs à la fois chronologiques et régionaux. La séquence ainsi définie révèle une forte complexité, avec des variantes formelles significatives identifiées dans chaque horizon stylistique. En l'absence de datations absolues, il reste difficile d'établir des filiations claires entre ces horizons ou de préciser leurs relations temporelles et spatiales.

Cette analyse préliminaire s'appuie exclusivement sur des critères liés au design des figures, réduisant ainsi la notion de style à des variables purement formelles. En revanche, la dimension technique - qui englobe l'ensemble des gestes, depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à leur transformation et application - a été largement négligée jusqu'à présent, et ce malgré son potentiel pour établir des liens entre culture matérielle et sociétés auteures. Cette dissociation artificielle entre forme et technique soulève de nombreuses questions sur la caractérisation des traditions techniques de l'art rupestre levantin, leur dynamique temporelle et spatiale, ainsi que sur leur interaction avec la complexe mosaïque culturelle qui émerge à la suite de l'expansion du Néolithique dans le bassin méditerranéen ibérique à partir du VI^{ème} millénaire avant notre ère.

Dans ce cadre, notre objectif est de proposer une approche intégrée pour l'étude des peintures levantes, en analysant l'ensemble des étapes des chaînes opératoires impliquées dans la réalisation des figurations. À cette fin, des techniques de caractérisation élémentaire et minéralogique (PIXE, spectroscopie Raman, MEB-EDS) sont mises en œuvre afin d'identifier la composition des couches picturales et leur signature chimique, permettant ainsi d'explorer la provenance des matières premières colorantes. En parallèle, des analyses morphologiques des phases chromogènes sont menées pour questionner les processus de préparation des pigments ainsi que leurs modalités d'application.

Le traitement statistique des données issues de ces différentes étapes d'analyse permet de réexaminer les bases de la séquence stylistique levantine. Nous nous interrogeons notamment sur la possible corrélation entre les formes des figures et les chaînes opératoires, ainsi que sur leur évolution au fil du temps. Cette perspective offre la possibilité d'identifier des traditions techniques distinctes au sein de la séquence levantine et de mieux comprendre les mécanismes de transmission des savoir-faire.

*Intervenant

Pour aborder ces questions, l'abri de Cova Remigia (Ares del Maestrat, Castellón, Espagne) constitue un cas d'étude idéal. La richesse de ses représentations, combinée à la diversité formelle et thématique de ses figures, fournit un ensemble de données particulièrement pertinent pour répondre aux objectifs de notre recherche.

Mots-Clés : Art pariétal, Holocène, pigments, matières colorantes, chaîne opératoire, style

Evolution de l'efficacité de la production du fer dans la Falémé, Sénégal (IV^e s. av. J.-C. -VII^e s. apr. J.-C.)

Mélissa Morel * ¹, Pierre Lamotte , Vincent Serneels ², Anne Mayor ³

¹ Laboratoire Archéologie et Peuplement de l'Afrique – Suisse

² Département de Géosciences, Université de Fribourg – Suisse

³ Laboratoire Archéologie et Peuplement de l'Afrique – Suisse

Les fouilles des sites archéométallurgiques de Didé Ouest 1 et de Birandjikou, situés dans la vallée de la Falémé au nord-est du Sénégal, ont mis au jour la plus ancienne technique de réduction du fer connue au Sénégal (Walmsley et al., 2020 ; Mayor et al., 2022 ; Mayor et al., 2023). Datée par radiocarbone entre le IV^e siècle av. J.-C. et le VII^e siècle apr. J.-C., cette technique s'étend sur une période remarquablement longue. Elle se distingue par l'utilisation de gros blocs de scories internes sans évacuation externe, des tuyères massives avec des ouvertures perpendiculaires supplémentaires, des noix de palmier utilisées comme combustible, et des scories à teneur exceptionnellement élevée en manganèse. De petites concrétions latéritiques semblent avoir été employées comme minerai.

Quatre périodes chronologiques distinctes ont été identifiées, chacune marquée par de légères variations dans l'organisation spatiale des amas de scories, la morphologie des scories et des tuyères et la composition chimique des scories. Compte tenu de la durée d'utilisation de cette technique, ces légères variations ne sont pas surprenantes. Cependant, l'impact de ces différences sur l'efficacité de la méthode mérite d'être exploré. L'efficacité d'une technique métallurgique peut se mesurer à travers des critères techniques, économiques et sociaux (Morel et al., in press), permettant ainsi d'intégrer la tradition technique dans un contexte plus large, en lien avec la population et ses enjeux socio-économiques. En raison du manque de données socio-économiques concernant cette tradition métallurgique, cette étude se concentre sur l'efficacité technique, évaluée à travers des critères tels que le rendement, l'optimisation et la standardisation. Des analyses de composition élémentaire des scories et des échantillons de minerai (LOI et XRF), ainsi qu'une étude minéralogique des scories (XRD et microscope métallographique), ont été menées. Ces analyses ont non seulement permis d'identifier le minerai utilisé et d'estimer la production métallique grâce à des calculs de balance de masses, mais aussi d'examiner l'évolution de l'efficacité technique au fil du temps.

Mots-Clés : Métallurgie, Fer, Efficacité, Sénégal

*Intervenant

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

Sibylle Manya * ^{1,2}, Benoît Mille ^{1,3}, Figueroa Larre Valentina ⁴, Thierry Bataille ², Jean-Baptiste D'espinoze De Lacaille ⁵, Laurent Le Pollès ²

¹ Centre de recherche et de restauration des musées de France – Ministère de la Culture et de la Communication – France

² Institut des Sciences Chimiques de Rennes – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

³ Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

⁴ Instituto de Arqueología y Antropología, Universidad Católica del Norte, San Pedro de Atacama, Chile – Chili

⁵ Sciences et Ingénierie de la Matière Molle (UMR CNRS 7615), École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris, France – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

Les sociétés anciennes de l'Atacama (Chili) ont bénéficié d'abondantes ressources minérales, notamment le cuivre, ce qui a permis le développement autonome d'une métallurgie andine à petite échelle bien avant l'arrivée des Incas. Les zones minières correspondantes sont souvent isolées, situées en haute altitude, avec un climat aride. La colonisation inca de ces régions (XIV^e s. ap. J.-C.), va de pair avec une augmentation significative de la production de cuivre. Comment s'est opéré le changement d'échelle de cette production ?

En 2015, une cinquantaine de fours de réduction ont été découverts sur les collines entourant le camp de Collahuasi-37, constituant le site de production de cuivre préhispanique le plus important connu pour le nord du Chili. Certains fours ont été fouillés et ont permis de recueillir des marqueurs de ces opérations métallurgiques. Le minerai de cuivre exploité à Collahuasi est composé d'un mélange de chrysocolle, de brochantite et de malachite. Il a été traité dans des fours en forme de banquette, qui étaient ventilés grâce aux vents très puissants soufflant dans la région. Ces fours atteignaient des températures supérieures à 1200°C ; la forme ouverte des foyers indique que les fours opéraient en atmosphère relativement oxydante. Les scories résultantes, riches en silicium, présentent diverses phases minéralogiques, notamment des phases jaunes-vertes-orangées, qui suscitent des interrogations. À la fois riches en cuivre et en silicium, ces scories pourraient être liées à la présence abondante de chrysocolle parmi les minerais utilisés.

Cette communication se concentre sur la caractérisation approfondie de la chrysocolle, un silicate de cuivre à la structure atomique controversée car très peu cristallisé. À température ambiante, plusieurs techniques analytiques (PIXE, MEB-EDS et RMN du solide) ont permis de surmonter les défis liés à sa composition chimique variable et à sa structure cristalline désordonnée. La décomposition thermique de la chrysocolle a été étudiée en chauffant plusieurs échantillons à haute température, puis en les caractérisant par microscopie optique, DRX, spectroscopie IR et MEB-EDS. Une étude de DRX in-situ à haute température a également été réalisée sur un échantillon de chrysocolle.

Par ailleurs, les résultats obtenus documentent la transformation de la chrysocolle observée dans les scories préhispaniques. Les analyses des scories provenant du site d'Ujina 10, comprenant trois fours

*Intervenant

datés du Xe au XIV^e siècle ap. J.-C. mettent en évidence un traitement pyrométallurgique particulier : la composition chimique de la scorie ne semble pas avoir été optimisée étant donné le très net excédent de silice. Malgré un système chimique très simple, avec seulement deux éléments majoritaires (cuivre et silicium), la composition structurale de la scorie est complexe, ce qui explique que l'extraction du cuivre était si difficile.

Malgré le recours à ce procédé peu efficace, il n'y a aucun signe de modification majeure du procédé à la période inca. Pour expliquer le passage à la production à grande échelle, nous posons donc l'hypothèse d'une intensification du mode d'exploitation préexistant, plutôt que d'une recherche d'innovations dans le domaine des techniques métallurgiques.

Mots-Clés : chrysocolle, caractérisation, analyse thermique, métallurgie du cuivre préhispanique

L'archéométrie au sein du projet ANR Celtic Brass Coins : enjeux, méthodologie et premiers résultats

Camille Bossavit * ¹, Maryse Blet-Lemarquand ¹, Sylvia Nieto-Pelletier ¹,
Guillaume Blanchet ², Pierre-Marie Guihard ², Pierre Mazille ³, Laïla
Ayache ³, Vincent Drost ⁴, Roland Schwab ⁵

¹ IRAMAT (UMR 7065) – CNRS - Université d'Orléans – France – camille.bossavit@cnrs-orleans.fr,
maryse.lemarquand@cnrs-orleans.fr, sylvia.nieto@cnrs-orleans.fr

² CRAHAM (UMR 6273) – CNRS - Université de Caen Normandie – France

³ Bibracte EPCC – Centre archéologique européen – France

⁴ Bibliothèque nationale de France – Paris – France

⁵ Leibniz-Zentrum für Archäologie – Allemagne

Le projet ANR *Celtic Brass Coins, alliages monétaires en laiton dans la culture laténienne : nouvelles perspectives sur les pratiques monétaires des sociétés celtiques* (2023-2027 ; ANR-22-CE27-0013), cherche à mieux comprendre l'introduction du laiton dans le monnayage celtique par une approche interdisciplinaire associant numismatique, archéométrie, archéologie et les humanités numériques. Les recherches archéométriques, en cours, sont déclinées en plusieurs volets complémentaires.

La première étape consiste à identifier les séries monétaires en laiton, selon un protocole strictement non destructif. Une vaste campagne d'analyses a été réalisée par pXRF sur près de 2500 monnaies celtiques en alliages cuivreux des collections de la BnF (département des Monnaies, Médailles et antiques, Bibliothèque nationale de France), ainsi que sur une sélection d'environ 500 monnaies de collections publiques du nord de la France. Le corpus sera prochainement complété avec la collection du MAN (musée d'Archéologie nationale). En outre, des analyses complémentaires ont été effectuées sur une sélection de plus de 1400 objets non monétaires et une cinquantaine de monnaies issues de contextes archéologiques datés de l'*oppidum* de Bibracte (Bourgogne). La surface d'une trentaine de ces objets non monétaires a été décapée de façon à mettre en évidence les effets de la corrosion sur la composition élémentaire des laitons. Par ailleurs, 55 monnaies celtiques en laiton de la BnF avaient déjà été analysées à l'IRAMAT-CEB par une méthode globale de référence, l'ANRC (activation aux neutrons rapides de cyclotron), au cours de précédentes recherches. La comparaison des résultats des deux méthodes, pXRF et ANRC, et des deux protocoles, surface non préparée et surface décapée, offre la possibilité de discuter de la pertinence des compositions obtenues par pXRF sur la surface « brute » des objets en laiton et notamment de définir s'il existe un seuil minimal de teneur en zinc mesurée par pXRF permettant d'identifier un laiton.

Les travaux par ANRC s'étaient également intéressés aux concentrations en éléments mineurs et traces des laitons monnayés et avaient permis de distinguer l'emploi de deux stocks métalliques selon le type monétaire (Nieto-Pelletier, 2017). La deuxième partie archéométrique du projet *Celtic Brass Coins* vise à poursuivre l'enquête en développant la méthode LA-ICP-MS aux monnaies en laiton. Cette phase comprend des tests sur des exemplaires de séries du nord-est et du centre-ouest de la Gaule. Il est également prévu d'analyser par LA-ICP-MS certaines monnaies en laiton de la BnF déjà caractérisées par ANRC. L'objectif est de comparer plusieurs méthodes (LA-ICP-MS, ANRC, pXRF, XRF) et plusieurs protocoles (surface non préparée, surface décapée, coupe, copeaux forés dans la tranche) afin d'évaluer la fiabilité de la méthode LA-ICP-MS. Si les résultats sont jugés satisfaisants, le corpus des analyses LA-ICP-MS sera étendu pour caractériser le métal monnayé selon les régions émettrices et la chronologie des séries

*Intervenant

monétaires.

S. Nieto-Pelletier, « L'orichalque monnayé gaulois : de la guerre des Gaules à la réforme monétaire augustéenne, genèse de nouvelles pratiques », L. Bricault *et al.* (éd.), *Rome et les Provinces. Monnayage et Histoire. Mélanges offerts à Michel Amandry*, Bordeaux, 2017, 89-103.

Mots-Clés : archéométrie, laiton, monnaies, pXRF, ANRC, LA, ICP, MS, celtique

Eċg wæs iren, átertánunm fáh : Le damas d'assemblage en Alsace et l'Europe Centrale

Tobias Heal ^{*} 1,2,3, Alexandre Disser ^{2,3}, Jiří Hošek ⁴

¹ Centre Européen d'Archéométrie, Université de Liège – Belgique – tobias.heal@uliege.be

² LAPA - IRAMAT UMR 7065 – Auncune – France

³ NIMBE UMR 3685 - LAPA – Auncune – France

⁴ Institute of Archaeology of the Czech Academy of Sciences – République tchèque

Eċg wæs iren, átertánunm fáh « le tranchant était en fer, versicoloré aux bâtons empoisonnés ». Telle est décrite l'épée *Hrunting* dans le poème épique de Beowulf. L'histoire fortement symbolique de cette arme, de même que le langage hautement poétique employé dans sa description, soulignent l'importance sociale et culturelle de l'épée dans les sociétés du haut Moyen Âge. Même aujourd'hui, les épées damassées capturent l'imagination comme peu d'autres objets archéologiques. Néanmoins, malgré cette fascination, la compréhension populaire, et même, jusqu'à un certain point, académique, des armes damassées reste limitée.

Il existe une confusion considérable entre le damas d'assemblage, tel qu'il est implémenté dans l'armement du haut Moyen Âge européen et le « vrai damas », proprement appelé « wootz », développé en Inde et en Asie centrale. Les deux présentent une certaine similarité esthétique mais les propriétés physiques des deux méthodes sont considérablement différentes. Cette confusion est peut-être à l'origine de l'attribution de propriétés mécaniques presque mythiques au damas d'assemblage dans l'imaginaire collectif. Décrit comme étant très dur et/ou très flexible et ayant une capacité inégalée pour garder son tranchant, certaines anciennes publications vont même à le qualifier comme étant « presque magique » (1). Les études archéométallurgiques modernes en sont moins convaincues, l'implémentation du damas d'assemblage avait certainement un effet sur les propriétés mécaniques des lames, mais il n'y a aucune évidence pour les affirmations des propriétés particulièrement spectaculaires qui y sont attribuées (2). En effet, au cours des deux dernières décennies, l'étude de ces armes a mené de nombreux chercheurs à la conclusion que le damas d'assemblage était avant tout une technique esthétique (3).

Pourtant, ces conclusions sont basées sur une sélection particulière d'épées damassées. Les premières études modernes sur celles-ci ont été réalisées en Europe occidentale(4) mais relativement peu parmi celles-ci ont été publiées. La vaste majorité des études subséquentes, sur lesquelles ont été basées ces conclusions, sont concentrées sur des épées retrouvées dans les îles Britanniques et en Europe centrale. Ces deux régions ont des traditions du damas d'assemblage très différentes de l'Europe continentale et occidentale. Dans les deux cas, des lames damassées sont retrouvées jusqu'au X^e voire même le XI^e siècle. Par contraste, l'Europe occidentale a vu la technique abandonnée dès le VIII^e siècle. Cela mène à une question évidente : est-il possible que l'implémentation du damassage à l'ouest du Rhin s'approchait mieux de sa conception populaire ?

Il n'est pas possible de répondre immédiatement à cette question mais un bon premier pas serait de réaliser une comparaison entre l'implémentation des méthodes de damassage dans les armes de ces deux régions. C'est ce qui a été réalisé dans le cadre de la thèse d'Acies Ferri. Sept épées damassées ont été étudiées, métallurgiquement et chimiquement, en provenance de 4 nécropoles mérovingiennes en Alsace. En parallèle à celles-ci, six épées venant du sud de l'Allemagne, la Tchéquie et la Slovaquie ont également été étudiées. Cette présentation porte sur la comparaison de ces résultats.

*Intervenant

(1) France-Lanord 1949, Rotili 1977

(2) Birch 2013

(3) Gilmour 2017

(4) Salin et France-Lanord 1946

Mots-Clés : archéométabllurgie, épées, damas d'assemblage, haut moyen, âge, Alsace, Allemagne, Tchéquie, Slovaquie

Notre-Dame de Paris, une cathédrale de seconde main ? Etude du recyclage et de la mise en forme des agrafes des murs gouttereaux

Mathilde Bernard ^{*} ¹, Maxime L'héritier ², Lucile Beck ³, Aurélia Azéma ⁴, Emmanuelle Delqué-Kolic ³, Philippe Dillmann ¹

¹ Laboratoire d'Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (LAPA-IRAMAT, NIMBE, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay,) – CEA CNRS – CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette France, France – mathildebernard.phd@gmail.com

² Archéologies et Sciences de l'Antiquité – CNRS : UMR7041, Université Paris 8-St-Denis – France

³ Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LMC14) – LSCE-IPSL (CNRS-CEA-UVSQ), Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France – France

⁴ Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH) – CRC UAR 3224, Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) – France

La question de la réutilisation, du emploi et du recyclage des matériaux constitue un axe de recherche majeur dans le domaine de l'archéologie du bâti. La part des matériaux de seconde main reste toutefois difficile à détecter et évaluer précisément, même sur de grand chantier comme celui de Notre-Dame de Paris. Les sources écrites, notamment les délibérations capitulaires et les comptes de chantier, sont lacunaires pour la cathédrale gothique avant le XIV^e siècle et ne fournissent pas d'informations quant à ces procédés. L'étude archéométrique des matériaux ferreux de cet édifice paraît alors indispensable afin d'identifier ces pratiques.

Cette communication se concentrera sur l'étude des agrafes des murs gouttereaux, chaînage de fer se situant au niveau de l'arase supérieure des murs sous les sablières qui supportent la charpente. Ce corpus de 436 agrafes représente à lui seul la masse d'une tonne de métal au sein de la cathédrale. Cinquante-cinq agrafes ont fait l'objet d'une étude archéométrique afin d'analyser la forme et la structure de la matière dans le but de détecter des indices de emploi ou recyclage.

De simples observations métallographiques révèlent la présence quasi-systématique de lignes de soudure dans les agrafes étudiées. Dans quatre cas sur cinq, elles sont présentes sur toute la longueur de l'objet, témoignant de l'assemblage de plusieurs lopins de fer entre eux. La morphologie de ces lignes de soudure ainsi que les différents types d'assemblage ont pu être caractérisés. Par ailleurs, des taux de carbone très variables sont observés selon les zones des objets étudiés. Les analyses par MEB-EDS confirment une variation de composition chimique des inclusions de scorie de part et d'autre de ces soudures, notamment pour les éléments majeurs comme le phosphore. L'analyse des éléments traces des inclusions, réalisée par LA-ICP-MS, corrobore ces variations de composition : deux provenances distinctes par agrafe sont généralement identifiées. Ces études sont complétées par l'utilisation de la tomographie à rayons X qui permet d'observer la forme des inclusions qui composent les agrafes et leur répartition au sein des objets.

Ces analyses permettent de reconstituer les assemblages de matière réalisés par les forgerons de l'époque et d'en déduire ceux qui témoignent à coup sûr d'un recyclage. Ce procédé s'intègre ainsi pleinement au cycle de transformation des matériaux utilisés pour la construction monumentale, laissant parfois des traces révélatrices des gestes techniques employés. Il est habituellement difficile d'estimer la part de ces

*Intervenant

pratiques dans les monuments. Cependant, nous disposons à Notre-Dame de Paris d'un corpus exceptionnel de fers qui permet de l'envisager. Ce faisant, cette étude permet de recontextualiser l'influence des conditions économiques, techniques et sociétales sur ces procédés pour un tel chantier de construction.

Références :

Bernardi et al, 2018, Dossier thématique. Recyclage et emploi : la seconde vie des matériaux de construction

Dillmann et al, 2008, Récupération et emploi du fer pour la construction des monuments de la période gothique

L'Héritier et al, 2020, Récupérer et recycler les matériaux ferreux au Moyen Âge et au début de la période moderne : des textes à la matière

Mots-Clés : Notre Dame de Paris, fer, mise en forme, recyclage

L'exploitation et l'utilisation des métaux du site Cartier-Roberval (CeEu-4) (XVI^e siècle)

Nicolas Lessard * ¹, Aude Mongiatti ², Adelphine Bonneau ¹

¹ Université de Sherbrooke – Canada – nicolas.lessard5@usherbrooke.ca,
adelphine.bonneau@usherbrooke.ca

² The British Museum – Royaume-Uni – amongiatti@britishmuseum.org

Le site Cartier-Roberval (CeEu-4) situé à Cap-Rouge, dans la ville de Québec, au Canada, est considéré comme l'emplacement de la première tentative coloniale française en Amérique du Nord. Dirigée par Jacques Cartier et le Sieur de Roberval, elle a eu lieu entre 1541 et 1543. De nombreux artefacts, témoins importants de la vie des colons sur le site, ont été trouvés lors de fouilles menées entre 2005 et 2010 (Chrétien, 2006, Samson et Fiset, 2013).

Un nombre significatif de ces artefacts est directement ou indirectement lié aux activités métallurgiques pratiquées par les colons. Il s'agit entre autres de scories, de résidus de plomb, de céramiques techniques, notamment des creusets et des scorificatoires, de micro-restes (battitures, petits éléments métalliques...) et d'objets en métal finis. Bien que des recherches typologiques et physico-chimiques aient été entreprises par le passé sur certains de ces objets (Martinón-Torres, 2010, Monette, 2011), les connaissances sont encore grandement lacunaires, en particulier concernant les types de métaux extraits et transformés ainsi que les activités métallurgiques ayant eu lieu. La question de la recherche des métaux précieux (or, argent) tient une place centrale dans le débat archéologique local.

La présentation a pour but de détailler les analyses effectuées sur ces objets (détaillées ci-dessous). Elles permettent de répondre à différents questionnements concernant la production métallurgique sur le site et, par extension, le quotidien des colons qui l'occupèrent. Elles touchent principalement aux techniques métallurgiques et à leur adaptation à la situation coloniale du site.

Les objets étudiés se divisent en trois catégories. La première catégorie est composée de résidus métallurgiques, comme des scories, des résidus de plombs, des battitures ainsi qu'un ensemble de micro-restes. La seconde catégorie concerne les objets finis, soit tous les objets métalliques ayant une forme finale (comme un clou, une plaque...) ou semi-finale, ayant pu être fabriqués sur place. La troisième catégorie comprend les céramiques techniques et d'autres éléments nécessaires à la métallurgie, témoignant des installations employées pour le travail du métal.

Les résidus, micro-restes et céramiques techniques sont préparés en sections polies et sont analysés par microscopie optique, fluorescence de rayons-X et microscopie électronique à balayage couplée à un spectromètre de rayons-X en dispersion d'énergie (EDS) pour en connaître la composition élémentaire et déterminer les métaux extraits et travaillés. Les objets finis sont principalement soumis à des analyses non-destructives, comme la radiographie et l'XRF pour en connaître la composition élémentaire et les méthodes de fabrication. Les résultats sont ensuite comparés aux sources historiques.

L'ensemble permet d'effectuer une analyse des pratiques métallurgiques sur le site. Il se réfère à la fois à l'exploitation et à la production de métaux du quotidien nécessaires à la subsistance des colons, ainsi qu'à une métallurgie exploratoire propre à la colonisation de l'époque. Cette étude a donc le potentiel de proposer une vue d'ensemble du travail du métal pratiqué sur le site entre 1541 et 1543.

*Intervenant

Chrétien, « Inventaire archéologique au Parc Cartier-Roberval à Cap-Rouge (CeEu-4), automne 2005 », Rapport d'inventaire, Québec, 2006, 84 p.

Martinón-Torres, *The metallurgical assemblage from Cartier-Roberval (CeEu-4, Québec, Canada) : preliminary analytical report*, University College London, 2010, 49 p.

Monette, *Rapport de recherche sur les poteries et artefacts de plomb du site Cartier-Roberval*, Musée canadiens des civilisations, 2011, 60 p.

Samson, et Fiset, « Chantier archéologique Cartier- Roberval : Promontoire du cap Rouge (CeEu-4), Québec, Canada », Rapport de fouille, 2013, 464 p.

Mots-Clés : Métallurgie, Archéométabllurgie, Culture matérielle, Métallurgie coloniale, Analyses physicochimiques, Colonisation du 16e siècle

Session 2.2. Transformer

Posters

Les scories de réduction directe en Puisaye (Yonne) : évolution et changements techniques de l'âge du Fer au Moyen Âge

Marion Berranger * ¹, Marc Leroy , Paul Merluzzo

¹ IRAMAT - Laboratoire Métallurgies et Cultures – Institut de Recherche sur les Archéomatériaux, Institut de Recherche sur les Archéomatériaux : UMR7065 – France

Les recherches archéologiques menées dans le cadre d'un PCR et du projet TerriFer, soutenus par la DRAC et la région Bourgogne-Franche-Comté, font apparaître la Puisaye, région naturelle de bas plateaux s'étendant entre les vallées de la Loire et de l'Yonne, comme une importante zone de production de fer brut active depuis l'âge du Fer jusqu'à la fin du Moyen Âge (Berranger *et al.* 2023). Sur un espace de près de 2000 km², plus de 2500 amas de scories issues du procédé direct de réduction du minerai sont à ce jour recensés (Piétak *et al.* 2012). L'étude de 110 d'entre eux (prospections de surface, sondages, coupes stratigraphiques, échantillonnages des déchets) et la réalisation de 67 datations par ¹⁴C ont permis de corréliser la typologie des sites avec les différentes périodes d'activité et de caractériser ces phases chronologiques par des types morphologiques de scories spécifiques, dont certaines présentent aussi des compositions chimiques et minéralogiques particulières. Ainsi, l'âge du Fer, la période antique, le premier et le second Moyen Âge peuvent être définis chacun par un type ou par un assemblage de types de scories, illustrant des changements et des évolutions dans les techniques de production, en particulier dans les types de fourneaux utilisés et dans la conduite de l'opération métallurgique. Au cours de la période antique, qui se distingue par la présence d'amas de fort volume couvrant plusieurs hectares, accumulés sur plusieurs mètres de hauteur, la production de scories à texture vitreuse avec des teneurs en fer peu élevées témoigne de transformations profondes dans la maîtrise des processus opératoires et/ou d'une adaptation efficiente à la matière première utilisée. Ces particularités qui semblent caractériser la production des II^e - IV^e s. ne se retrouvent pas à la période suivante. Ainsi, la Puisaye se révèle être un terrain d'étude idéal pour comprendre et restituer les évolutions et les changements techniques qui structurent la longue période d'utilisation du procédé direct dans nos régions d'Europe occidentale, procédé qui apparaît beaucoup moins uniforme et stable qu'on ne l'imagine.

Mots-Clés : sidérurgie, typologie, chimie, pétrographie

*Intervenant

Analyses de productions de figurines en terre cuite antiques par p-XRF/LIBS : une complémentarité des techniques pour discriminer les ateliers ?

Anne Bocquet-Liénard * ¹, Fabien Pilon ², Juliette Dupré ³, Loïc Androuin ⁴, Florie Salvaya

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

² Archéologies et Sciences de l'Antiquité – CNRS – France

³ Centre Michel de Boïard - Centre de recherches archéologiques et historiques anciennes et médiévales – CNRS : UMR6273, Université de Caen – France

⁴ École Pratique des Hautes Études – Anhimia, CNRS UMR 8210 – France

La ville d'*Augustodunum*, l'actuel Autun (Saône-et-Loire, 71) est, à la fin du II^e - première moitié du III^e siècle apr. J.-C. un centre important de fabrication de figurines en série par moulage. Quatre ateliers ont été fouillés et ont livré un abondant matériel de valves de moules et de déchets de production. Deux d'entre eux appartiennent à un même artisan, Pistillus. Ce dernier est connu par les nombreuses signatures apposées sur les moules, mais également sur les figurines, notamment des déesses-mères, des Vénus, des bustes ou des *cucullatus*. Une thèse de doctorat est en cours sur les modalités des productions de coroplastie à Autun et plus particulièrement celles de Pistillus (L. Androuin). Pour compléter les recherches iconographiques, typologiques et archéologiques de ces objets, et afin d'étudier les possibilités de discrimination des ateliers entre eux, un programme d'analyses physico-chimiques est mis en œuvre à partir de la sélection d'échantillons issus de trois ateliers : celui de la rue des Pierres (fouille 1987) et deux du secteur artisanal de la Genetoye (fouille 2014 et 2019/2020). Cet échantillonnage, comprenant un même nombre de fragments, a été analysé en utilisant deux techniques non invasives, la fluorescence-X portable (p-XRF) et la spectrométrie sur plasma induit par laser également portative (LIBS SciAps Z-903). Ces résultats ont ensuite été comparés avec ceux obtenus par spectrométrie optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) après un prélèvement sur les mêmes échantillons. L'objectif de ce projet est d'explorer en plus des possibles discriminations des différents ateliers d'Autun, le potentiel de ces techniques non destructives et leur utilisation dans les études des origines de fabrication de terre cuite à texture fine.

Mots-Clés : terre cuite, ateliers, p, XRF, LIBS, discriminer

*Intervenant

Du bleu à Mauves

Etienne Clouin * ^{1,2,3}, Simon Puaud ³, Morgan Grall ², Guiavarc'h
Mikaël ³

¹ Université de Rennes 2 (UR2) – Université de Rennes – France – e.clouin@gmail.com

² Eveha Rennes (Eveha) – Éveha, Études et valorisations archéologiques – France

³ UMR 6566 - CReAAH, Archéosciences – CNRS, Université de Rennes – France –
simon.puaud@univ-rennes.fr

Les récentes fouilles menées sur l'agglomération secondaire antique de Mauves-sur-Loire (Loire-Atlantique) ont permis de mettre au jour de nombreux indices d'occupations anciennes. L'une d'entre elles a offert aux archéologues une boulette de bleu d'Égypte, ou bleu égyptien, dans un contexte périurbain associé à des traces d'artisanat verrier. Ce type de matériau est régulièrement découvert en France et dans une large partie de l'Europe de l'ouest, au sein de contextes d'agglomérations ou d'occupations élitaires depuis la Tène finale jusqu'à la fin de l'Antiquité. Largement décrit comme une matière première utilisée dans le cadre de travaux picturaux, les principaux espaces de production et de distribution de ce pigment sont localisés, pour l'Antiquité, en Italie, dans le monde Égéen et en Égypte (Cavassa, 2018). Néanmoins, la multiplication de découvertes de bleu égyptien à proximité d'indices de transformation de verre, et plus largement d'activités liées aux arts du feu, pose question (Blet-Lemarquand et al., 1997 ; Beaudouin, 2021). S'agit-il d'une production locale, profitant des hautes températures des fours de verriers, de bronziers ou fours à chaux ? En effet, tous trois permettent d'atteindre des températures élevées comprises entre 850 et 950 °C, nécessaires à la synthèse de la cuprorivaite (Onoratini et al., 1987 ; Cavassa, 2018). Ou bien la découverte correspond-elle à un dépôt transitoire dans un contexte de commercialisation ? Après une présentation du contexte de découverte, notre étude envisage de répondre à une partie de ces questions, en proposant une méthodologie d'analyse adaptée à ce type de mobilier :

- Caractérisation minéralogique par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) et diffraction de rayons X (DRX) ;

- Caractérisation élémentaire par spectrométrie de fluorescence des rayons X (P-XRF).

Les analyses préliminaires menées sur l'échantillon de Mauve-sur-Loire ont montré qu'il s'agissait de cuprorivaite. L'objectif est ensuite d'étendre la réflexion à un ensemble d'échantillons de ce matériau issu de fouilles régionales (Bretagne, Pays de la Loire). La considération d'un corpus plus large est destinée à évaluer l'homogénéité de la composition (minérale et élémentaire) de cet archéomatériau. Les éventuelles variations qualitatives mises en évidence sont susceptibles de renseigner sur l'origine du bleu égyptien et d'apporter ainsi de nouveaux éléments à la question de l'économie de ce pigment à la fin de la Tène et durant la période antique.

Bibliographie :

Cavassa Laetitia. « La production du bleu égyptien durant l'époque hellénistique et l'Empire romain (III^e av. J.-C.-I^{er} s. apr. J.-C.) » In : **Jockey** Philippe (dir.) *Les arts de la couleur en Grèce ancienne et ailleurs. Approches interdisciplinaires*. Bulletin de correspondance hellénique-supplément, 2018, 56, p.13-34.

Onoratini Gérard, **Conrad** Georges, **Michaud** Lionel. « Identification de deux silicates de cuivre de

*Intervenant

synthèse, confondus sous l'appellation générique de “bleu égyptien”, et définition des céramiques “bleu antique” retrouvées dans les fresques », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, t. 304, série II, n°12, 1987, p.651-654.

Blet-Lemarquand Maryse, **Guineau** Bernard, **Gratuze** Bernard. « Caractérisation de boules de bleu égyptien : analyse par absorption visible et par activation avec des neutrons rapides de cyclotron », *Revue d'Archéométrie*, n°21, 1997, p.121-130.

Baudoin Céline. Vannes, 5, 7 rue de l'abbé Jacob et 17, 19, 23 rue des 4 frères Crapel, Rapport final d'opération de diagnostic archéologique, INRAP / SRA Bretagne, 2021, 109 p.

Mots-Clés : Bleu d'Égypte, cuprorivaite, IRTF, DRX, PXRF

La métallurgie du fer en Grèce ancienne à travers l'exemple de la cité d'Érétrie.

Méthodes et perspectives

Julien Gravier * ^{1,2}

¹ Ausonius - Institut de recherche sur l'Antiquité et le Moyen âge – université Bordeaux Montaigne, CNRS – France

² Hellénisation et romanisation dans le monde antique – Université de Poitiers – France

Le fer et ses alliages jouaient un rôle essentiel durant l'Antiquité. Les témoins matériels mis au jour, de l'outillage à la construction, en passant par l'armement, en sont une parfaite illustration. Mais qu'en est-il de la fabrication de ces objets, indispensables aux activités du quotidien ? Que dire de l'organisation du travail et des espaces de la production, ou encore des modalités d'approvisionnement et d'économie des matières premières ? La recherche actuelle, menée dans le cadre d'une thèse de doctorat, en collaboration avec l'École suisse d'Archéologie en Grèce, a pour objectif d'explorer ces questionnements et d'apporter un éclairage inédit sur la sidérurgie en Grèce ancienne, à travers l'exemple d'Érétrie.

Située en Eubée, en face de l'Attique, Érétrie est une importante cité disposant d'un riche éventail de ressources qui ont été exploitées dès l'Antiquité. Faisant l'objet d'une activité archéologique intense menée de longue date, la région a également livré un grand nombre de vestiges caractéristiques. Au sein de l'espace urbain, les fouilles récentes ont ainsi mis au jour plusieurs contextes liés à des activités de forge et couvrant une période allant du VIII^e au III^e siècle avant notre ère. Les programmes de prospection successifs, quant à eux, font du territoire érétrien l'un des mieux connus du monde grec.

Entre histoire, archéologie et archéométrie, le projet vise non seulement à appréhender les choix techniques opérés dans le processus de fabrication et de mise en œuvre du fer, mais il cherche également à documenter l'organisation du travail et la gestion des ressources du sous-sol à l'échelle de l'espace érétrien. Dans cette optique, des prospections thématiques sont en cours pour identifier plus précisément les gisements de minerai et sites de réduction du territoire.

Dans un second temps, l'examen métallographique du matériel collecté doit permettre de caractériser les gestes des anciens forgerons : les microstructures des scories nous renseignent sur les ajouts de matière, volontaires ou non, au cours du processus ; celles du fer métallique, qu'il s'agisse de chutes ou d'inclusions dans les scories, donnent à voir la nature de métal employé, les traitements thermiques, ou encore les contraintes mécaniques subies par le matériau.

En parallèle, plusieurs indices au sein des vestiges peuvent permettre de remonter le fil de la chaîne opératoire et livrer de précieuses informations sur l'approvisionnement en matière première. Dès l'examen microscopique, une attention particulière sera portée aux inclusions charbonneuses, en vue de documenter la nature du combustible employé pour alimenter la filière et dater l'activité. En parallèle, l'analyse élémentaire par ICP-MS des scories de réduction permettra de déterminer la signature chimique d'une ou plusieurs zones de production, voire d'un minerai particulier.

À terme, ce travail doit d'abord permettre d'améliorer notre connaissance de la métallurgie du fer érétrienne, de son organisation et de sa place dans le paysage artisanal local, mais également de ses évolutions au cours de la période étudiée. Au-delà du seul cas érétrien, il s'agit en même temps d'une occasion d'apporter un éclairage inédit sur un objet d'étude encore peu exploré dans le champ de l'archéologie grecque.

*Intervenant

Mots-Clés : artisanat, économie des ressources, gestion des matières premières, métallurgie, mines, production, territoire

Des traces aux gestes : étude des techniques artisanales des éléments de parures en bronze du Nord de l'Italie au premier âge du fer.

Veronica Cicolani ¹, Sibylle Manya * ^{1,2}, Benoit Mille ^{2,3}, Jessica Legendre ², Elsa Lambert ²

¹ Archéologie et Philologie d'Orient et d'Occident – UMR 8546 AOROC, Paris – France – veronica.cicolani@ens.psl.eu

² Centre de recherche et de restauration des musées de France – Ministère de la Culture et de la Communication – France – sibylle.manya@culture.gouv.fr

³ Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

L' ANRJJCJC Itineris (<https://itineris.huma-num.fr/>) s'attache à la caractérisation de l'artisanat du petit mobilier en bronze d'Italie du Nord afin de relire et modéliser les interactions culturelles en Europe au cours du premier Âge du Fer. Le projet se fonde sur l'étude de 1200 parures en alliage à base de cuivre issus de six sites d'habitats appartenant à trois zones culturelles différentes, mais en interaction entre elles : la culture Golasecca (nord-est du Piémont), les Ligures (sud du Piémont) et les communautés indigènes vivant dans l'ouest de la plaine du Pô. Le bon état de conservation des objets, localisés dans trois musées différents entre France et Italie, ainsi que la bonne connaissance des sites archéologiques sélectionnés permettent aujourd'hui de réaliser une étude innovante et exhaustive de l'artisanat métallurgique nord-italique, depuis l'échelle micro, en se concentrant sur des surfaces spécifiques et des caractéristiques techniques, jusqu'à la grande échelle, en étudiant le mode de gestion des ateliers par les communautés nord-italiques et leurs interactions avec le monde celtique. En combinant l'archéologie, l'archéométrie, les statistiques et la modélisation des données, l'objectif est d'identifier les traditions métallurgiques du nord-ouest italien et la question des transferts techno-culturels, en mettant l'accent sur le rôle des artisans et leur implication dans le processus de façonnage de(s) identité(s) et de formation des groupes culturels à l'Âge du Fer. Dans ce cadre, la caractérisation de la chaîne opératoire est un défi majeur pour retracer les stratégies de production, et étudier la variabilité ainsi que le caractère innovant ou non des techniques mises en œuvre par les artisans. Ce poster veut présenter les études en cours dans le cadre du WP2 du projet consacré à l'étude technologique. Il s'agit plus particulièrement de mettre en avant l'approche intégrée appliquée à une sélection de fibules de la culture de Golasecca du département d'archéologie comparée du musée de Saint-Germain-en-Laye. Fondée sur le croisement des informations issues de la radiographie X, des études des traces de fabrication (microscopie 3D, RTI, ...), et de l'analyse de la composition élémentaire du métal (éléments majeurs, traces), l'objectif est de pouvoir identifier les techniques de mise en forme et d'ornementation de ces objets, afin de mieux comprendre l'organisation des systèmes de production depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à la diffusion et l'utilisation des produits finis, à courte, moyenne et longue distance à travers les Alpes.

Mots-Clés : Radiographie X, imagerie 2D et 3D, RTI, composition élémentaire, Age du Fer, fibules, Italie du nord.

*Intervenant

Art rupestre et réorganisation sociale des chasseurs-collecteurs d'Afrique australe : Étude expérimentale des techniques de production des poudres colorées

Guilhem Mauraⁿ * ^{1,2}, Malesetla Sepamo³, Petrus Alfeus Tangeni³, Felix Kisen^a ⁴, Alain Queffelec⁵, Tammy Hodgskiss⁵, Justin Pargeter⁴

¹ Travaux et Recherches Archéologiques sur les Cultures, les Espaces, et les Sociétés – Centre National de la Recherche Scientifique, Université Toulouse Jean Jaurès – France

² Rock Art Research Institute, University of the Witwatersrand – Afrique du Sud

³ School of Geography, Archaeology, and Environmental Studies, University of the Witwatersrand – Afrique du Sud

⁴ African Paleosciences Lab, Department of Anthropology, New York University – États-Unis

⁵ Origins Center, University of the Witwatersrand – Afrique du Sud

En Afrique australe, de nombreuses peintures rupestres ont été produites entre 6000 et 2000 BP, période marquée par les productions microlithiques Wilton et post-Wilton, associées à des productions régionalisées et à un réinvestissement des terres intérieures. Ces changements contrastent avec les comportements des chasseurs-collecteurs des périodes antérieures et suggèrent une réorganisation sociale au sein de ces groupes. L'art rupestre, en tant qu'élément de cohésion et de reproduction sociale, pourrait ainsi offrir une clé pour mieux comprendre cette réorganisation, encore peu appréhendée.

La production de l'art rupestre repose sur l'exploitation de matières colorantes, principalement ferriques. Le choix des matières premières, les modalités de transformation et leur application sur les parois sont des éléments clés dans la définition des chaînes opératoires de fabrication des peintures rupestres. Identifier ces chaînes opératoires est donc essentiel pour comprendre les dynamiques sociales d'une époque marquée par une réorganisation importante.

Cependant, l'identification des chaînes opératoires dans la production des peintures rupestres a été peu explorée jusqu'à présent. L'objectif de cette recherche est d'interroger la possibilité d'identifier les modes de production des pigments dans cette région. Pour ce faire, une expérimentation a été réalisée sur des matières géologiques retrouvées dans la vallée du Cango.

L'expérimentation repose sur l'utilisation de deux types de matières colorantes : une matière dure (hématite) et une matière tendre (silt ferrugineux). Ces deux matières ont été travaillées à l'aide d'outils en quartzite, comprenant une enclume et un pilon. Deux techniques principales de réduction en poudre ont été testées : l'abrasion bidirectionnelle (frottement des matériaux pour les réduire en poudre) et la percussion bipolaire suivie d'un broyage sur enclume (frappe des pierres pour produire des éclats). Ces méthodes ont été choisies car elles sont bien documentées dans le traitement des matières colorantes et représentent deux approches extrêmes dans les modalités de réduction des pigments.

Huit expérimentations de 10 minutes ont été réalisées par un seul expérimentateur, sans limite quant à la quantité de matière première utilisée. L'objectif était d'examiner les différences en termes de quantité, taille et forme des grains constituant les poudres colorées obtenues, en fonction des méthodes et des matériaux employés.

*Intervenant

Les données collectées ont été analysées sous plusieurs angles. Une cartographie des déchets générés pendant les expérimentations a permis d'observer les aires de distribution de ces restes matériels, fournissant des indices pour leur utilisation dans les contextes archéologiques. Le suivi des masses des matières travaillées et des poudres obtenues a permis d'évaluer l'efficacité des deux méthodes en termes de quantité de pigment produit. Enfin, l'analyse de la granulométrie a révélé des différences significatives dans la taille et la distribution des particules, éléments cruciaux pour comprendre les caractéristiques des pigments. Les résultats préliminaires suggèrent que la technique de percussion bipolaire génère des poudres plus grossières, tandis que l'abrasion bidirectionnelle produit des pigments plus fins et homogènes. La comparaison des morphologies des grains a permis de discriminer les méthodes de réduction en poudre et d'approfondir la compréhension des chaînes opératoires de production des pigments de l'art rupestre.

Mots-Clés : Matières colorantes, archéologie expérimentale, chaîne opératoire, référentiel, art rupestre, Afrique australe

Investigation of graphite-coated pottery from the Northern Carpathian Basin (Maklár, Northeastern Hungary)

Ákos Mengyán * ^{1,2}

¹ Hungarian National Museum Public Collection Centre, National Institute of Archaeology,
Archaeometry Laboratory – Hongrie

² University of Miskolc, Institute of Exploration Geosciences, PhD student – Hongrie

Maklár is located on the northern fringes of the Great Hungarian Plain, where four Bronze Age sites are known (two settlements and two cemeteries) that can be dated between around 1500–1000 BC. One of them is Maklár-Nagyvér, where two pits and two possible houses were found during an excavation in 1983. Despite the small excavation area, relatively rich ceramic assemblage came to light, including both domestic and graphite-coated fine wares. The typology of the pottery assemblage and radiocarbon dates suggest that the excavated part of this settlement was inhabited between 1375–1055 cal BC (Reinecke BzD–HaA).

The number of graphite-coated pottery began to increase during this period, between around 1300 and 1250 BC (Reinecke BzD) in Central Europe, including the Carpathian Basin and the Eastern Alpine regions. In the Carpathian Basin, most of the graphite should be imported, suggesting long-distance trade networks, and the production of these vessels required special technological knowledge. During the Reinecke Bz D phase, metal vessels are missing from household assemblages, therefore it is generally assumed that graphite-coated pottery might have imitated them. Furthermore, graphite-coatings were particularly applied on table wares, such as bowls, jugs and cups, thus, it might have been the most prominent members of social representations during feasting events.

The goal of this research is to analyse different steps in the chaîne opératoire. First of all, to identify the ceramic raw materials and temper in the Maklár-Nagyvér ceramic assemblage, specifically graphite-coated vessels and domestic pottery (such as storage vessels and cooking pots). Secondly, to investigate how the graphite-coated surface might have been produced and how these coatings were applied on the vessels' surface. In this analysis, thin section petrography and microscopic fabric analysis were used along with stereo microscopical investigation on the graphite coatings. Furthermore, to investigate this topic, the material of Maklár-Nagyvér have been compared to experimental graphite-coated vessels within the collection of the Archaeometry Laboratory of the Hungarian National Museum.

Mots-Clés : Bronze Age, Carpathian Basin, chaîne opératoire, graphite, ceramic petrography

*Intervenant

Analyse fonctionnelle des moules à alvéoles découverts sur l'oppidum d'Amboise (Indre-et-Loire) : l'apport de l'archéométrie

Amandine Réaud ^{* 1,2}, Maryse Blet-Lemarquand ², Sylvia Nieto-Pelletier ², Jean-Marie Laruez ³, Dorothée Lusson ^{4,5}

¹ Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – UMR 5608 - TRACES, Université Toulouse Jean Jaurès – France

² IRAMAT - Centre Ernest Babelon – CNRS UMR 7065, Université d'Orléans – France

³ Service de l'Archéologie du département d'Indre-et-Loire – Département d'Indre-et-Loire – France

⁴ Institut national de recherches archéologiques préventives - Centre de recherches archéologiques de Tours – 'Ministère de la culture', Ministère de l'Enseignement supérieur et Recherche – France

⁵ Cités, Territoires, Environnement et Sociétés – UMR 7324 CITERES-LAT, Université de Tours – France

Avec une morphologie qui évoque celle de nos moules à glaçons modernes, les moules ou plaques à alvéoles demeurent peu étudiés ou difficilement interprétables sans des investigations plus poussées que le simple examen macroscopique. Longtemps associés à la fabrication des flans monétaires, ces objets en terre cuite semblent plutôt destinés à la coulée de petites masses de métaux ou d'alliages divers, ce qui leur vaut parfois l'appellation de « lingotières ». À l'instar d'autres sites d'habitat du second âge du Fer, l'oppidum d'Amboise (Indre-et-Loire) a livré plusieurs moules à alvéoles à la typologie variée, dont la fonction artisanale est supposée par le contexte de découverte. Près de trente fragments ont été découverts sur différents secteurs, lors des fouilles archéologiques anciennes (A. Peyrard, 1977, 1982-1983) et des recherches récentes (Fouilles de la Butte de César 2015-2019).

Le principal enjeu est de mieux caractériser la fonction de ces moules en analysant les éventuels résidus présents en surface. Les recherches débutées en 2022 à l'occasion de travaux de Master ont été poursuivies en 2024 dans le cadre du Projet Collectif de Recherche « Ambacia » consacré à l'oppidum d'Amboise (2023-2026), permettant d'étudier l'intégralité du corpus. La démarche a été mise en œuvre au sein du laboratoire IRAMAT-CEB (UMR 7065 – CNRS, Université d'Orléans). Dans un premier temps, la surface des moules a été observée avec la loupe binoculaire. Outre les vitrifications qui témoignent d'une chauffe intense, des nodules métalliques dorés ont été mis en évidence sur certains exemplaires. Dans le cas où les objets ne présentaient aucun résidu, la radiographie X a permis de visualiser de façon non invasive la totalité de la pâte céramique. Afin de définir rapidement la nature du métal coulé, certaines zones des moules ont été soumises à une analyse par fluorescence X. Ces données qualitatives de la composition correspondent aux éléments de la pâte céramique (fer, calcium, potassium), parfois contaminés par des éléments métalliques : cuivre, étain, plomb, antimoine, argent, or. Le microscope électronique à balayage, couplé à une analyse EDX, a permis d'observer et d'analyser plus spécifiquement les nodules métalliques, qui n'excèdent pas quelques centaines de micromètres. Ils résultent du travail d'alliages à base d'or, d'argent et de cuivre.

Cette étude, croisant l'analyse typologique à la caractérisation des matériaux, confirme le travail des métaux précieux sur l'oppidum. Ces moules intègrent finalement les autres vestiges de la métallurgie des métaux fusibles (creusets, chutes et rejets, ratés de coulée, etc.). Si pour quelques-uns, aucune trace métallique n'a été détectée, cela ne peut pas totalement remettre en cause leur utilisation. Ces résultats pourront être couplés avec des analyses biochimiques de la pâte céramique. Il convient toutefois de rester

*Intervenant

prudent face aux résultats obtenus en raison de possibles contaminations modernes, ou de lavages trop intensifs susceptibles de faire disparaître d'éventuels résidus métalliques. Étant donné les limites des méthodes employées, plusieurs perspectives de recherche sont proposées : l'utilisation de la tomographie X, l'analyse des éléments traces avec la méthode LA-ICP-MS, ou encore l'apport des expérimentations pour mieux appréhender les gestes techniques.

Mots-Clés : Amboise, analyse élémentaire, archéométallurgie, lingotière, métaux fusibles, moules à alvéoles

Session 2.3. Utiliser, consommer, échanger et circuler

Communications orales

Commerce des vins grecs en Méditerranée orientale : apports de l'étude des amphores égéennes retrouvées à Kition, Chypre

Camille Frugier * ¹, Séverine Lemaître ¹, Mai Abdelgawad ², Nadia Cantin ²

¹ HeRMA, Hellénisation et Romanisation dans le Monde Antique, UR 15071 – Université de Poitiers – France – camille.frugier01@univ-poitiers.fr

² CEAlex, Centre d'Études Alexandrines, UAR 3134, CNRS – Égypte

De 1995 à 1998 une série de fouille a été opérée dans le port de Kition à Chypre dans l'actuelle baie de Larnaca. Cette baie, riche en ressources minières et agricoles, constituait une escale commerciale privilégiée au sein de la Méditerranée orientale antique. En atteste le lot exceptionnel d'amphores qui y a été mis au jour, et qui représente environ la moitié du mobilier céramique collecté. Au sein de cet assemblage, les amphores arrivant de diverses cités grecques de Méditerranée orientale sont les plus nombreuses. À l'époque classique, le timbrage quasi-systématique des récipients avant leur commercialisation renseigne sur les cités productrices, mais seule une minorité des conteneurs reçoit un timbre à l'époque impériale. Pour caractériser le matériel retrouvé à Kition, qui date essentiellement de l'époque romaine, une étude macroscopique et pétrographique couplée à des analyses élémentaires par pXRF a été réalisée dans le cadre du programme MATEGEE financé par l'ANR. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux précédemment acquis sur des amphores dont l'origine était attestée afin de documenter le commerce vinaire et les réseaux d'échanges antiques.

Une attention particulière a été portée aux amphores supposément rhodiennes, cnidiennes, et correspondant aux types Dressel 2/4, Dressel 24 et Dressel 24 *similis* afin d'obtenir des éléments de réponse concernant plusieurs questionnements archéologiques en suspens. Il s'agissait par exemple de préciser l'origine exacte des amphores rhodiennes. Sont-elles issues de l'île de Rhodes à proprement parler, ou bien une partie d'entre elle a-t-elle été fabriquée dans les ateliers de la Pérée rhodienne, un territoire contrôlé par Rhodes mais situé sur la côte anatolienne qui lui fait face ?

Le projet a aussi été l'occasion de s'intéresser aux Productions Non Identifiées 30 à 32 (PNI 30 à 32) dont les ateliers de fabrication ne sont actuellement pas connus. Rapprochées des productions rhodiennes lors de l'examen macroscopique des pâtes, elles ont été caractérisées afin d'infirmer ou de confirmer cette hypothèse.

Un autre objectif de l'enquête a été de déterminer l'origine des Dressel 2/4 retrouvées à Kition. D'abord apparu à Cos, ce type a ensuite été repris par les potiers d'autres cités grecques, comme Rhodes, Cnide, Éphèse, Chios, ou même dans des ateliers implantés sur la côte sud-ouest de l'Anatolie, ce qui rendait la caractérisation des pâtes des Dressel 2/4 chypriotes essentielle.

Enfin, un dernier axe de recherche a concerné les amphores possiblement originaires de la côte ouest de l'Anatolie, qui n'ont fait l'objet que de peu d'analyses à ce jour. Citons notamment le groupe des Dressel 24 et Dressel 24 *similis* aussi connues sous l'appellation *cup-shaped rims* et associées au grand commerce méditerranéen dans la littérature.

Au total, ce sont 110 tessons qui ont fait l'objet d'une caractérisation macroscopique, pétrographique et

*Intervenant

d'analyses élémentaires afin de récolter des indices relatifs au commerce des vins grecs en Méditerranée orientale.

Mots-Clés : Méditerranée orientale, Chypre, Commerce vinair, Amphores égéennes, pétrographie, p, XRF

Fonction des premières poteries du Levant sud (VIIe-Ier millénaire cal. BC) : état de l'art, potentiel et limites des approches lipidiques

Martine Regert ^{*} ¹, Julien Vieugué ¹, Louise Martignac ¹,
Yosef Garfinkel ¹

¹ CEPAM - UMR7264 – CNRS – France – martine.regert@cnrs.fr, julien.vieugeu@cnrs.fr

L'émergence de la poterie est relativement tardive au Levant sud (seconde moitié du VII^e millénaire BC) en comparaison avec les autres régions du Croissant fertile. Cette région est, de ce fait, restée en marge des études sur les premières productions céramiques du Proche-Orient. Dans le cadre du projet ANR CERASTONE, nous cherchons à appréhender les raisons de l'adoption généralisée de la poterie au Levant sud grâce à une approche fonctionnelle novatrice qui combine une série de critères rarement pris en considération de concert (forme et dimensions des récipients, traces d'usage, contenu lipidique) dans des contextes chrono-stratigraphiques bien maîtrisés.

Très peu de données sont actuellement disponibles dans la littérature sur l'usage de ces premières céramiques, en particulier pour ce qui concerne leur contenu lipidique et son degré de conservation même si l'on sait que, globalement, à l'échelle du bassin méditerranéen, les lipides sont généralement mal conservés.

Nous présenterons dans cette communication un bilan bibliographique critique des analyses lipidiques réalisées au Levant sud qui met en exergue le faible nombre de données disponibles, leur concentration sur des sites chalcolithiques et un changement d'approches méthodologiques entre l'étude des assemblages céramiques néolithiques et chalcolithiques et ceux issus de sites plus récents. Nous détaillerons ensuite la stratégie analytique développée sur des tessons à faible teneur en lipides (avantages et limites de l'extraction classique par solvant *vs* la méthanolyse acide) provenant des sites de Munhata (6200-5500 cal BCE) et de Sha'ar Hagolan (6400-5800 cal BCE) datés des débuts du Néolithique céramique.

Les premiers tests menés étant peu concluants sur Sha'ar Hagolan, nous focaliserons cette présentation sur les résultats obtenus sur le site de Munhata sur une quarantaine de tessons. Une partie d'entre eux a été analysée par les deux méthodes d'extraction, la seconde (méthanolyse acide) présentant un rendement trois fois supérieur à l'extraction classique. Elle a donc été dans un second temps privilégiée. Les assemblages moléculaires sont dominés par les acides palmitique et stéarique, ce qui est classique, mais présentent également parfois des acides à nombre impair d'atomes de carbone (C15 :0, C17 :0) linéaires et ramifiés, pouvant indiquer des matières grasses de ruminants, voire de produits laitiers. Par ailleurs, des séries homologues d'alcanes et d'acides gras à longue chaîne hydrogène-carbonée peuvent indiquer la présence de plantes dans les recettes culinaires. Ces premiers résultats sont extrêmement encourageants dans la mesure où la plupart des échantillons étudiés sur le site de Munhata a fourni des concentrations suffisantes pour procéder à la mesure du $\delta^{13}C$ des acides palmitique et stéarique, ce qui permettra d'affiner la nature des ressources préparées, consommées ou stockées dans les céramiques. Ces données seront discutées en lien avec les formes céramiques considérées mais aussi en regard des données publiées par d'autres auteurs d'après lesquelles les produits laitiers ne sont pour l'instant attestés dans les céramiques qu'à partir de la période chalcolithique au Levant sud et qui semblent montrer une diminution de la préparation des graisses de non-ruminant *vs* les graisses de ruminants entre les sites néolithiques et chalcolithiques.

*Intervenant

Mots-Clés : Néolithique, Proche, Orient, Céramiques, Lipides

Élaboration d'un référentiel géochimique de la métallurgie du cuivre du Néolithique et des âges des Métaux en Occitanie (projet COPPER).

Kévin Costa ^{* 1}, Sandrine Baron ¹, Thibault Lachenal ², Jean-Marc Fabre ¹, Marie Laroche ³, Michel Maillé ¹, Julien Maintenant ⁴, Emmanuelle Meunier ¹, Gabriel Munteanu ⁵

¹ UMR 5608 - TRACES – CNRS – France contact.kevin.costa@gmail.com, maillle.michel@orange.fr, sbaron@univ-tlse2.fr, jean-marc.fabre@univ-tlse2.fr, emmanuelle_m@hotmail.fr

² UMR 5140 - Archéologie des Sociétés Méditerranéennes – CNRS – France – thibault.lachenal@cnrs.fr

³ PALEOTIME; UMR 5608 - TRACES – Société Paléotime, CNRS – France – larochemarie@wanadoo.fr

⁴ ACTER Archéologie; UMR 5608 - TRACES – ACTER Archéologie, CNRS – France – maintenantjulien@yahoo.fr

⁵ Hadès - Bureau d'Investigations Archéologiques; UMR 5608 - TRACES – Hadès - Bureau d'Investigations Archéologiques, CNRS – France – gabriel.munteanu@hades-archeologie.com

Le territoire actuel de la région Occitanie comprend une importante densité de gisements cuprifères localisés dans le sud du Massif central et les Pyrénées. Leur exploitation dès la fin du Néolithique est attestée par la présence d'ateliers métallurgiques et de travaux miniers datés de ces périodes. L'exploitation de ressources régionales est aussi documentée pour les Âges du Bronze et du Fer par des datations directes de certains travaux miniers. Cependant, et malgré ce potentiel considérable, le lien entre les ressources minérales de la région et les foyers de métallurgie découverts sur les sites archéologiques n'est que rarement établi. Actuellement le meilleur moyen de relier ces données entre elles est l'utilisation des isotopes du plomb. Les signatures isotopiques étant caractéristiques d'une minéralisation donnée et les minerais-sources utilisés pour la fabrication d'objets n'étant pas impactés par la réduction, ces dernières restent identiques de la source au métal. Un des objectifs principaux du projet COPPER (*Cuivre d'Occitanie : Pister la Production, l'Exploitation des Ressources et les échanges, du Néolithique aux Âges des Métaux*) est de constituer un véritable référentiel géochimique (élémentaire et isotopique) sur des matériaux archéologiques contextualisés par la fouille : minerais, scories, lingots... De plus, une vaste campagne d'analyses sur des objets archéologiques aux typologies locales est également menée afin de mettre ces résultats en perspectives et d'approcher les dynamiques de production, d'utilisation et de diffusion du cuivre dans la région durant la Préhistoire et la Protohistoire.

Les premiers résultats d'analyses permettent d'ores et déjà de constituer ce référentiel original et ce, à l'échelle régionale voire locale. En effet, il est possible de discriminer les différentes zones minières et sites d'ateliers associés. Pour ces derniers, les analyses géochimiques permettent d'affiner les signatures des productions mais aussi de documenter la ou les chaîne(s) opératoire(s) conduites. À titre d'exemples, deux sites métallurgiques, distants d'à peine 50km et datés de la fin du Néolithique (Planet, Aveyron et Capitelle du Broum, Hérault) seront présentés.

En conséquence, nos résultats suggèrent la possibilité de discriminer les productions locales des productions importées, mais également d'envisager la diffusion de ces matériaux produits dans la frange méditerranéenne.

*Intervenant

Mots-Clés : cuivre, métal, Néolithique, Protohistoire, Occitanie, Massif central, Pyrénées

Caractérisation des réseaux d'échanges du cuivre de l'âge du Bronze à l'échelle européenne

Celine Tomczyk ^{† 1}

¹ IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération – CNRS – France

L'âge du Bronze est marqué par l'usage croissant du bronze, un alliage de cuivre et d'étain, dont la production dépendait de réseaux d'échanges entre régions géographiquement éloignées, les gisements de ces deux métaux étant rarement situés dans les mêmes zones. Pourtant, ces vastes réseaux d'approvisionnement demeurent encore aujourd'hui largement méconnus, notamment en raison du manque d'informations sur l'origine précise des métaux utilisés pour fabriquer les objets en bronze.

Cette communication présentera dans un premier temps, une liste exhaustive des zones minières de cuivre et d'étain exploitées durant l'âge du Bronze. Cette synthèse a permis d'identifier les principales régions cuprifères à prendre en compte comme possibles provenances pour les artefacts en bronze. Les volumes de production des principales mines de cuivre ont pu être estimés, révélant des disparités importantes entre les régions, certaines apparaissant ainsi comme des candidates plus probables pour l'exportation de cuivre à grande échelle.

L'origine du cuivre composant les objets a pu être tracée en utilisant les quatre isotopes stables du plomb (204, 206, 207 et 208). Présents en très faibles quantités dans le minerai de cuivre, leur proportion relative n'est pas modifiée par les processus de fonte, ce qui permet de lier un objet à son minerai d'origine avec un degré élevé de précision.

Les signatures de plus de 8000 minerais et 7000 artefacts ont pu être comparées à l'aide de statistiques multivariées et une origine quasi-certaine a pu être attribuée à environ un tiers des artefacts étudiés. De ces provenances fiables, des axes d'exportation du cuivre à l'échelle de l'Europe et du Proche-Orient ont pu être tracés.

Enfin, pour des objets dont la provenance restait incertaine, l'emploi de modèles bayésiens suggère qu'ils pourraient avoir été fabriqués à partir de mélanges de cuivre, extraits dans des zones minières distinctes. Cette découverte ouvre de nouvelles perspectives sur l'étendue et la complexité des réseaux d'échanges et des pratiques de recyclage à l'âge du Bronze.

Mots-Clés : âge du Bronze, isotopie du plomb, provenance des métaux, réseaux d'échanges, statistiques multivariées

[†]Intervenant

Recyclage, importation, exploitation ? Les sources de l'argent monnayé en al Andalus aux VIII^e-IX^e siècles

Guillaume Sarah * ¹, Sébastien Gasc

¹ Institut de Recherches sur les Archéomatériaux, Centre Ernest-Babelon – CNRS : UMR7065 – Orléans, France – guillaume.sarah@cnrs-orleans.fr

À la suite de la conquête de la péninsule Ibérique par les troupes arabo-berbères au début du VIII^e siècle, les nouvelles autorités commencent la production d'un monnayage rapidement dominé par l'argent, qui prend la place du monnayage d'or des rois wisigoths auquel il succède dans cet espace. Ces dirhams, qui portent la mention de l'année de leur fabrication, sont produits massivement par l'atelier de Cordoue, centre du nouveau pouvoir en place.

La documentation textuelle et archéologique ne nous renseigne pas sur les sources d'approvisionnement en argent de l'atelier monétaire de Cordoue. Le monnayage antérieur dans la péninsule Ibérique étant composé d'or, il ne peut s'agir du recyclage du stock monétaire existant dans cet espace au moment de la conquête musulmane. Dans ces conditions, différentes hypothèses peuvent être envisagées : s'agit-il du recyclage de monnayages d'argent existants, provenant d'autres zones du monde musulman ou de l'Occident chrétien ? Ou de la mobilisation d'argent issu des exploitations minières localisées en al Andalus, voire dans d'autres aires géographiques ? Des combinaisons de ces différentes possibilités peuvent s'envisager, et des variations dans le temps sont également à considérer.

Une enquête archéométrique a été engagée afin de restituer les sources d'approvisionnement en argent de l'atelier monétaire de Cordoue entre le VIII^e et le IX^e siècle. À cette fin, des analyses élémentaires de composition ont été réalisées par ICP-MS avec prélèvement par ablation laser (LA-ICP-MS) sur une sélection de 42 dirhams d'al Andalus frappés entre 105 et 278H (723-892). Il a ainsi été possible de doser les teneurs des éléments-traces caractéristiques de l'argent que sont l'or et le bismuth et de définir les caractéristiques de différents stocks de métal. Les résultats obtenus ont été comparés entre eux et confrontés à la date de production des monnaies, ce qui a permis de mettre en évidence des changements nets dans les teneurs en éléments-traces qui révèlent des évolutions dans les modalités d'approvisionnement en argent de l'atelier monétaire de Cordoue. Ces observations peuvent en outre être examinées à la lumière des connaissances relatives à l'évolution des relations qu'entretenaient les autorités d'al Andalus avec les pouvoirs des espaces voisins, en particulier des principautés musulmanes d'Afrique du Nord, pour lesquelles les sources textuelles et archéologiques attestent pour cette période de l'exploitation de ressources minérales argentifères. Enfin, les résultats obtenus pour les dirhams d'al Andalus ont été comparés à ceux disponibles dans la littérature scientifique pour des monnaies d'argent contemporaines issues d'autres espaces, allant des territoires mérovingiens puis carolingiens en Europe occidentale jusqu'à l'Asie centrale. Cette étude a ainsi permis de réécrire les premières lignes de l'histoire de la circulation de l'argent dans l'Occident musulman au début du Moyen Âge, entre importations, recyclages et approvisionnement auprès d'exploitations minières.

Mots-Clés : argent, monnaie, éléments, traces, recyclage, provenance, al Andalus

*Intervenant

Garnet supply in the late 5th and 6th century Carpathian Basin based on the polychrome jewellery from the Gepidic and Langobardic Kingdoms

Eszter Horváth * ¹

¹ Hungarian Research Network (HUN-REN) Research Centre for the Humanities, Institute of Archaeology – Hongrie – horvath.eszter@abtk.hu

In the first two thirds of the 6th century, the territory of the Carpathian Basin was ruled by two Germanic tribes, the eastern Germanic Gepids and the western Germanic Langobards. Despite their different roots and histories, the two peoples were bound together by a period spent in each other's neighbourhood marked by both warfare and alliances. Jewellery and dress accessories decorated with various colourful gemstones and goldsmith techniques providing colour effects were a representative part of their material cultures.

The polychrome decoration of fine metalwork objects was widespread during the Hellenistic, Roman and Early Medieval times representing an intercultural and supra-regional fashion in Europe. In the archaeological material of the Carpathian Basin this polychromy was characteristic over around three centuries, from the Hunnic Period through the age of the Gepidic and Langobardic Kingdoms up until the Avar Period. The polychrome artefacts manifest the high-end arts and crafts. Their production necessitated the highest level of knowledge, organisation, and network. It required high-valued raw materials acquired by even long-distance trade links and sophisticated manufacturing processes performed by skilled artisans relying on well-developed infrastructure.

Our study focusses on the most fascinating components of these objects, the red garnets as well as the differences and similarities in garnet supply between and within the Gepidic and Langobardic Kingdoms. Over half a hundred garnet inlaid objects and loose garnets from the collections of the Hungarian museums dated to the late 5th and 6th centuries AD were investigated by using non-destructive and non-invasive analytical methods (optical microscopy, SEM-EDX, μ -XRF, μ -Raman). Our comparative analysis aimed at answering two main questions :

- 1) Is there any change in garnet provenance compared to the earlier periods, similar to that attested on Merovingian garnet jewellery ? (1, 2)
- 2) How homogenous is the Carpathian Basin in terms of provenance, supply and usage of garnets in the studied period ?

The resulting data on the mineral inclusion characteristics and the chemical composition have shown :

- that the garnet raw material from the late 5th and 6th-centuries originated from both outside and inside Europe.
- the prevalence of almandines and pyrope-almandines from Sri Lanka and India as well as the sporadic use of pyropes both in form of the Cr-rich and Cr-poor varieties from Bohemia and

*Intervenant

Portugal.

- significant differences in the supply and usage of garnet in Transdanubia and the Tisza-region, implying two distinct and independent trade networks.
- the combined use of South Asian and Bohemian garnets, disproving the theory of the sudden boom of Bohemian pyropes in the 7th-century along with the termination or restriction of long-distance trade links (1, 2).

References :

1. Pion, C., Gratuze, B., Périn, P., Calligaro, T., 2020. Bead and Garnet Trade Between the Merovingian, Mediterranean, and Indian Worlds, in : Effros, B., Moreira, I. (Eds.), *The Oxford Handbook of the Merovingian World*. Oxford University Press, Oxford, pp. 819–859.
2. Calligaro, T., Périn, P., 2019. Le commerce des grenats à l'époque mérovingienne. *Archéopages Hors-série 5, Les archéologues face à l'économie*, 109–120. <https://doi.org/10.4000/archeopages.9464>

Mots-Clés : Garnet provenance, Carpathian Basin, 6th century, Gepidic and Langobardic Kingdoms, SEM, EDX, μ XRF, μ Raman spectroscopy

$\delta^{66}\text{Zn}$, $\delta^{15}\text{N}$, and Compound-Specific Isotope Analysis of Amino Acids (CSIA-AA), Multi-Isotopic Insights into Mobility and Dietary Patterns in the Cis-Baikal Region

Gwen Le Bras ^{*} ¹, Benjamin Fuller ¹, Christelle Lagane ¹, Rick Schulting
², David Point ¹, Andrzej Weber ³, Klervia Jaouen ¹

¹ Géosciences Environnement Toulouse – CNRS UMR 5563 (CNRS/UPS/IRD/CNES), Université de Toulouse, Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse, France – France – gwen.le-bras@univ-tlse3.fr, klervia.jaouen@get.omp.eu

² Research Laboratory for Archaeology and the History of Art, School of Archaeology, University of Oxford – Royaume-Uni

³ Department of Anthropology University of Alberta – Canada

The consumption of freshwater food resources is highly cultural and frequently a central point of debate for prehistoric interior sites. Carbon isotopes often fail to differentiate this type of resource from terrestrial ones. In this study, we explore the potential of zinc isotope ratios ($\delta^{66}\text{Zn}$) to address this matter in hunter-gatherer contexts in the Early Neolithic and Early Bronze Age of the Cis-Baikal region, Siberia. We couple this approach with more traditional dietary and population mobility proxies. In addition to exploring zinc isotopes' potential for tracking freshwater food consumption, this work aims to understand better the subsistence strategies employed by ancient populations in the various micro-regions studied, focusing particularly on the distinction between the use of terrestrial and freshwater foods. The variability observed in the Zn isotope ratios of different Baikal fish species will be presented and discussed. We demonstrate that low zinc isotope ratios in human dental enamel are associated with seal consumption, but $\delta^{66}\text{Zn}$ values also depend on local geological substrate. Our findings show distinct dietary practices across the Cis-Baikal micro-regions, with a higher terrestrial input in the Little Sea micro-region compared to the Baikal SW and Angara micro-regions. Overall, this research demonstrates the potential of combining multiple isotopic markers, such as $\delta^{66}\text{Zn}$ and CSIA-AA, to clarify further the food procurement strategies and mobility of ancient populations. The variability observed within a region, whether in terms of the periods separating populations or cultural differences, particularly in mortuary practices, underlines the need for a nuanced, multiproxy approach in this type of archaeological setting.

Mots-Clés : Zinc, CSIA, Stable Isotopes, Diet, Hunter Gatherer

*Intervenant

Approvisionnement de Bordeaux en poisson marin frais durant le Haut-Empire : approche isotopique des zones de pêche et des réseaux commerciaux

Theodore West ^{*} ¹, Isabelle Pianet ², Brice Ephrem ³, Denis Fiorillo ⁴,
Laurent Simon ⁵, Elise Dufour ⁶

¹ Archéosciences Bordeaux UMR 6034 – Université Bordeaux Montaigne, université Bordeaux Montaigne – France – theodore.west@u-bordeaux-montaigne.fr

² Archéosciences Bordeaux UMR 6034 – CNRS – France

³ CReAHH UMR 6566 – CNRS – France

⁴ AASPE UMR 7209 – CNRS – France

⁵ LEHNA UMR 5023 – Université Lyon 1 – France

⁶ AASPE UMR 7209 – Muséum National d'Histoire Naturelle – France

Durant le Haut-Empire, la Gaule connaît d'importantes transformations culturelles, l'un des changements notables étant la consommation accrue de poisson marin. Les sources historiques, les découvertes archéologiques et l'archéo-ichtyologie fournissent les premières preuves d'un commerce de poisson sur de longues distances à partir du I^{er} siècle de notre ère. Si le commerce du poisson durant l'Antiquité se caractérise souvent par la mention de poissons salés et de sauces à base de poisson, cette période a également été marquée par la commercialisation de poissons marins frais vers l'intérieur des terres, sur des distances allant jusqu'à 100 kilomètres. Le succès de ces entreprises commerciales souligne une importante organisation et coordination logistique afin d'assurer la livraison de cette denrée hautement périssable. En revanche, les documents historiques et archéologiques ne permettent pas toujours de distinguer les zones de pêche et les réseaux commerciaux spécifiques. L'archéo-ichtyologie connaît également des difficultés à identifier des lieux de pêche précis en raison des vastes répartitions de nombreuses espèces. Par conséquent, les hypothèses se limitent souvent à identifier le commerce de poissons marins à l'intérieur des terres, sans précision sur les routes commerciales empruntées. Une approche par analyse d'isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{34}\text{S}$) du collagène des restes osseux de poissons retrouvés sur les sites archéologiques permet de pallier les limites inhérentes aux sources historiques et archéologiques. En effet, ceux-ci dépendent de l'alimentation des poissons et donc de l'environnement dans lequel ils ont évolué.

Cette étude se concentre sur l'approvisionnement de Bordeaux en poissons marins frais durant le Haut-Empire. Deux zones ont été considérées comme sources potentielles : Barzan, un port commercial important durant l'Antiquité, situé à l'embouchure de l'estuaire de la Gironde, et Biganos, l'occupation littorale la plus proche de Bordeaux par voie terrestre.

Pour s'affranchir des modifications environnementales subies au cours des deux derniers millénaires, des ossements provenant de sites archéologiques ont été utilisés comme référentiel. Deux taxons ont été retenus en raison de leur importance dans les échanges commerciaux, tel que démontré par l'archéo-ichtyologie : les pageots (*Pagellus spp.*) et les pleuronectidés. Les os ont été sélectionnés sur la base de critères anatomiques et archéologiques afin de minimiser les chances de multiplier les analyses sur des os provenant d'un même poisson. Avant l'extraction du collagène, l'analyse FTIR a fourni une estimation de la teneur en collagène, indiquant une très bonne conservation.

*Intervenant

Si, pour les pageots, les données tendent à montrer des similitudes entre ceux consommés à Biganos et à Bordeaux. Les données concernant les pleuronectidés sont plus difficiles à interpréter en raison des différentes éthologies des espèces de cette famille. Cependant, les résultats mettent en lumière les zones de pêche privilégiées pour l'approvisionnement de Bordeaux, tout en offrant un aperçu des modes de transport utilisés et de l'interaction entre les communautés côtières et de l'intérieur des terres.

Mots-Clés : archéo, ichtyologie, pêche, isotopes stables, collagène, Haut, Empire, réseaux commerciaux

Session 2.3. Utiliser, consommer, échanger et circuler

Posters

Reconstructing the Maritime and Southwest Silk Roads, by Metallurgical Means/Reconstruire les routes de la soie maritime et du sud-ouest par des moyens métallurgiques

Thomas Pryce * ¹

¹ IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération – Institut de Recherche sur les Archéomatériaux, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université Paris-Saclay, Sorbonne Universités – France

The classic Silk Roads, traversing the sparsely-populated supra-Himalayan deserts and steppes at approximately 40° of latitude, have received substantial academic and public attention for over a century, including numerous major archaeometallurgical studies. The Maritime Silk Roads, spanning the Indian and western Pacific Oceans and associated humid sub-tropical and tropical savanna littoral regions, have received much increased attention in recent decades but reconstructing precise diachronic interaction networks is difficult as material culture datasets other than glass are weak. Finally, the Southwest Silk Road, running from the Chinese provinces of Shaanxi, Sichuan and Yunnan and into eastern India via the sub-tropical highlands of Southeast Asia, has been largely disregarded and, prior to the Southeast Asian Lead Isotope Project (SEALIP) no reliable material culture datasets existed with which to reconstruct long-term multilateral transmission of metallurgical artefacts, technologies and practitioners during the regional late prehistoric period, c. 1200 BC to AD 500. Founded at the University of Oxford in 2009 and based in France since 2013, SEALIP built upon earlier hypotheses for inter-regional metal exchange processes, using typological, technological and lead isotope analyses of regional production and consumption remains to generate an interlocking web of metallurgical data with which to infer diachronic and multi-scalar social interactions. SEALIP's archaeological sampling of over 1000 artefacts is extensive : Cambodia, China (Yunnan), India (eastern), Indonesia, Laos, Myanmar, Papua New Guinea, the Philippines, Sri Lanka, Thailand and Vietnam, and integrates well with major Chinese datasets but obviously comes at the expense of data density. Furthermore, Southeast Asian geochemical data are almost inexistent, something we are beginning to resolve with a new geology-focused project. Nevertheless, existing data allow, particularly for the earliest periods, late 2nd and early 1st millennia BC, to detect multiple and chronologically-overlapping pathways for the movement of metal artefacts and technologies between China and Southeast Asia. One such pathway appears to have followed the Mekong River, which traverses the region and allows access to hinterlands via tributaries and shortcuts across watersheds (e.g. the Chao Phraya). Another major pathway was the Red River, flowing from Lake Erhai to the Gulf of Tonkin, with further exchanges seemingly taking place down coastal Vietnam and into the Gulf of Thailand. This same network also extended west into Myanmar, possibly via the Nanting River into the Irrawaddy and onto the Chindwin Rivers. With this paper we examine the state of the art, its strengths and weaknesses, and future directions to link with South Asian research.

*Intervenant

Mots-Clés : Southeast Asia, China, India, Lead isotope, copper, bronze/Asie du Sud, Est, Chine, Inde, Isotope du plomb, cuivre, bronze

Identification des colorants dans les textiles archéologiques médiévaux par spectroscopie vibrationnelle : le site funéraire des Hauts de la Chapelle (Manosque, France)

Irene Bilbao Zubiri ^{*† 1}, Elsa Desplanques ², Hélène Huysseune ³, Elise Henrion ⁴, Ludovic Bellot-Gurlet ¹, Aline Percot ¹

¹ De la Molécule aux Nanos-objets : Réactivité, Interactions et Spectroscopies – Laboratoire MONARIS (UMR 8233) – France

² Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques – UMR 8068 TEMPs – France

³ Musée d'Archéologie Nationale (Saint-Germain-en-Laye, FRANCE) – Ministère de la Culture et de la Communication – France

⁴ Anthropologie bio-culturelle, Droit, Ethique et Santé – UMR 7268 ADES AMU-CNRS-EFS – France

La fouille des sépultures de la nécropole des Hauts de la Chapelle (XII-XIV^e siècle), située à Manosque dans le Sud de la France, a permis de mettre au jour des fragments de textiles colorés témoins de la présence de coiffes funéraires prestigieuses. L'objectif de ce travail est d'identifier les matières colorantes utilisées dans ce contexte avec une approche par spectroscopie vibrationnelle, en raison de son caractère peu ou non-invasif.

Le corpus d'étude est composé des 36 échantillons présentant une coloration rouge. La spectroscopie Raman et une de ses variantes, la spectroscopie Raman exaltée de surface (SERS), ont été utilisées dans cette étude afin de caractériser les colorants employés. Dans un premier temps, la spectroscopie Raman, dont la mesure se fait sans contact et ne nécessitant aucune préparation de l'échantillon, a été explorée à différentes longueurs d'onde d'excitation pour déceler les conditions les plus efficaces pour détecter les molécules colorantes d'intérêt. Cette technique a permis l'identification de l'alizarine dans environ la moitié du corpus des Hauts de la Chapelle avec une longueur d'onde excitatrice de 458 nm. Ce colorant est caractéristique de la garance, source tinctoriale utilisée à l'époque médiévale. Pour les échantillons restants les signaux de fluorescence masquent totalement le signal Raman du colorant. Pour s'en affranchir nous avons eu recours au SERS. Cette technique implique l'interaction d'une surface nanostructurée métallique avec les colorants et elle est mise en œuvre par différents protocoles. Dans sa forme la plus simple, par dépôt d'une solution colloïdale d'argent sur l'échantillon, le SERS n'a pas permis d'obtenir une signature spectrale sur les échantillons problématiques, alors que ce protocole fonctionne sur des échantillons de référence. Afin d'améliorer l'interaction du colloïde métallique avec les colorants, des pré-traitements d'hydrolyses acides ont été optimisés sur des échantillons de référence teints à l'alizarine, puis appliqués sur les échantillons textiles anciens pour lesquels le colorant n'a pu être identifié jusqu'ici. Ce pré-traitement s'est alors avéré efficace pour obtenir une signature spectrale par SERS, permettant là encore d'identifier l'alizarine.

Les fragments textiles étudiés, rares dans ces contextes archéologiques, constituent un précieux témoignage des matériaux employés et des savoir-faire dans le domaine de la teinture textile à l'époque médiévale. Le développement de protocoles analytiques sur mesure ont permis de mettre en évidence l'utilisation de la garance pour teindre ces coiffes funéraires réalisées avec des tissages complexes de fils de soie parfois recouverts de filés métalliques.

*Intervenant

†Auteur correspondant : irene.bilbao.zubiri@gmail.com

Mots-Clés : colorants naturels, alizarine, spectroscopie Raman, SERS

Projet ERC AGROCHRONO : Un projet de pointe en archéométrie pour l'étude du développement de l'agropastoralisme dans les zones frontalières Indo-Iranienne

Emmanuelle Casanova ^{*} ¹, Aurore Didier ², Morteza Djamali ³, Gwenaël Hervé ¹, Jérémy Jacob ¹, Marjan Mashkour ⁴, Benjamin Mutin ⁵,
Margareta Tengberg ⁴

¹ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement – Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, 91198 Gif-sur-Yvette, France – France

² Archéologies et Sciences de l'Antiquité – CNRS, Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, Ministère de la Culture, Université Paris 8 - Vincennes - Saint-Denis, INRAP Centre - Île-de-France – France

³ Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale – Aix Marseille Univ, Univ Avignon, CNRS, IRD, IMBE, Marseille, France – France

⁴ Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements – Musée National d'Histoire Naturelle - MNHN (France), Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

⁵ Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne - UFR Histoire de l'art et archéologie – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne – France

Le projet ERC AGROCHRONO explore la chronologie, les modèles économiques, culturels et environnementaux liés au développement de l'agropastoralisme dans les régions frontalières indo-iraniennes. Cette zone sur la route Sud-Est de diffusion de l'agropastoralisme depuis le « Croissant Fertile » semble en rupture avec une diffusion linéaire classique. Ceci est suggéré par la présence de sites aux caractères archaïques (e.g. chasse d'animaux sauvages, absence de la technologie céramique...) et avec de nouveaux développements indépendants (e.g. domestication du zébu, animal natif d'Asie du Sud...) tout en montrant des liens avec le Croissant Fertile. Cette zone, actuellement très désertique, bénéficiait probablement d'un climat plus favorable à l'époque, peut-être sous l'influence des moussons.

Articulé autour de 4 thèmes (la chronologie, l'économie, l'environnement et la culture), le projet emploie des techniques archéométriques de pointe et de nouveaux développements en bioarchéologie, géochimie organique et géochronologie. Nous pouvons nommer les datations par le 14C sur microéchantillons et sur composés individuels, la datation croisée archéomagnétisme-14C sur les céramiques archéologiques, l'analyse de résidus lipidiques dans les vaiselles en argile et en pierre et dans les sédiments ainsi que l'isotopie $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^2\text{H}$ sur composés individuels. Ces techniques sont primordiales pour documenter au mieux le contexte socio-économique et environnemental des premières populations agropastorales dans cette région d'étude.

Mots-Clés : agropastoralisme, chronologie, subsistance, environnement, bioarchéologie, diffusion, Asie

*Intervenant

Insights on diet and possible mobility in a Brazilian shell mound (Moraes site, 6791-4971 BP) through stable isotopes analysis.

Marina Di Giusto * ¹, Veronica Wesolowski , Klervia Jaouen

¹ Universidade de São Paulo = University of São Paulo (USP) – Cidade Universitaria - 05508-090 São Paulo, Brésil – marinadigiusto@gmail.com

This study presents findings on childhood diet and potential mobility on the human group excavated at the Moraes riverine shell mound (*sambaqui*) (6791-4971 BP), located in São Paulo, southeastern Brazil. Stable isotope analyses of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were conducted on dentin from permanent teeth from 7 individuals, sampled in sequential slices, which allowed for dietary estimation at different stages of childhood. Our results indicate an oscillatory pattern (*zig-zag*) in isotopic values among some children ($n=3$), which may be linked to fluctuations in food consumption arising from variations in food resources. This variability could indicate a possible mobility of the Moraes group across their territory, resembling a fission-fusion model in which the social group seasonally divides into smaller subgroups that explore specific areas. These findings highlight possible dietary and provisioning strategies within this group.

Mots-Clés : stable isotopes, diet, mobility, South America, shell mound

*Intervenant

Les enceintes fossoyées néolithiques de Charmé (Charente, France) : études pétrocéramiques au sein d'un espace micro territorial

Benjamin Gehres * ¹, Vincent Ard ²

¹ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

² Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

Quatre enceintes fossoyées (Le Peu, Les Grandes Pièces, Les Grandes Ouches, L'Avenaud), ont été mises au jour dans la région de Charmé (Charente, France) dans le cadre du programme collectif de recherche (*Monumentalismes et territoires au Néolithique entre Loire et Charente*, dirigé par V. Ard). Celles-ci se succèdent dans le temps entre le Néolithique moyen I et le Néolithique final I, soit sur une période allant de 4650 à 2470 avant notre ère, au sein d'un territoire restreint de 9 km².

Leurs implantations géographiques dans un environnement proche, ainsi que leurs fonctionnements diachroniques nous ont permis de questionner les dynamiques microrégionales de cette zone, tant d'un point de vue socio-technologique qu'économique. Quelles sont les sources de matière première qui ont été exploitées ? Peut-on observer la perdurance de traditions techniques liées aux premières étapes de la chaîne opératoire des céramiques (collectes et modifications des terres) entre les sites ? Comment s'insèrent ces enceintes dans les pratiques techniques régionales ? Pour cela, à partir des études typo-technologiques, des analyses pétrographiques des matières premières des céramiques retrouvées au sein de ces sites ont été menées.

Cette communication présentera les ruptures et les continuités des traditions techniques observées dans la chaîne opératoire des poteries entre les différentes enceintes, et dans le temps. Les analyses pétrographiques en lame mince des terres-cuites montrent qu'il existe une évolution des pratiques, tant du point de vue de la chaîne d'approvisionnement en terre argileuse, que des recettes liées aux modifications des terres. Cette dynamique se caractérise par une homogénéisation des techniques. Les sites les plus anciens montrent ainsi l'utilisation d'une diversité de matériaux, et l'emploi d'une multiplicité de dégraissant, tandis que l'enceinte la plus récente se caractérise par l'exploitation d'une ressource unique où s'ajoute un seul type de dégraissant.

Ces changements dans les choix de matières premières, et dans les recettes sont autant de moyens permettant de questionner les réseaux d'apprentissage, et par-delà les connexions socio-économiques micro et macroterritoriales de ces populations.

Mots-Clés : Néolithique, Céramique, Matériaux, Traditions techniques, Pétrographie

*Intervenant

Interregional integration models in the Andean Araucania : first approximations from the use of geographic information systems

Lucero Ferreyra Gustavo Fernando * ¹, Mariana Sacchi * ^{† 1,2}, Ramiro Barberena *

1,3,4

¹ Universidad Católica de Temuco – Chili

² Universidad de Buenos Aires [Buenos Aires] – Argentine

³ Universidad Nacional de Cuyo [Mendoza] – Argentine

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas [Buenos Aires] – Argentine

The Andean Araucania area of South Central Chile is interesting to discuss the use of space and the movement of people, goods and ideas in the past. These elevations have unique features with topographic characteristics and regional climatic patterns. They have a marked seasonality that has led to an intensive use of these landscapes in summer and have historically been constituted as porous and integrated spaces. In Andean environments, in addition to climate and topography, there are biogeographic variables that influence human circulation patterns and the intensity of occupations, causing discontinuities in the use of these spaces and thus conditioning the spatial structure of the archaeological record. In this sense, the Cordillera does not behave as an impassable frontier but rather as a geomorphological structural unit inserted in a territory that includes both slopes connecting environments that provide different resources at different times of the year.

In this presentation we propose to discuss a first proposal on human circulation patterns from an inter-nodal perspective, taking the Melipeuco micro-region in the Andean Araucania as a spatial axis. Based on Geographic Information Systems models, the objective is to analyze the role that this space could have played in these networks of circulation of information, goods and people connecting different spaces. Based on published information and data collected in the field, the proposal of the tradition of the Hunter-Gatherers of the Temperate Forests was reverted. A space hierarchy model was generated that predicts aspects related to the occupation patterns. This information was then tested with new data on surface distributions, especially geochemically characterised obsidian. Based on the evidence generated by archaeological research on both mountain slopes, the links existing over time between Araucania and Norpatagonia and the Pampean region in Argentina have been shown.

Mots-Clés : GIS, modelling, Araucania Andina

*Intervenant

[†] Auteur correspondant : sacchi.mariana@gmail.com

Larissa et le grand commerce maritime médiéval : le témoignage des ateliers de potiers des fouilles urbaines

Floris Humbert ^{*} ¹, Sylvie Yona Waksman ², Archontoula Anastasiadou ³,
Richard Bouchon ⁴

¹ Archéologie et Archéométrie – CNRS, CNRS : UMR5138 – France – florishumbert@gmail.com

² Archéologie et Archéométrie – CNRS, CNRS : UMR5138 – France – waksman@mom.fr

³ Ephorie des antiquités de Thessalie, Larissa – Grèce

⁴ Histoire et Sources des Mondes antiques – Université Lyon 2 – France

Les grands programmes de fouilles urbaines en Grèce ont livré ces dernières années des découvertes spectaculaires, mais aussi des vestiges plus discrets de quartiers artisanaux potentiellement riches d'enseignement sur les réseaux commerciaux. Des cités comme Thessalonique et Larissa, dont l'importance à l'époque byzantine est en partie documentée par les textes, pourront aussi s'appuyer sur le témoignage de leur culture matérielle. Des collaborations interdisciplinaires franco-grecques visent à développer les recherches sur le matériel inédit de ces fouilles, et ont déjà renouvelé notre vision de certaines cités, comme celle de Chalkida/Chalcis aux périodes byzantine et franque (XII^e - XIII^e s. AD). Les fouilles de sauvetage menées dans le centre urbain de Larissa par l'Ephorie des antiquités de Thessalie ont mis au jour les vestiges de plusieurs ateliers de potiers datés de la période byzantine. Notre étude vise en premier lieu à identifier leurs productions et à les caractériser par analyse chimique des pâtes par WD-XRF. Larissa, Thessalonique, Chalcis fabriquaient semble-t-il à l'époque des produits similaires, dont certains ont fait l'objet de commerce à longue distance comme attesté par des cargaisons d'épaves en Méditerranée. Quelle était la part de la cité de Larissa dans ce grand commerce maritime, dominé à l'époque franque par les armateurs des républiques italiennes de Gênes et de Venise ? La comparaison avec des données déjà présentes dans la base de données CERAMO du laboratoire de Lyon devrait nous permettre d'apporter des éléments de réponse.

Mots-Clés : céramiques byzantines, grand commerce méditerranéen, études de provenance

^{*}Intervenant

Étude de la fabrication de cartes de tarot italiennes du XV^e siècle via une méthodologie non invasive

Kilian Laclavetine * ¹, Tzetzangari Gallardo Díaz ¹, Victoria Fernandez ², Jean-Gérald Castex ², Eric Laval ¹, Lucile Brunel Duverger ¹, Giovanna Vasco ^{1,3}, Laurence Clivet ¹, Laurence De Viguerie ⁴, Yannick Vandenberghe ¹, Charlotte Hochart ¹

¹ Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) – Ministère de la Culture et de la Communication – France – kilian.lac@gmail.com

² Département des Arts graphiques, Musée du Louvre – Ministère de la Culture et de la Communication – France

³ Laboratoire scientifique, Bibliothèque nationale de France (BnF) – Ministère de la Culture et de la Communication – France

⁴ Laboratoire d'Archéologie Moléculaire et Structurale (LAMS) – UMR 8220 – Sorbonne Université, CNRS – France

Le projet de recherche porte sur l'analyse des pigments, des encres, du support papier et des techniques de fabrication de huit cartes d'un tarot enluminé, exécuté en Italie vers 1435-1440, appartenant à la collection Rothschild du Musée du Louvre (1). Il s'agit de l'étude archéométrique non-invasive de cartes enluminées, objets prestigieux encore peu familiers de ce type d'approche. La caractérisation des pigments est en effet une question essentielle pour mieux appréhender la matérialité de ces œuvres dont peu d'exemplaires nous sont parvenus. Si de telles analyses ont été présentées en 2022 sur les cartes milanaises du tarot Visconti di Modrone (vers 1441-1442, Yale University) et du tarot Visconti-Sforza (vers 1456-1458, Morgan Library), l'étude actuelle concernant les cartes florentines attribuées à l'entourage de Giovanni del Ponte (1385-1438) est inédite (2). Ces dernières sont considérées comme faisant partie d'un des plus anciens jeux de tarot actuellement conservés (3).

La méthodologie consiste en l'utilisation complémentaire de techniques d'imagerie et spectroscopiques non-invasives. D'une part, les images composites infrarouge/ultraviolet fausses couleurs permettent une première évaluation macroscopique des pigments, encres et colorants présents. D'autre part, les techniques spectroscopiques (spectroscopie de réflectance en imagerie (RIS ou hyperspectral), spectroscopie par fluorescence de rayons X 2D (XRF-2D) et spectroscopie Raman) couplées à la diffraction de rayons X permettent la caractérisation précise des matériaux colorants détectés. Finalement, des textes cachés rédigés avec une encre ferro-gallique ont été révélés par la radiographie (XRR) et la photographie en lumière transmise dans l'infrarouge. Les cartographies XRF du fer permettent leur étude approfondie. Ces textes sous-jacents pourraient contenir des éléments de datation et d'autres renseignements relatifs aux foyers de création précieux pour les historiens.

Nous présenterons le corpus, la méthodologie appliquée et les premiers résultats obtenus sur ce corpus. Un des objectifs de la caractérisation des matériaux est la détermination des savoir-faire et des spécificités éventuelles des ateliers italiens. En plus d'apporter de nouvelles connaissances dans le domaine de la carte enluminée durant la Renaissance, les résultats obtenus pourront également aider à la datation de ces cartes. Ces informations seront confrontées et discutées avec les historiens et conservateurs en charge de cette collection et partenaires du projet.

*Intervenant

- (1) Fiche d'inventaire de la carte à jouer : cavalier de bâtons du département des Arts graphiques du Musée du Louvre. <https://collections.louvre.fr/ark:/53355/cl020518871>
- (2) TED. « The Morgan Library & Museum : Tarocchi Virtual Study Day Session 2 ». Vidéo Youtube de 57 :47 minutes publiée le 21 juin 2022. <https://youtu.be/60SzKOJ80kM?si=CA3c28ZdlmY7ptq9>
- (3) Ada Labriola, dans « Les tarots peints à Florence au XVI^e siècle » dans cat. Exp. *Tarots enluminés. Chefs-d'oeuvre de la renaissance italienne*, sous la direction de Thierry Depaulis, 2020, Musée français de la carte à jouer d'Issy-les-Moulineaux, 15 décembre 2021-13 mars 2022, p. 113-125.

Mots-Clés : cartes à jouer, pigments, non, invasif, imageries, spectroscopies

De l'approvisionnement à l'usage, une étude de la chaîne opératoire des obsidiennes du Néolithique récent du site de Basì (Serra-di-Ferro, Corse-du-Sud)

Mathilde Papot ^{* 1}, François-Xavier Le Bourdonnec ², Bernard Gratuze ³,
Marie Orange ⁴, Thomas Perrin ⁵

¹ Université Toulouse - Jean Jaurès – Université de Toulouse – France

² Institut de recherches sur les Archéomatériaux - Centre de Recherche en Physique appliquée à l'Archéologie (IRAMAT-CRP2A) – Université Bordeaux Montaigne (UBM), CNRS : UMR5060 – Maison de l'Archéologie, Esplanade des Antilles, 33607 Pessac, France

³ Institut de Recherche sur les Archéomatériaux - Centre Ernest Babelon (IRAMAT-CEB) – Université d'Orléans, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS : UMR5060 – 3D rue de la Férrollerie, 45071 Orléans, France

⁴ Archéosciences - Bordeaux – Université de Bordeaux, université Bordeaux Montaigne, Centre National de la Recherche Scientifique, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR6034 – France

⁵ Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES) – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS : UMR5608 – Maison de la Recherche, 5 allée Antonio Machado 31058 TOULOUSE Cedex 9, France

Le site archéologique de Basì est un gisement de plein air situé au sud-ouest de la Corse, dans la vallée du Taravo, à quelques kilomètres de la mer. Il est découvert à la fin des années 1960, et les premières fouilles mettent rapidement au jour un faciès culturel encore inconnu sur l'île : le Basien, date des premiers siècles du IV^e millénaire avant notre ère. Grâce à sa stratigraphie, Basì devient vite un site de référence pour la Préhistoire récente corse et depuis une dizaine d'années maintenant, les fouilles ont permis de mettre au jour un mobilier abondant et varié, dans des niveaux s'étendant du Mésolithique à l'âge du Bronze. Parmi ces vestiges, plusieurs milliers d'obsidiennes ont été découvertes.

Matière première phare du bloc corso-sarde, l'obsidienne est présente en Corse dès le début du Néolithique où les premières roches allochtones (silex et obsidiennes) commencent à apparaître sur l'île. Elle est au Néolithique récent la matière première principale des assemblages lithiques et provient, en grande majorité, des gisements sardes associés au massif volcanique du Monte Arci. Les pièces sont caractérisées par une production lamellaire débitée par pression et par percussion indirecte, par des armatures perçantes possédant un pedoncule et par des éléments de faucille.

L'enjeu ici est d'étudier les obsidiennes basiennes à la fois grâce à une étude de provenance exhaustive, mais aussi d'un point de vue techno-typologique. Ainsi, les analyses géochimiques ont tout d'abord été réalisées par ED-XRF, LA-ICP-MS et PIXE sur une collection de 859 obsidiennes provenant de deux ensembles d'habitats successifs. Le corpus est constitué à moitié de lamelles souvent utilisées brutes, à moitié d'éclats et d'esquilles attestant d'un débitage au moins en partie sur place. Les résultats montrent que toutes les pièces proviennent de Sardaigne, avec une nette prédominance pour les gisements SA et SC, quelques rares pièces de type SB1, et une absence du type SB2. Cette répartition est parfaitement cohérente avec les données précédemment obtenues pour la Corse au Néolithique récent. Une étude techno-typologique, actuellement en cours, sera mise en parallèle avec cette étude de provenance et pourra être évoquée dans le poster.

*Intervenant

Cette double approche intégrée, mise en place pour l'étude de notre collection, permet non seulement d'envisager de reconstituer l'ensemble de la chaîne opératoire des artefacts, mais aussi de connaître la dynamique des réseaux d'échange. Sous quelles formes les obsidiennes sont-elles importées en Corse ? Les populations sardes viennent-elles en Corse avec leurs savoir-faire, ou existe-t-il déjà un savoir-faire sur l'île et un commerce sur place ? De plus, les résultats pourraient montrer une potentielle évolution entre les deux occupations et donc une évolution au sein du Basien, ou bien une différenciation nette d'utilisation entre les obsidiennes de type SA et de type SC.

Mots-Clés : obsidienne, chaîne opératoire, réseaux d'échange, Néolithique récent, Corse

Du Vestige au Paysage Numérique : Apport des SIG dans l'Exploration Archéologique du Bassin du Loukkos

Asma Rajad * ¹

¹ Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine – Maroc

Situé au nord-ouest du Maroc, le bassin du Loukkos est un véritable témoin d'une histoire riche. Cette région, qui fait la jonction entre le tangérois, le territoire de Zilil et le bassin du Sebou, abrite un potentiel archéologique d'une grande valeur. Toutefois, sa préservation et sa valorisation nécessitent des outils modernes et efficaces. C'est là qu'intervient l'importance cruciale des Systèmes d'Information Géographique (SIG).

Grâce aux données collectées entre 1996 et 2019 par le programme de prospection du bassin du Loukkos, les SIG permettent une exploration minutieuse et méthodique de ce territoire, offrant ainsi une cartographie précise de 302 sites archéologiques. Cette exploration s'appuie sur les premières attestations phéniciennes (avant la fin du VI^e s. av. J.-C.), et se prolonge jusqu'aux IV^e-V^e s. ap. J.-C., couvrant ainsi une vaste étendue chronologique.

Cette cartographie est bien plus qu'une simple localisation de sites : elle fournit une analyse géospatiale riche, permettant de comprendre les interactions complexes entre les différents sites archéologiques et leur environnement, mais aussi les modalités de l'occupation humaine dans cette région au fil des siècles. L'étude des SIG révèle des schémas d'occupation qui montrent des continuités et des ruptures, mettant en lumière les dynamiques spatiales et temporelles de ces implantations.

Le recours aux SIG dans cette région du Maroc offre ainsi une compréhension plus précise des modes d'occupation, en tenant compte de la typologie des sites et de leur évolution chronologique. Cette exploration typologique et chronologique permet de discerner les variations dans les pratiques d'occupation et de valoriser la richesse de chaque site dans son contexte géographique. L'approche géospatiale facilite également la corrélation entre les sites, identifiant des centres d'activités, des réseaux d'occupation et de circulation, ainsi que des zones de concentration d'objets culturels, ce qui enrichit l'interprétation des vestiges et fournit de nouvelles perspectives sur l'histoire du bassin du Loukkos.

Outre l'exploration et l'analyse, les SIG s'avèrent cruciaux pour la gestion et la valorisation des données archéologiques. En intégrant des données dans des cartes thématiques et interactives, les SIG offrent des possibilités inédites de visualisation et de modélisation, qui permettent non seulement aux chercheurs de mieux appréhender le patrimoine archéologique de la région, mais également au grand public de le découvrir de manière accessible. Cette démarche s'inscrit dans un cadre de science reproductible, en facilitant la transmission et la consultation des résultats de recherche au sein d'une plateforme numérique accessible.

À travers ce travail, le bassin du Loukkos se transforme en un « paysage numérique », un espace dynamique où les données archéologiques sont rendues vivantes et significatives. L'intégration de l'analyse computationnelle et des (géo)visualisations permet non seulement de mieux gérer et protéger le patrimoine archéologique de la région, mais aussi de renouveler l'interprétation historique à travers des outils visuels modernes et engageants. Le SIG s'impose donc comme un instrument incontournable pour articuler les vestiges archéologiques avec leur environnement dans une vision interdisciplinaire qui enrichit notre compréhension de l'histoire et du territoire.

*Intervenant

Mots-Clés : Bassin du Loukkos, Systèmes d'Information Géographique, archéologie computationnelle, modélisation spatiale, analyse géospatiale, paysage numérique, patrimoine archéologique, science reproductible, visualisation interactive, Maroc

From Decentralization to Centralization : Implications of Iron Production Models in Early European Societies

Jean Rodier * ¹, Vincent Serneels

¹ Département des Géosciences, Université de Fribourg – Suisse –
jean.rodier@unifr.ch, vincent.serneels@unifr.ch

In the last two decades, research on Iron Age iron in the North Alpine region has intensified, with an emphasis on its production, distribution, and consumption. The prevailing model suggests a decentralized system, in which numerous small-scale production centers extracted and smelted iron ore from diverse geological formations. This model links the chemical variability observed in iron semi-products, such as bi-pyramidal bars, to the use of different local ore sources, supporting an extensive trade network across regions like eastern France and western Germany. However, new geochemical evidence challenges this decentralized framework. By integrating elemental and Os isotopic data from bi-pyramidal bars with novel analytical methods applied to hammerscale, fresh insights have emerged, prompting a shift in understanding. The remarkable consistency in chemical patterns between bi-pyramidal iron bars and hammerscale from two distinct archaeological sites points to the use of a specific, highly distinctive type of iron ore, indicating centralized production. This rare geochemical signature is unlikely to originate from multiple ore deposits; rather, the chemical variation is more plausibly explained by geological differences within a single deposit, possibly a lateritic formation. This finding suggests that iron production was likely concentrated in select locations, possibly under the control of ruling elites during the transition from the Hallstatt to La Tène A periods. Control over iron, a critical resource, would have strengthened their political and military power. Moreover, similarities between the Sévaz (LTA-Switzerland) and Weyersheim (LTA-France) sites suggest a network of highly specialized, mobile ironworkers who shared advanced metallurgical techniques across regions, further reinforcing the idea of centralized control. This centralized production model challenges long-standing views of decentralized ironworking in the Iron Age and highlights the critical role of iron in shaping power structures and social organization in early European societies.

Mots-Clés : Iron age, Circulation, Bipyramid, Hammerscale, Iron ore

*Intervenant

La production des clous en fer du chaland LSG4 au II^e s. (Lyon Rhône) : questions de qualité et d'approvisionnement à l'époque romaine

Enrique Vega ^{*} ¹, Gaspard Pagès[†], Philippe Dillmann[‡], Marion Berranger[§], Marc Guyon[¶]

¹ Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération – CNRS : UMR7065 – France

Le chaland LSG4 (II^e siècle AD) fait partie d'un ensemble de six épaves gallo-romaines découvertes à Lyon au Parc Saint-Georges en 2003 à l'occasion d'une opération de fouille préventive menée par l'Inrap. Ce chaland, d'une longueur reconstituée de 28 mètres et de 5 mètres de large, a été prélevé et entreposé dix ans dans un lac de la région lyonnaise. En 2014, l'état critique de conservation a nécessité un démantèlement complet de l'embarcation au laboratoire Arc-Nucléart (Grenoble) en vue de sa restauration. Un vaste corpus de clous bien localisés sur le chaland a notamment pu être étudié d'un point de vue morphologique et archéométrique pour appréhender leur qualité et connaître leur origine. Plus de 180 clous ont ainsi fait l'objet d'une analyse métallographique quantitative dans le but de caractériser le métal, et en particulier la nature des alliages. La détermination de la composition chimique des inclusions, qui conservent les indices de l'origine de la zone de production du fer (réduction du minerai), a été menée à la fois à partir du dosage des éléments majeurs (pour tout le corpus) et des éléments traces requis pour identifier la provenance (80 échantillons analysés). Ces analyses ont été réalisées respectivement par analyse X couplée au microscope électronique à balayage et par spectrométrie de masse sous ablation laser. Un ensemble de données chimiques de grande ampleur a pu être constitué à l'échelle du chaland. L'exploration de cette quantité importante de données s'est appuyée sur l'algorithme de réduction de dimension t-SNE (t-distributed stochastic neighbour embedding) conjointement à la classification ascendante hiérarchique. Elle a été confrontée à une importante base de données regroupant les signatures chimiques d'une grande partie des ensembles de productions du fer antique européens (référentiel CHIPS, 5719 analyses relatives à plus de 700 contextes archéologiques), fruit d'une recherche cumulative depuis maintenant plus de 20 ans.

L'analyse de la microstructure du métal montre que, à l'exception de quelques exemples, la plupart des fers comportent très peu de carbone. Les matrices métalliques affichent des propriétés inclusionnaires relativement faibles qui restent cependant totalement en accord avec l'usage du matériau. Nulle spécificité par rapport aux différents rôles fonctionnels de la clouterie sur le bateau n'a été révélée. Trois grands groupes de provenance ont par ailleurs été mis en évidence. Leurs confrontations à grande échelle, notamment avec les provenances des barres de fer commercialisées dans des temps comparables et retrouvées dans des épaves des Saintes-Marie-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône), montre que contrairement à ces dernières ni la Montagne Noire ni le massif du Canigou ou la Wallonie ne sont à l'origine du métal de la fourniture des clous du chaland. En revanche, à une échelle plus régionale, deux des grands groupes de composition apparaissent compatibles avec la Puisaye et le Nivernais. D'autres origines sont encore inconnues. La

*Intervenant

†Auteur correspondant : Gaspard.pages@cnrs.fr

‡Auteur correspondant : philippe.dillmann@cea.fr

§Auteur correspondant : marion.berranger@utbm.fr

¶Auteur correspondant : marc.guyon@inrap.fr

fourniture en fer pour fabriquer les clous du chaland est donc variée, mais reste apparemment dominée par une provenance régionale. Est-ce dû à leur proximité ou à la nature de leur production ?

Mots-Clés : paléoméallurgie, acier, fer, provenance, antiquité, approche statistique, base de données

Evolution et identification des thérapeutiques du rachitisme et du scorbut aux XVIIe-XIXe siècles : approches archéo- et paléopharmacologiques.

Alexandra Zinn ^{*} ¹, Aminte Thomann ², Yannick Lefrais ¹, Olivier Dutour ¹, Isabelle Pianet ¹, Antony Colombo ¹

¹ Archéosciences Bordeaux – CNRS - Université Bordeaux Montaigne – France

² Centre Michel de Boüard - Centre de recherches archéologiques et historiques anciennes et médiévales – CNRS, Normandie Univ, UNICAEN – France

En France, au cours des XVIIIe-XIXe siècles, la période de la transition industrielle a connu d'importants changements socio-économiques qui ont impacté la santé des populations et notamment sur les maladies d'origines carencielles (e.g. rachitisme et scorbut). S'inscrivant dans l'archéologie de la santé, cette étude combine deux approches complémentaires : archéopharmacologique - identification de thérapeutiques à travers des artefacts et des sources textuelles (e.g. thèses et traités anciens de médecine, pharmacopée, archives) et paléopharmacologique - identification de thérapeutiques par des analyses archéométriques de restes humains anciens (e.g. os, dents, tartre dentaire).

Pour le rachitisme et le scorbut, la littérature médico-historique a permis de retracer des traitements traditionnels à base de plantes (e.g. cigüe, opium, quinquina), d'origine animale (huile de foie de morue), ou contenant des métaux comme le mercure. Bien que très toxique pour l'organisme, ce dernier a été largement utilisé en médecine dès le XVIIe siècle, sous forme de sirop, d'onguent ou par fumigation.

L'étude paléopathologique de l'individu SP5, un enfant de 3 à 4 ans provenant du cimetière de la rue Thubeuf à Rouen (fin XVIIIe-XIXe siècles), a révélé des signes osseux de carences multiples, probablement attribuables au rachitisme et au scorbut. Ses restes ostéoarchéologiques ont ainsi été analysés pour la détection de mercure.

Les tissus dentaires n'étant pas remodelés au cours de la vie, ils enregistrent les événements carenciels survenus pendant le développement de la dent. Ainsi, une seconde molaire inférieure déciduale a été prélevée pour rechercher par microtomodensitométrie (μ TDM, résolution : 11 μ m) dans la dentine, les signes de carences en vitamine D responsables du rachitisme. Le corps d'une vertèbre thoracique a également été sélectionné pour recueillir des informations concernant les derniers mois de vie.

La détection de mercure dans ces échantillons s'est faite selon un protocole en trois étapes minimisant le caractère invasif de l'étude : 1- détection par ED-XRF (Energy Dispersive X-ray Fluorescence), 2- quantification par CV-AAS (Cold Vapour-Atomic Absorption Spectrometry), 3- localisation dans la structure minérale par LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy).

Un épisode carenciel mineur survenu entre la naissance et six mois a été mis en évidence par μ TDM, mais sans rapport avec les déformations osseuses observées. En revanche, le spectre ED-XRF de l'échantillon osseux a révélé un pic de mercure, absent dans l'échantillon dentaire. L'analyse CV-AAS a montré une concentration élevée de mercure dans la vertèbre (9,373 mg/kg $\pm$ 10 %).

Cette étude archéométrique préliminaire a mis en évidence une concentration anormale de mercure dans

*Intervenant

la vertèbre suggérant une potentielle intoxication sévère ante mortem. Les potentielles sources de contamination (i.e. contexte socio-culturel rouennais aux XVIII-XIXe siècles, métallogénie des sols, facteurs environnementaux, usage du mercure dans les secteurs professionnels), ont pu être écartées, renforçant l'hypothèse d'un traitement mercuriel. SP5 pourrait constituer le premier cas documenté de traitement au mercure dans un contexte de carences vitaminiques. Cette étude de cas illustre également la pertinence de l'approche paléopharmacologique, permettant de confronter les données archéométriques avec les sources médico-historiques et de mieux comprendre les pratiques thérapeutiques de l'époque.

Mots-Clés : mercure, santé, carence en vitamine D, rachitisme, scorbut, paléopharmacologie, industrialisation, micro, CT, ED, XRF, CV, AAS

Session 2.4. Reproduire pour comprendre les gestes de la chaîne opératoire (axe transversal)

Communications orales

Goudrons antiques dans les Landes de Gascogne, au carrefour de l'archéologie, de la chimie et de l'expérimentation.

Arnaud Durlach * 1

¹ Institut de recherche sur l'architecture antique – Université de Pau et des Pays de l'Adour [UPPA],
Centre national de la recherche scientifique - CNRS (France) – France

Particulièrement dynamique ces deux dernières décennies, la recherche sur les goudrons archéologiques a permis d'attester leur production et leur usage dans l'ensemble du bassin méditerranéen, du Paléolithique récent jusqu'à nos jours. Dans les Landes de Gascogne, où des dizaines de sites gallo-romains de production de goudron de pin ont été prospectés ou mis au jour, nous ignorons encore les techniques de fabrication mobilisées par cet artisanat forestier, pourtant conséquent. En effet, malgré l'omniprésence de coulées de goudron, de tessons de grandes jarres et de cuiviers massifs, l'état de conservation des sites landais ne nous permet pas de saisir l'ensemble des processus de la chaîne opératoire qu'ils matérialisent. Est-il possible de fabriquer du goudron dans les grandes jarres landaises ? Avec quelle technique ? Avec du bois ? De la gemme ? Pour quel rendement ? À quelle étape de la production correspondent les coulées retrouvées sur les sites landais ? S'agit-il de déchets ? D'accidents ? D'une forme de stockage ? Comment et où ce goudron était-il transporté ? Depuis 2023, le projet pluridisciplinaire BIOGOUD, financé par la région Nouvelle-Aquitaine et dédié aux goudrons archéologiques, s'applique à répondre à ces nombreuses interrogations. Pour ce faire, de vastes expérimentations ont été mises en place à Hostens (33) lors des XI^e Tessonades, en collaboration avec Gwenolé Belbeoc'h et plusieurs associations locales. Elles ont été menées en parallèle de la fouille du site antique de production de goudron de Pissos « Claveyre » (40), qui a permis, pour la première fois, un échantillonnage systématique des tessons et coulées de goudron mis au jour, afin de comparer leur composition chimique, leur nature et leur couleur à ceux obtenus lors des productions expérimentales. Des analyses chimiques par GC-MS et FT-ICR-MS, menées aux laboratoires IPREM et IPREM-XYLOMAT sont venues épauler ces deux opérations, afin d'apporter un nouvel éclairage sur cette chaîne opératoire encore difficile à appréhender. Cette communication se propose d'effectuer un premier bilan des résultats expérimentaux, archéologiques et analytiques obtenus en 2024 par le projet BIOGOUD, de discuter des méthodes employées par chacune de ces approches, et d'évoquer les nouvelles perspectives de recherche sur les goudrons landais.

Mots-Clés : goudron, expérimentations, analyses, Landes, Antiquité, gallo, romain

*Intervenant

Déterminer l'impact économique, les contraintes techniques et les déchets caractéristiques du recyclage du fer par l'expérimentation

Remy Jeannot * ^{1,2,3}

¹ Institut national de recherches archéologiques préventives - Centre de recherches archéologiques de Dijon – INRAP – France

² IRAMAT - Laboratoire Métallurgies et Cultures – LMC IRAMAT UMR7065 CNRS – France

³ Laboratoire Chrono-environnement (UMR 6249) – UMR 6249 Chronoenvironnement – France

Le recyclage du fer en forge est une opération probablement largement mise en œuvre dès que le travail de ce matériau devient relativement commun, dans le courant des Âges du Fer. Il reste pourtant très difficile d'appréhender son rôle dans l'économie aux périodes anciennes : en effet, les techniques utilisées, les déchets qui en résultent, leur consommation en fer, en charbon de bois ou en temps de travail sont encore mal connus par l'archéologie. Plusieurs approches archéométriques récentes ont pu mettre en évidence la pratique du recyclage dans des contextes variés, que ce soit par l'étude de déchets ou de produits ; ces études laissent toutefois de nombreuses zones d'ombre qui ne pourront être mises en lumière que par la reproduction des gestes et des processus, dans une démarche d'archéologie expérimentale ou par l'observation ethnologique.

La création en 2023 de la plate-forme d'archéologie expérimentale *PlaTeX1* sur le site du théâtre antique d'*Epomanduodurum* (Mandeure, 25) a donné l'occasion de mener une première série d'expérimentations sur ces méthodes. Les expérimentations se sont attachées à répondre spécifiquement à des questions apparues lors de l'étude des activités sidérurgiques dans l'agglomération gallo-romaine : plusieurs types de recyclage (ré-agglomération d'éléments de petite taille pour composer une matière première plus importante) semblent en effet pouvoir y être reconnus, apportant de nombreuses interrogations, notamment sur leurs différences. De premières données chiffrées ont ainsi pu être acquises, complétées par un volet d'analyses métallographiques menées sur les produits et déchets de ces opérations dans le but de mettre en évidence les transformations occasionnées et les observations qui les caractérisent.

La communication proposée vise à présenter ces premiers résultats, en partant des témoignages archéologiques, pour détailler ensuite le protocole expérimental suivi et les données enregistrées. Il sera ainsi possible de discuter des démarches à mettre en œuvre pour poursuivre ces études : l'objectif est en effet aujourd'hui de reprendre ces expérimentations de manière plus systématiques afin de pouvoir mieux comprendre l'influence de chaque paramètre encore incertain, et de là mieux comprendre l'adaptation des méthodes employées selon les contextes (accès aux matières premières, produits désirés, ...)

1 : PlaTeX : plateforme technologique expérimentale fixe d'appui à la recherche dédiée aux artisans anciens, développée par la MSHE – Ledoux (UAR 3124, Cnrs/Ufc), piloté par Valérie Pichot (IR Cnrs, MSHE). Le projet est soutenu dans sa phase d'amorçage (2023-2026) par la Région Bourgogne-Franche-Comté.

2 : Analyses menées au *Laboratoire Métallurgies et Cultures* (LMC), UMR7065 Iramat / Université

*Intervenant

de Technologie de Belfort-Montbéliard

Mots-Clés : recyclage, fer, metallographie, forge, siderurgie, scorie

Reconstituer les chaînes opératoires de la paléofromagerie, pour une meilleure compréhension du matériel archéologique et des résultats des analyses biomoléculaires de contenus (ORA).

Dominique Frere * ¹

¹ Université Bretagne Sud – CNRS : UMR9016, TEMOS CNRS 9016 – France

L'identification de transformation fromagère souffre de l'absence criante du principal sujet d'étude (le fromage lui-même qui ne se conserve pas) et de la difficulté d'identifier le matériel relatif à sa production, son stockage et sa conservation (ce que l'on peut appeler la « vaisselle laitière » ou la « vaisselle fromagère »). Les faisselles peuvent représenter des témoignages de production de fromage, mais d'une part il peut y avoir confusion fonctionnelle des passoires (céramiques perforées qui ne sont pas toutes des faisselles) et d'autre part, les faisselles étaient majoritairement en matériaux périssables (vannerie, bois) dont il ne reste rien. Les ORA (Organic Residue Analysis) permettent de repérer les biomarqueurs du lait mais sans possibilité de faire la distinction entre beurre, fromage ou lait fermenté (hormis dans quelques publications récentes, mais qui posent problème). La principale difficulté d'interprétation du matériel archéologique mais aussi des résultats des ORA résulte dans le fait qu'il ne faudrait pas parler d'archéologie du fromage mais d'archéologie des fromages. De la simple caillebotte (fromage lactique très frais et très humide) jusqu'aux fromages persillés (attestés dans le monde celtique) en passant par les fromages aromatisés et fumés (attestés par les textes romains), la diversité est grande avec un large panel de méthodes différentes et d'instruments techniques aussi simples que variés. Dans le cadre d'un programme de recherche financé par La Maison des Sciences de l'Homme de Bretagne et en collaboration avec des professionnels de la fromagerie, ont été expérimentées, durant plusieurs années et sur un rythme quasi-quotidien, des méthodes de technologie fromagère à partir de répliques céramiques de matériel archéologique gaulois et gallo-romain et des textes agronomiques latins. Un premier objectif vise à identifier et reproduire les signatures des modes de production pour retrouver les phases de fabrication de différents types de fromages antiques, un second objectif concerne la caractérisation des différents types de traces laissées sur les parois internes de la vaisselle par le petit-lait, le caillé et le fromage lors des phases répétées d'égouttage, de moulage et de conservation dans des contenants céramiques (selon les textes agronomiques latins). Cette phase de reconstitution expérimentale a été complétée dans un second temps par un accueil de 18 mois au Musée des Civilisations Européennes et Méditerranéennes de Marseille (Mucem), héritier du Musée des Arts et Traditions Populaires, pour l'étude technique des nombreux objets ethnologiques de la transformation fromagère (en céramique, bois et vannerie) et des missions ethnographiques en Italie péninsulaire, Sardaigne et Corse. L'approche ethnologique de la culture matérielle et des gestes et savoir-faire vernaculaires de productions fromagères ont permis de compléter les connaissances acquises par l'expérimentation.

Mots-Clés : Fromages antiques, archéologie expérimentale, tracéologie, céramologie, ORA, ethno-

*Intervenant

logie

Investigating the Late Stone Age Painting Technology Gestures : An Experimental Approach at Pomongwe Cave, Zimbabwe

Welcome Takunda Chigwende * ¹, Tammy Hodgskiss ¹, Camille Bourdier ², Stéphanie Touron

¹ University of the Witwatersrand [Johannesburg] – Afrique du Sud – chigwendetakunda@gmail.com, tammy.reynard@wits.ac.za

² University of Toulouse - Jean Jaurès – CNRS – France – camille.bourdier@univ-tlse2.fr, stephanie.touron@culture.gouv.fr

The stylistic diversity of southern African past hunter-gatherers' rock art (Later Stone Age – LSA) has been little considered since the 1980's, with a research focus on the meaning of the imagery and the ritual frameworks of its production. However a few studies have pointed out differences in bestiaries, techniques, formal conventions and compositions throughout the sub-continent. This research considers the variability of LSA rock art by investigating the painting technologies used by hunter-gatherer populations in the Matobo region of Zimbabwe, specifically at Pomongwe Cave. It addresses the issue of technical dynamics in the longue durée in this site where multiple rock painting episodes occurred between the end of the Pleistocene and the Early Holocene.

As part of the MATOBART program, our research seeks to identify, analyse, and reproduce the chaîne opératoire of paint production and application in LSA rock art. Indeed while the processing of colouring materials in the LSA of southern Africa has benefited from numerous studies over the last fifteen years, the characterization of paint recipes, and particularly of binders, as well as their application processes (tools and technical gestures) is still pending. In this matter our method integrates archaeological studies, ethnographic insights, and experimentations. The archaeological part included the typo-morphological characterisation of the rock paintings, their physio-chemical characterisation, and the technological study of artefacts with colouring materials unearthed during previous excavations.

From that first set of data, we decided to employ experimental archaeology to test potential paint recipes – notably binders - and application techniques. This presentation will address the method used to guide our experimental approach, driven by archaeological data and ethnographic insights. That ethnographic part incorporates archives and collections from recent San and Khoisan populations, but also unprecedented data from local communities about their traditional knowledge and practices of wall paintings. This research aims to create a comprehensive database of paint compositions and application techniques, serving as a valuable reference for future studies in rock art and experimental archaeology.

This presentation will include the first experimental tests held in October 2024. This hands-on experimentation allows us to simulate ancient practices of paint production by testing various combinations of pigments and binders. The results highlight the impact of binders on the colour, texture, brightness, and coverage properties of the paint; the visual adequacy between some paint recipes and some rock paintings, raising the potential use of some binders; the feasibility of use of the tested application tools, and the visual adequacy of lines produced by some with the rock paintings

*Intervenant

Mots-Clés : Experimental archaeology, rock art, Later Stone Age, paint production, Zimbabwe.

Session 2.4. Reproduire pour comprendre les gestes de la chaîne opératoire (axe transversal)

Posters

Nouvelles perspectives sur une technique de traitement mécanique des matières colorantes : référentiel tracéologique pour étudier l'abrasion des roches riches en oxydes de fer

Iris Querenet * ^{1,2}, Hélène Salomon ³, Giorgia Sardelli ^{4,5}

¹ University of Connecticut – États-Unis

² Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – UMR 5608 TRACES, UMR 5608 - TRACES – France

³ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Université Savoie Mont Blanc, CNRS -UMR 5204 EDYTEM – France

⁴ Environnements, Dynamiques et Territoires de Montagne – CNRS -UMR 5204 EDYTEM – France

⁵ Università degli Studi di Ferrara = University of Ferrara – Italie

Les matières colorantes, roches riches en oxydes et hydroxydes de fer, jouent un rôle significatif dans les contextes préhistoriques, notamment en raison de leur association avec les pratiques artistiques et de leur potentiel à refléter l'interaction passée entre les humains et leur environnement, leurs choix de ressources, ainsi que d'autres comportements sociaux plus larges.

Les actions techniques passées laissent des traces spécifiques qui dépendent de divers paramètres, tels que les propriétés intrinsèques des roches, les gestes réalisés, les outils employés et l'intensité des actions. Ces stigmates sont particulièrement visibles sur les matières colorantes, fréquemment décrites comme des « crayons » en raison des facettes planes produites par l'abrasion. L'omniprésence de ces facettes dans les contextes archéologiques souligne la nécessité d'étudier leur nature et leur formation.

Pour ces recherches, une approche qualitatif-quantitative a permis d'analyser le comportement des matières colorantes lors de l'abrasion et de mieux comprendre les relations entre la matière première, les outils de transformation et les traces d'usure générées. Cette communication présente les résultats d'une nouvelle collection de référence expérimentale qui enrichit les données tracéologiques et met en évidence l'importance de caractériser précisément les propriétés des matières colorantes. Ces propriétés intrinsèques influencent fortement la formation et l'apparence des stigmates, rendant leur analyse indispensable pour interpréter correctement les gestes techniques passés.

Cette étude contribue à affiner les cadres d'analyse des matières colorantes en archéologie et ouvre de nouvelles perspectives pour l'exploration des techniques de transformation, notamment par le biais d'approches expérimentales. Elle met également en lumière le potentiel de la tracéologie pour mieux comprendre les chaînes opératoires associées à ces matériaux.

Mots-Clés : Archéologie expérimentale, chaîne opératoire, roches ferrugineuses, abrasion

*Intervenant

Replicating ancient alloys and corrosion patinas : understanding manufacturing techniques and corrosion processes for conservation, restoration and educational applications

Camilla Criaco * ¹, Roberto Spotorno ¹, Davide Delfino ^{2,3,4}, Paolo Piccardo^{† 1,5}

¹ Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale-Università di Genova – Italie

² Museo Archeologico Nazionale di Campobasso – Italie

³ Parco Archeologico di Sepino – Italie

⁴ Direzione Regionale Musei Molise- Campobasso – Italie

⁵ Université de Bordeaux – Archéosciences Bordeaux UMR 6034 – France

The reproduction of faithful replicas of the original can be a valuable ally for an in-depth study of metallic materials of archaeological origin. Replicas can assist various professionals, including conservation scientists, chemists, and material scientists, in providing a more thorough interpretation and material study of the chaîne opératoire behind producing these objects. Moreover, they can be an essential tool for those working in museums and exhibitions, responsible for ensuring preservation, assessing potential restoration protocols, and creating inclusive and educational museological displays. This implies best practices that include interactivity through workshops, allowing direct interaction with the replica to simulate the original and explaining all the manufacturing processes leading to the final product, be it a statue, a tool, a weapon, etc. Reaching the finished product involves the study of the original material, including compositional chemical analyses and metallographic observations to understand how the material behaved under certain conditions, such as processing or heat treatments. Macroscopic observation and, subsequently, compositional analyses of corrosion patinas can also aid in the reproduction of objects, helping to draft an optimal protocol for conservation and potential restoration by understanding the material with which external agents might interact. This research context includes the study of 23 votive statuettes of Hercules, housed in the National Archaeological Museum of Campobasso (Italy) and dated between the 5th and 2nd centuries BC. These idols, venerated by the Samnites, an ancient Italic people who inhabited Samnium from the 8th century BC to the 1st century AD, testify to the prevailing votive cult during that period among Italic populations. After an in-depth compositional study of the alloys, first in situ and then at the Metallurgy Laboratories in the Department of Chemistry and Industrial Chemistry at the University of Genoa, carried out by the M.E.T.A.L. group following material sampling, metallographic analysis was performed, followed by compositional analysis of the patinas using Raman spectroscopy. The reproduction phase was then initiated, starting from the original models preserved at the museum, at the Pontificia Fonderia Marinelli, based in Agnone (Campobasso, Italy). This allowed a deeper understanding of the manufacturing techniques, the behavior of the studied alloys, and the use of carefully designed molds, leading to the final object. Moreover, it enabled the laboratory reproduction of corrosion patinas observed and analyzed macroscopically on the replicas, in a small experimental reactor simulating the reaction conditions of the original deposition environment, to replicate the observed patinas. This experimentation phase was also achieved through the study and analysis of sediments taken

*Intervenant

[†] Auteur correspondant : paolo.piccardo@unige.it

from local original materials, comparing them with the chemical and geological composition of the Molise region. All these research and experimentation processes are fundamental because metals are solid-state memories of the past, and following these steps, we gain an increasingly clear vision of how ancient artisans worked, allowing us to draft optimal conservation and restoration protocols.

Mots-Clés : bronze, reproduction, metallurgy, casting, corrosion, votive statuettes, italic archaeology

Analyse quantitative et spatiale des résidus de combustion issus de torches expérimentales : application aux grottes ornées paléolithiques.

Catherine Ferrier * ¹, Gaëlle Rousseau ¹, Jean Leblanc ², Iñaki Intxaurbe ³, M^a Ángeles Medina-Alcaide ⁴

¹ Université de Bordeaux – Université de Bordeaux, UMR CNRS 5199 PACEA, Bâtiment B2, Allée Geoffroy Saint Hilaire, 33600 Pessac cedex, France – France – catherine.ferrier@u-bordeaux.fr

² Université Toulouse Jean Jaurès – Université Toulouse Jean Jaurès, UMR CNRS 5608 TRACES, Maison de la Recherche, 5, allées Antonio Machado, F 31058 Toulouse cedex, France – France

³ Universidad de Cantabria, Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria (IIIPC). Avenida de los Castros s/n. 39005 Santander – Espagne

⁴ Université de Bordeaux – Université de Bordeaux, UMR CNRS 5199 PACEA, Bâtiment B2, Allée Geoffroy Saint Hilaire, 33600 Pessac cedex, France, Universidad de Córdoba, Département d'Histoire (Préhistoire), HUM-781, 14071, Córdoba, Espagne. – France

Les populations paléolithiques ont développé une diversité de systèmes d'éclairage pour fréquenter les grottes profondes, principalement des torches en bois, des lampes en pierre alimentées par de la graisse animale et des feux fixes. Les torches ont probablement reçu le moins d'attention en archéologie préhistorique, et il existe peu d'analyses systématiques de leur fonctionnement et de ce qu'il en reste dans les registres archéologiques. Dans le cadre de la 25^{ème} édition du GMPCA, nous présenterons sous forme de poster les résultats du mémoire de Master 2 (Master ASA, Université de Bordeaux) de Gaëlle Rousseau, qui s'inscrivent dans le cadre du programme MSCActions A-LIGHT (dirigé par M. Medina à l'UMR 5199 PACEA). L'objectif de ce travail a été de quantifier les résidus carbonisés générés par des torches expérimentales réalisées sur la base de données archéologiques et d'en étudier par SIG la dispersion dans un parcours souterrain donné. Cette recherche a notamment mis en évidence le fait que la plupart des charbons se dépose lorsque la flamme est ravivée (quel que soit le type de mouchage : frottement sur la paroi, agitation dynamique) et que la majorité a une taille inférieure à 0,5 cm. Ils constituent des accumulations dont l'extension dépend du geste effectué. Des charbons de petite taille sont également disséminés lors du cheminement.

Cette étude permet de mieux comprendre la position et la taille des charbons de bois trouvés dans les contextes archéologiques ainsi que l'importance de l'approche taphonomique. Ainsi, les données issues de l'approche expérimentale ont été comparées, de manière préliminaire, à la répartition spatiale des charbons retrouvés dans les grottes ornées paléolithiques de Navarro (Andalousie, Espagne) et d'Altzerri (Pays basque, Espagne).

En outre, des données ont été acquises sur la fabrication et la gestion optimale des torches, sur la durée de leur combustion ainsi que sur leur potentiel lumineux.

Mots-Clés : Charbon de bois, « Mouchage », Grotte paléolithique, SIG, Archéologie expérimentale.

*Intervenant

Modélisation thermique par éléments finis d'un abattage au feu dans une galerie de mine

Florence Maqueda ^{*† 1,2}, Nicolas Florsch ¹, Florian Téreygeol ²

¹ Unité de modélisation mathématique et informatique des systèmes complexes [Bondy] (UMMISCO) – Sorbonne Université – IRD France Nord - 32 avenue Henri Varagnat - 93143 Bondy cedex, France

² IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (IRAMAT-LAPA) – Institut de Recherche sur les Archéomatériaux, CEA, DRF, IRAMIS, NIMBE, UMR 3685, CNRS, Université Paris-Saclay, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – Site CEA de Saclay - bâtiment 637 - 91191 Gif-sur-Yvette cedex, France

L'abattage au feu est une technique d'extraction du minerai utilisée depuis la protohistoire jusqu'au XX^e siècle. Avec l'abattage à l'outil qui souvent la complète, elle fait partie des deux modes d'extraction en mine jusqu'à l'introduction de la poudre en mine au XVII^e siècle. Si pour l'abattage à l'outil, des sources indiquent la vitesse d'avancement journalier des mineurs, elles sont plus floues pour l'abattage au feu. Cette vitesse dépend de la nature de la roche, mais aussi de la quantité de bois utilisée et de la géométrie du front de taille.

Les expérimentations archéologiques menées depuis les années 80 sur l'abattage au feu ont permis de mieux appréhender les phénomènes en jeu (Timberlake, 1990). La quantité de bois nécessaire ou la masse de roche abattue au feu ont pu être évaluées. Les essais réalisés en mine ont aussi mis en lumière l'importance du temps de refroidissement de la galerie sur l'organisation du travail en mine (Téreygeol, 2000). La température y est telle qu'il est impossible pour les mineurs de s'approcher du front de taille pendant plusieurs heures après la fin du feu. La diffusivité thermique de la roche induit un long temps de refroidissement. Les feux successifs augmentent alors ce temps. Ces considérations rejoignent celles liées non seulement à la question technique de l'extraction, à son environnement mais aussi au modèle économique d'une exploitation minière. Mais la mesure *in vivo* de ces données demande un fort investissement technique et humain. L'expérimentation numérique rend ici tout son sens.

Les modélisations d'un abattage au feu et de son refroidissement ont été réalisées en prenant l'exemple du percement d'une galerie. La modélisation est multiphysique. Dans la roche le transfert thermique est purement conducteur tandis que dans l'air la convection est prépondérante. Ainsi les équations décrivant le modèle sont celles de Navier-Stokes auxquelles sont ajoutés un modèle de viscosité $k-\epsilon$ et l'équation de chaleur. Pour résoudre ce modèle multiphysique avec une forte interaction entre les milieux, la modélisation par éléments finis a été choisie et réalisée sur le logiciel Elmer FEM (Malinen, Råback, 2013). Un flux thermique équivalent à celui d'un feu est appliqué sur la paroi du front de taille de façon périodique afin de simuler les abattages au feu successifs. Une étude paramétrique fournit alors les temps de refroidissement pour différents contextes en fonction de la nature de la roche, de la géométrie de la galerie, des structures d'aérage de la mine et de la masse de bois employée.

MALINEN, M., RÅBACK, P., 2013 : Elmer finite element solver for multiphysics and multiscale problems. In book : Multiscale Modelling Methods for Applications in Material Science, 101-113.

TEREYGEOL, F., 2000 : L'abattage au feu : étude des variations de température et de la nature des

*Intervenant

†Auteur correspondant : florence.maqueda@cea.fr

roches lors d'une attaque au feu. In : Actes des Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, 531-544. Antibes.

TIMBERLAKE, S., 1990 : Firesetting and Primitive Mining Experiment, Cwmystwyth, 1989. In : Early Mining in the British Isle, 53-54. Plas Tan y Bwlch.

Mots-Clés : abattage au feu, simulation numérique, éléments finis, multiphysique, étude thermique

Nouvelles données expérimentales sur l'usage et la fonction des feuilles de laurier solutréennes

Julie Bachellerie * ^{1,2}, Émilie Claud ^{3,4}, Sandrine Costamagno ⁵, Benjamin Duployer ⁶, Eloane Geffray ², Raphaël Laloo ⁶, Miriam Mesa Saborido ⁷, Caroline Renard ², Patrick Schmidt ^{8,9}, Marie-Cécile Soulier ², Christophe Tenailleau ¹⁰, Viviane Turq ¹¹, Jérémie Vosges ¹²

¹ UNIARQ – Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa – Portugal

² Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – Université Toulouse Jean Jaurès, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

³ De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie – Centre national de la recherche scientifique - CNRS (France) – France

⁴ Institut national de recherches archéologiques préventives – INRAP – France

⁵ Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés – Université Toulouse Jean Jaurès, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

⁶ Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux-CIRIMAT – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université Paul Sabatier - Toulouse III, Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT – France

⁷ Université de Cadix – Espagne

⁸ Department of Geosciences, Applied Mineralogy, Eberhard Karls Universität Tübingen ; Department of Prehistory and Quaternary Ecology, Eberhard Karls Universität Tübingen – Allemagne

⁹ Department of Prehistory and Quaternary Ecology, Eberhard Karls Universität Tübingen – Allemagne

¹⁰ Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux-CIRIMAT – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université Paul Sabatier - Toulouse III, Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT – France

¹¹ Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux-CIRIMAT – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université Paul Sabatier - Toulouse III, Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT – France

¹² Environnements et sociétés de l'Orient ancien - Paléorient – Université Lumière - Lyon 2, Centre National de la Recherche Scientifique – France

La feuille de laurier, outil emblématique du Solutréen ayant permis la reconnaissance et la caractérisation de cette tradition technique, témoigne de modalités de productions complexes dont le ou les objectifs ne sont pas encore clairement caractérisés. Leur chaîne opératoire de production très investie techno-économiquement peut en effet inclure l'ajout de techniques innovantes telle que le traitement thermique du silex. Ce procédé, bien que spécifiquement employé sur ce type d'outils dans le contexte du Solutréen français, ne concerne qu'une très faible proportion de pointes lithiques dans les assemblages du nord de l'Aquitaine. Les contraintes supplémentaires et le risque d'échec important lié à l'ajout d'une étape de traitement thermique conduisent à questionner les bénéfices recherchés dans la mise en œuvre de ce procédé technique.

Les feuilles de laurier présentent par ailleurs une variabilité dimensionnelle qui, selon le paradigme dominant, serait liée à des différences fonctionnelles (pointe de projectile, couteau de boucherie, objet à vocation identitaire). Les exemplaires de moyennes dimensions seraient plutôt utilisés en découpe dans

*Intervenant

le traitement des carcasses. Néanmoins rares sont les études ayant permis d'objectiver ou de quantifier ces attributions fonctionnelles (Banks, 2004 ; Jacquier et al., 2020 ; Claud et Mesa, à paraître).

Afin de tester l'efficacité des feuilles de laurier de moyennes dimensions dans le traitement des carcasses (prélèvement des peaux et acquisition de denrée carnée) et l'hypothèse d'une amélioration fonctionnelle des bords tranchants des pointes foliacées traitées thermiquement, une expérience a été réalisée à l'automne 2023 dans le cadre d'un Projet de Fonds d'Amorçage (TRACES, sur fonds propres ; Bachellerie et Renard coord.) combiné au Défi Clé Sciences du passé « OccitAnimaux » (S. Costamagno coord.). Cette expérience impliquait le traitement d'une carcasse de cerf à partir d'un corpus de feuilles de laurier traitées et non traitées thermiquement. Outre l'acquisition de nouveaux référentiels expérimentaux lithiques et osseux, cette expérience a permis l'acquisition de nouvelles données empiriques et tracéologiques sur le potentiel bénéfique du traitement thermique dans le cadre d'activités de boucherie.

Ces résultats nous ont également incités à la mise en place d'un projet de recherche, le Défi-clé Sciences du Passé « FoliaS » (J. Bachellerie coord.), impliquant une équipe interdisciplinaire combinant l'archéologie préhistorique et les sciences des matériaux. L'un des objectifs de ce projet est ainsi de mettre en œuvre des expériences et analyses complémentaires visant à caractériser et quantifier l'efficacité des tranchants des feuilles de laurier (microtomographie de RX, mesure du pouvoir tranchant). À travers plusieurs axes de recherches, l'objectif est ainsi d'acquérir de nouvelles données archéologiques et expérimentales relatives à l'outillage lithique solutréen, mais également de mettre à l'épreuve l'association de méthodes novatrices.

Mots-Clés : Référentiels actualistes, Étude fonctionnelle, traitement thermique, microtomographie RX, Pouvoir tranchant, Activités de boucherie

Experimental reference database for the technological study of Copper Age vessels from the Carpathian Basin

Eszter Solnay ^{*† 1,2,3}, Zita Hrabák ^{4,5}, Antony Borel ^{6,7}, Zsuzsanna Siklósi ¹

¹ MTA-ELTE Lendület “Momentum” Innovation Research Group, Institute of Archaeological Sciences, ELTE Eötvös Loránd University – Hongrie

² École doctorale d’archéologie ED 112 – Université Paris I - Panthéon-Sorbonne – France

³ UMR8215 – Trajectoires – UMR8215 – Trajectoires – France

⁴ Hungarian National Museum – Hongrie

⁵ University of Szeged, Doctoral School of History – Hongrie

⁶ Histoire Naturelle de l’Homme Préhistorique, HNHP-UMR 7194 (MNHN, CNRS, UPVD), Alliance Sorbonne Université, Département Homme et Environnement – Muséum National d’Histoire Naturelle (MNHN) – France

⁷ Institute of Archaeological Sciences, ELTE Eötvös Loránd University – Hongrie

The forming sequences and surface treatment techniques are essential steps of the pottery vessel fabrication process because these refer to various social, cultural, or individual aspects of the potters and the communities, such as the long-term trajectories of embedded traditions, customs, fashions, or practicality. These steps of the *chaîne opératoire* can be studied at diverse scales from macro- to microscopic analysis. However, the examination of archaeological vessels has to be supported by experimental studies as in these cases not only the final product (i.e. the vessel) but also the process of pottery making can be well documented. This demonstrates the connection between the observed macro- or microtraces and the presumed techniques.

In recent years, we have carried out numerous technological studies to identify the forming and surface treatment techniques in the Early and Middle Copper Age Carpathian Basin (4500–3700 cal BC), which had never been studied before from this aspect. Several different techniques could be detected some of which are well known in the international ethnoarchaeological literature (such as bottom-up coiling technique or moulding), but numerous techniques are previously unknown or poorly documented (for example reverse coiling technique or slab technique). The lack of ethnographic and experimental references that clearly define characteristic macro- and microtraces of these techniques makes it very difficult to describe these techniques and to separate them from the other, well-known techniques (such as the difference between the different methods of coiling or slab techniques). However, recognising technical differences is essential to outline the different trajectories of the transmission of technical knowledge in these communities.

Therefore, our aim was to create an experimental reference database to define and separate the different ways of doing. We have prepared several experimental series focusing on various forming and surface treatment techniques that could be compared with the archaeological material. This was followed by the macro- and microscopic examination of the archaeological and experimental samples. The microscopic analysis was carried out with a confocal laser scanning microscope to quantitatively compare different pottery surfaces in addition to the qualitative observations. Therefore, the establishment of an experimental reference database and the use of a multiscalar analytical process enables us to characterise

*Intervenant

†Auteur correspondant : Eszter.Solnay@etu.univ-paris1.fr

significant differences in the *chaîne opératoire* of pottery vessels that imply social, cultural, or individual differences between the potters. The results thus make a major contribution to understanding these prehistoric communities.

Mots-Clés : multiscale approach, confocal laser scanning microscopic analysis, macroscopic analysis, experimental collection, pottery fabrication process

Rythmes d'exploitation des mines par abattage par le feu, déduits de l'évaluation des distances de progression

Celine Tomczyk ^{*† 1}, Christophe Petit ^{* ‡ 2}

¹ IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération – CNRS – France

² Archéologies et Sciences de l'Antiquité – Université Paris I - Panthéon-Sorbonne, CNRS : UMR7041, Université Paris X - Paris Ouest Nanterre La Défense – France

Il est souvent supposé que l'exploitation minière du cuivre constituait au Chalcolithique une activité accessoire, pratiquée principalement lorsque les besoins liés à l'agropastoralisme étaient faibles, soit de la fin de l'automne au printemps. Cette activité serait devenue au cours de l'âge du Bronze, une activité pérenne se déroulant tout au long de l'année.

Ces modèles, basés sur des hypothèses qui paraissent logiques (plus de matériel extrait nécessitant une exploitation plus longue dans l'année) ne sont cependant étayés par aucune donnée archéologique pertinente. Par exemple, certains chercheurs interprètent la présence d'outils de mineurs dans les tombes comme une indication d'une pratique minière annuelle, tandis que d'autres tentent de déduire la régularité de l'exploitation en étudiant la durabilité des structures d'ateliers, notamment la reconstruction saisonnière ou permanente de simples abris de travail.

Nous proposons d'aborder cette question des rythmes d'exploitation suivant un autre angle d'approche : c'est-à-dire en quantifiant le temps nécessaire au creusement des mines par abattage par le feu. Les données expérimentales montrent que cette technique, consistant à allumer des brasiers pour fragiliser la roche, ne permet de progresser que d'environ 1,1 cm par feu. Aussi, en souterrain, les brasiers doivent être espacés de deux jours pour permettre à la température de redescendre et aux fumées de se dissiper.

Nous avons rassemblé un corpus de 49 mines de cuivre souterraines pour lesquelles la datation et le volume ont été précisément documentés (Tomczyk, 2024). Ces mines sont réparties dans l'ensemble de l'Europe de l'Ouest et datées entre 5000 et 500 avant notre ère.

Nos résultats montrent que seules trois d'entre elles pourraient avoir fait l'objet d'une exploitation annuelle. Bien que rentrant dans la composition de la majorité des artefacts en circulation, l'exploitation minière du cuivre n'occuperait les populations, encore très fortement agro-pastorales que 1 à 3 mois dans l'année. De plus, à une échelle pluriannuelle, l'exploitation pourraient être intermittente, interrompue par de longues périodes d'inactivité.

Référence : Tomczyk, C., 2024. De l'exploitation des minerais non ferreux aux productions métalliques de la fin du Néolithique au 1er âge du Fer en Europe : formation et caractérisation des réseaux d'échange (thèse de doctorat). Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris.

Mots-Clés : mines, saisonnalité, protohistoire, Europe

*Intervenant

†Auteur correspondant : celine.tomczyk@univ-paris1.fr

‡Auteur correspondant : christophe.petit@univ-paris1.fr

Thème 3. Objets, matière, milieux externes ou souterrains : des outils innovants pour caractériser, imager et dater

Coordination : Anne BOCQUET-LIÉNARD, Carole NEHMÉ, Stoil CHAPKANSKI, Guillaume BLANCHET

Les études en archéométrie sont en constante évolution notamment de par les avancées technologiques et analytiques dont elles bénéficient. Les nouvelles méthodologies, techniques et l'amélioration des protocoles contribuent à augmenter les connaissances scientifiques sur notre patrimoine matériel et immatériel. Ce thème s'intéresse aux développements méthodologiques et aux instruments innovants mis en œuvre pour l'étude des contextes et des artefacts archéologiques, sur site ou en laboratoire. Il réunira des contributions portant sur : (3.1) les méthodes géophysiques et de télédétection, (3.2.) les méthodes de photo- et lasergrammétrie appliquées en archéologie, (3.3.) les nouvelles instrumentations et techniques analytiques peu ou pas invasives pour documenter la matière et l'objet archéologique, (3.4.) les datations et traitement des données chronologiques en milieu extérieur et (3.5.) les approches géochronologiques et les marqueurs anthropiques en milieu souterrain.

Session 3.1. Méthodes géophysiques et de télédétection appliquées à la géoarchéologie : communications orales & posters

Session 3.2. Numérisations 3D et exploitations multiscalaires : communications orales & posters

Session 3.3. Approches nouvelles pour documenter la matière et l'objet archéologique : communications orales & posters

Session 3.4. Datations et traitement des données chronologiques en milieu extérieur : communications orales & posters

Session 3.5. Approches géochronologiques et marqueurs anthropiques en milieu souterrain : communications orales & posters

Keynote 3 :

Des géoarchéologues sur la piste des premiers hominines en Afrique australe. Méthodes et outils pour la recherche d'un nouveau morceau du berceau de l'humanité

Laurent Bruxelles¹,

¹ CNRS - TRACES, UMR 5608, Toulouse – France – Université du Witwatersrand, Johannesburg – Afrique du Sud – laurent.bruxelles@cnrs.fr

Au nord-est de l'Afrique du Sud, non loin de Johannesburg, l'UNESCO a baptisé une petite aire karstique « le berceau de l'Humanité ». Non pas parce que c'est là que l'on a trouvé les fossiles les plus anciens de notre lignée, mais plutôt en raison de la densité exceptionnelle de ces restes : plus d'un tiers de tous les fossiles d'hominines anciens découverts en Afrique y ont été retrouvés !

Une approche interdisciplinaire débutée en 2005 nous a permis de comprendre ces karsts et leur fonctionnement. Puis, les travaux sur les remplissages fossilifères ont fourni les premières clés permettant de répondre à des questions de mise en place des sédiments, de taphonomie des vestiges osseux mais aussi de proposer de nouvelles datations, en accord avec ces processus.

Les résultats de ces approches permettent désormais de mettre en parallèle l'évolution des fossiles d'hominines entre l'Afrique de l'Est et l'Afrique du Sud. Mais plus encore, ils ouvrent des perspectives de recherche inédites où chaque karst d'Afrique australe est susceptible de receler un morceau du berceau de l'Humanité. En se servant du modèle des grottes sud-africaines, nous avons mis en œuvre des méthodes et des outils pour découvrir ces sites fossilifères, parmi les milliers de grottes connues et inconnues qu'il reste à étudier dans cette vaste région.

Session 3.1. Méthodes géophysiques et de télédétection appliquées à la géoarchéologie

Communications orales

De l'intérêt immédiat pour les diagnostics (géo)archéologiques d'une cartographie géophysique : l'exemple de l'extension du port autonome de Dunkerque

Laurent Deschodt * ^{1,2}, Guillaume Hulin , François-Xavier Simon ,
Benjamin Fores ³, Gabrielle Sheehan , Mathieu Lançon ^{4,5}, Samuel
Desoutter ^{4,6}

¹ Institut national de recherches archéologiques préventives, centre archéologique de Villeneuve-d'Ascq –
Institut national de recherches archéologiques préventives – France

² Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels – Université Paris 1
Panthéon-Sorbonne, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12, Centre National de la
Recherche Scientifique, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12 : UMR8591, Centre
National de la Recherche Scientifique : UMR8591 – France

³ Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) – Institut national de recherches
archéologiques préventives – France

⁴ Institut de Recherches Historiques du Septentrion (IRHiS) - UMR 8529 (IRHiS) – Université de Lille,
Centre National de la Recherche Scientifique – Bâtiment A Niveau - 1 Rue du Barreau BP 60 149 59653
Villeneuve d'Ascq Cedex, France

⁵ Institut national de recherches archéologiques préventives - Centre de recherches archéologiques de
Villeneuve d'Ascq (Inrap, Villeneuve d'Ascq) – Institut national de recherches archéologiques
préventives – France

⁶ Institut national de recherches archéologiques préventives - Centre de recherches archéologiques de
Villeneuve d'Ascq (Inrap, Villeneuve d'Ascq) – INRAP Hauts de France – 11 rue des Champs, 59650
Villeneuve d'Ascq, France

Depuis 2015, les différentes campagnes de diagnostic archéologique sur l'agrandissement du port autonome de Dunkerque ont comporté un volet géophysique. Il s'agissait notamment de réaliser une cartographie extensive de la conductivité électrique des premiers mètres du sol par méthode électromagnétique basse-fréquence (EMI) dans l'optique de documenter le contexte morpho-sédimentaire de la plaine littorale. Aujourd'hui, nous totalisons 892 ha cartographiés en géophysique pour 1230 ha diagnostiqués dans un estuaire remblayé au cours du Moyen Âge. Notre retour d'expérience permet de souligner non seulement le caractère irremplaçable de la géophysique qui permet de replacer les études archéologiques et géoarchéologiques dans un milieu sédimentaire contrasté et complexe, mais aussi son intérêt pour guider et orienter le déroulé même du diagnostic.

Les cartographies de conductivité ont été réalisées autant que possible en amont des ouvertures à la pelle mécanique. Dès lors, les équipes de sondage connaissent en temps réel leur position dans l'entrelacs des traces de chenaux de marée, des zones à dominantes sableuses ou argileuses. Ceci implique qu'archéologues et géoarchéologues peuvent d'emblée se situer dans un contexte géographique passé (qui, à l'exception de quelques canaux de drainage principaux, n'a laissé aucune trace dans le paysage). Avec la double implication suivante :

- les archéologues peuvent se consacrer dès les premières ouvertures à la recherche de vestiges et aux

*Intervenant

problématiques archéologiques sans investir de manière disproportionnée temps et énergie dans la découverte d'un contexte sédimentaire et sa reconstruction (étapes qui seraient un préalable indispensable s'ils investigaient un terrain totalement inconnu) ;

- les géoarchéologues bénéficient dès la phase terrain d'une cartographie des premiers mètres de dépôt qu'il leur revient de qualifier en concentrant leurs investigations sur des zones cibles. À travers des sondages et transects, ils ajoutent un aspect qualitatif aux données spatiales pour aboutir dès le diagnostic à une vision globale du terrain.

En outre, dans le cas des diagnostics en milieu littoral, les cartographies ont été particulièrement utiles en révélant de longs doubles fossés interprétés comme traces d'endiguement et de grandes structures isolées ou en chapelet interprétées comme ombilics de rupture de digue ou « mares endiguées » (indétectables ou difficilement détectables en surface de par la similitude du remplissage et de leur taille).

La prise en compte des informations données par la géophysique permet de gagner en efficacité dans le cadre du diagnostic archéologique, et ce d'autant plus que la surface est vaste et le milieu concerné éventuellement complexe (littoraux, fonds de vallée...).

Mots-Clés : géophysique, diagnostic archéologique, géoarchéologie, méthodologie

Contribution des prospections géophysiques et géotechniques à l'étude géomorphologique de la motte de Nids à Tournoisis (45).

Amélie Laurent-Dehecq * ¹, Julien Thiesson ², Guillaume Hulin ³,
François-Xavier Simon ³

¹ Cités, Territoires, Environnement et Sociétés – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université de Tours – France – amelie.dehecq@univ-tours.fr

² Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols – Ecole Pratique des Hautes Etudes, Institut National des Sciences de l'Univers, Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique – Sorbonne Université, Case courrier 105, 4 place Jussieu, 75005 Paris – France – julien.thiesson@upmc.fr

³ Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) – France – guillaume.hulin@inrap.fr, francois-xavier.simon@inrap.fr

La motte de Nids à Tournoisis (45), au lieu-dit « le Château », fait l'objet d'une prospection thématique depuis 2022. Elle consiste à caractériser et dater cette plateforme et ses abords en couplant des études documentaires et de la morphologie parcellaire avec des prospections pédestres, géophysiques et géotechniques. Cette motte possède des dimensions importantes pour la région (5280 m² au sommet avec une hauteur conservée de 3 à 4 m) et est associée à un système fossoyé encore visible dans le paysage. Sa construction interpelle compte-tenu du volume de matériaux que cela a dû mobiliser. Ainsi, cette étude vise à répondre à un double objectif : l'analyse de la stratification de la butte (organisation spatiale, homogénéité) ainsi que sa relation avec la géologie sous-jacente (topographie du niveau de la craie).

Dans un premier temps, des cartographies par méthodes géophysiques (mesures de la différence verticale du champ magnétique terrestre, de la résistivité et de la conductivité électrique, ainsi que de la susceptibilité magnétique) ont été mises en œuvre au sommet de la motte et dans la parcelle cultivée aux alentours. Elles ont notamment mis en évidence un probable système de fossés / talus en bordure de la plateforme et un système d'enclos emboîtés en contrebas. Elles ont également permis le positionnement d'un ensemble de tomographies électriques (pseudo-profils de résistivité électrique) et de sondages pénétrométriques (mesures de résistance de pointe) dans un second temps.

L'examen des profils électriques révèle que la stratification de la plateforme est plutôt hétérogène alternant entre des matériaux de nature conductrice et plus résistante. Une différenciation nette entre le nord-est et le sud-ouest est présente laissant penser à un établissement de la motte en deux phases. Ces formations sédimentaires, interprétées comme des remblais, reposent sur le calcaire marneux connu dans le secteur. Le croisement des analyses montre des corrélations entre les mesures électriques et les propriétés mécaniques des ensembles sédimentaires composant ces remblais. Aussi, le toit de ce calcaire est bien identifiable dans les sondages pénétrométriques permettant de proposer une extrapolation à partir des sections inversées de la tomographie électrique. Ainsi, l'épaisseur de la stratification de la motte est estimée entre 3 et 5 m.

Les études menées sur ce site ont permis de répondre au double-objectif de départ et montrent l'intérêt de recourir au couplage de différentes méthodes géophysiques et géotechniques. En effet, les résultats exploités en 3 dimensions permettent ainsi de mieux appréhender le contexte géomorphologique de la motte et de ses abords : le toit du substrat calcaire a été détecté et des ensembles stratigraphiques ont

*Intervenant

été distingués au sein de la construction de la motte (remblais, creusements superficiels).

La méthodologie employée se révèle être également un véritable outil d'aide à la décision pour positionner stratégiquement des sondages archéologiques envisagés à partir de 2025. La fouille permettra alors un retour d'expériences sur les interprétations des mesures géophysiques et géotechniques ainsi que sur leurs échelles d'analyse (maillage et résolution).

Mots-Clés : géomorphologie, géophysique, géotechnique, motte

Imagerie LiDAR en forêt domaniale de Brotonne (Seine-Maritime) : mieux appréhender l'implantation et l'adaptation des sociétés anciennes à leur environnement et l'évolution des paysages sur le temps long.

Anaïs Musseau * 1,2,3,4

¹ Archéologies environnementales – France – anaïs.musseau@yahoo.fr

² Archéologies et Sciences de l'Antiquité – France

³ Labex Les passés dans le présent – France

⁴ Université Paris Nanterre - UFR Sciences sociales et administration – France

En Seine-Maritime, l'un des derniers grands méandres de la Seine en amont de son estuaire abrite la forêt domaniale de Brotonne qui s'étend sur 6750 hectares. À partir du XIX^e siècle, plusieurs sites archéologiques y sont repérés et fouillés, notamment des établissements agro-pastoraux antiques et une possible *mansio*. Entre 2010 et 2011, une couverture LiDAR est réalisée pour le GIP Seine-Aval puis traitée, pour ce secteur, par l'Office National des Forêts à la demande de la DRAC de Haute-Normandie. Les anomalies microtopographiques révélées par ces images désignent alors la forêt domaniale de Brotonne comme un terrain d'étude privilégié pour l'exploration des interactions entre les sociétés anciennes et leur environnement. La vectorisation et l'étude de ces anomalies au sein d'un Système d'Information Géographique permet en effet de mieux cartographier et interpréter les sites déjà connus, d'en découvrir de nouveaux et surtout de contextualiser ces occupations dans leur environnement en révélant notamment les réseaux viaires et parcellaires fossilisés sous le couvert forestier. La démarche n'est pas nouvelle, mais ces images offrent ainsi l'opportunité de mieux appréhender l'occupation et l'organisation de ces campagnes antiques ainsi que l'évolution des paysages sur le temps long.

En effet, si l'aménagement général de l'espace durant l'Antiquité peut ainsi être appréhendé, l'originalité réside dans l'étude approfondie de ces réseaux fossiles témoignant de la diversité des orientations et des formes et de phénomènes d'enchevêtrements, de disparitions et de créations de talus et de fossés au cours du temps. L'analyse fine des orientations et des recoupements de ces réseaux, possible en forêt de Brotonne, permet ainsi d'émettre des hypothèses sur le développement progressif des parcellaires et leur renouvellement. Plusieurs phases de structuration et d'aménagement du territoire peuvent ainsi être mises en évidence, en lien avec l'implantation des exploitations rurales antiques.

Cette démarche archéogéographique est par ailleurs enrichie de l'étude de données archéologiques, environnementales, hydrographiques, hydrogéologiques, géologiques ou encore topographiques permettant le développement d'une approche géohistorique complète du massif et d'étudier les processus qui ont affecté les implantations humaines (ressource en eau, topographie, réseaux viaires...). En parallèle, le résultat de récentes études paléoenvironnementales (datations et analyses polliniques notamment) menées sur le remplissage sédimentaire de plusieurs mares de la forêt de Brotonne apporte un éclairage complémentaire. Ces dernières, dont l'origine anthropique et au moins antique est désormais démontrée, renferment en effet de précieuses archives sédimentaires permettant de restituer l'évolution de l'environnement au sein de la boucle de Brotonne au cours des 2000 dernières années. C'est ainsi toute l'histoire de cet espace qui

*Intervenant

peut être restituée, du paysage agro-pastoral antique à la reconquête forestière bien effective autour du VII^e siècle, puis à l'occupation et à l'exploitation du massif jusqu'à nos jours.

Les recherches menées en forêt domaniale de Brotonne, s'attachant à la mémoire des milieux, visent ainsi à caractériser de manière fine l'évolution de l'environnement des sites archéologiques, à mieux comprendre les stratégies d'implantation et d'adaptation des sociétés anciennes à leur environnement et à mesurer précisément leur rôle dans la création et la transformation des formes du paysage.

Mots-Clés : LiDAR, archéogéographie, paléoenvironnement, réseaux viaires et parcellaires fossiles, mémoire des milieux.

Réflexions et développements autour des systèmes EMI multi-fréquences pour la cartographie des paléo-paysages.

Francois-Xavier Simon * ^{1,2}, Bela Spitalier ³

¹ Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) – Ministère de la Culture et de la Communication – France – francois-xavier.simon@inrap.fr

² Laboratoire Chrono-environnement (UMR 6249) (LCE) – Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Franche-Comté – 16, route de Gray - 25030 Besançon Cedex, France

³ Institut National de Recherches Archéologiques Préventives – Ministère de la Culture et de la Communication – France

Outre les systèmes électromagnétiques (EMI) multi-écartements (tels que le CMD Explorer ou CMD 6L de Gf Instruments), le GEM2, un système multi-fréquences développé par la société Geophex a été déployé lors des récentes études menées par l'Inrap. Sa profondeur d'investigation en conductivité électrique, d'environ 2,5 m, s'avère dans la plupart des cas suffisante pour rendre compte des variations de la proche surface intéressant le géoarchéologue. Alors que les systèmes de mesures multi-écartements permettent des mesures à plusieurs profondeurs et donc de réaliser des inversions de données pour restituer au mieux la géométrie des entités sédimentaires cartographiées, cette opportunité est encore peu exploitée du fait de la complexité des traitements appliqués et de l'incertitude des résultats obtenus. De fait, les résultats n'apportent que peu de plus-value aux observations réalisées dans les tranchées de sondage. En général, la cartographie à une seule profondeur, telle que fournie par le GEM2 renseigne donc suffisamment le géomorphologue pour comprendre les processus morpho-sédimentaires et présente potentiellement d'autres avantages. La mise en œuvre de ce système sur plusieurs opérations nous permet de proposer un regard critique sur le potentiel de ce dispositif. De prime abord, il est important de prendre en considération les difficultés instrumentales rencontrées, comme par exemple la dérive de l'instrument qui est exacerbée au plus hautes fréquences, ou encore les problèmes d'étalonnage. De même, le GEM2, de par l'existence d'une « bucking-coil » a tendance à réduire la dynamique de mesure sur les plus basses fréquences et d'accentuer le bruit en comparaison à un système classique (à double bobine). Néanmoins ces défauts sont compensés par sa capacité à réaliser des mesures à des fréquences assez hautes (de l'ordre de 90 kHz) ce qui a pour effet d'amplifier le signal en conductivité et de considérablement augmenter le rapport signal/bruit aussi bien en phase qu'en quadrature. Dans de rares cas, comme le montre l'étude des paléochenaux sur l'extension de la carrière de Marliens (21), une information en conductivité électrique peut être perçue en phase du fait d'un éloignement de l'hypothèse du faible nombre d'induction pour les plus hautes fréquences. L'analyse théorique de cette contribution suggère alors une cartographie de la conductivité électrique sur deux épaisseurs d'investigation différentes, (à l'approximation près d'une faible contribution de la susceptibilité magnétique et de la permittivité diélectrique). À travers plusieurs cas d'étude et des modélisations théoriques nous explorerons ces questions afin de cerner le potentiel et les limites des appareils multi-fréquences pour les études géoarchéologiques.

Mots-Clés : paléo, paysage, conductivité électrique, géoarchéologie, EMI, multi, fréquence

*Intervenant

Une approche géophysique globale pour éclairer l'histoire de l'abbaye de Jumièges (76)

Stephane Buttner * ^{1,2}, Armand Grout , Jean-Marc Valet , Colliou Christophe , Cécile Travers

¹ Centre d'études médiévales Auxerre (CEM) – CNRS : UMR6298 – 3, place du Coche d'Eau - 89000 Auxerre – France

² UMR 6298 Archéologie, Terre, Histoire, Société (UMR ArTeHiS) – CNRS : UMR6298 – Université de Bourgogne - 6 bd Gabriel - 21000 Dijon – France – armand.grout@geocarta.net, jean-marc.valet@geocarta.net, christophe.colliou@metascan.fr, c.travers@archeoverde.com

À l'initiative du Conseil départemental de la Seine-Maritime, propriétaire du site, une prospection géophysique à visée archéologique a été menée en 2023 sur le site de l'ancienne abbaye de Jumièges, fondée au milieu du VII^e siècle, ainsi que sur les anciens jardins attenants. Environ 15 ha ont été ainsi explorés en combinant plusieurs méthodes : la résistivité électrique – Automatic Resistivity Profiling (ARP), le magnétique – Automatic Magnetic Profiling (AMP), l'électromagnétique – Electromagnetic Profiling (EMP), le géoradar multi-antennes – Ground Penetrating Radar (GPR). L'ensemble des résultats a été particulièrement recalé dans un cadre géoréférencé précis, qui s'accompagne d'un relevé orthophotographique haute résolution, et de modèles numériques de terrain et d'élévation (MNT, MNE).

Ces prospections ont révélé de nombreuses anomalies géophysiques qui peuvent être interprétées à la lumière de plans datant du XVII^e siècle pour les plus anciens. Elles ouvrent également la voie à des fouilles archéologiques dans des zones peu ou mal documentées par l'iconographie ancienne, mais qui présentent néanmoins des anomalies géophysiques, certaines témoignant sans doute de l'évolution du site depuis sa fondation.

C'est notamment le cas des jardins, dont il semble que l'on puisse en reconstituer les anciennes dispositions : cheminement, zones de verger, etc.

Il en va de même pour la zone des bâtiments monastiques, qui conserve encore en élévation les vestiges des églises Notre-Dame (XI^e-XIII^e siècles) et Saint-Pierre (IX^e-XIV^e siècles), ainsi que les restes des bâtiments conventuels (XII^e siècle) organisés autour du cloître aujourd'hui disparu. Bien que la géophysique indique ici la disposition de certains bâtiments représentés sur une gravure du XVII^e siècle, elle révèle aussi la présence, dans les sols, de vestiges appartenant à des structures certainement plus anciennes. Si les anomalies permettent d'avancer quelques hypothèses, seule la fouille archéologique pourra en préciser la nature et permettra d'en établir une datation. C'est ainsi que l'église Saint-Pierre a fait l'objet d'une fouille exhaustive en 2023 et 2024, permettant de comparer les structures découvertes, jusqu'ici inconnues, aux résultats des prospections géophysiques, mais aussi de préciser et de mieux comprendre les apports et limites de ces dernières.

Mots-Clés : géophysique, résistivité électrique, magnétique, électromagnétique, géoradar, orthophotographie, modèle numérique, Moyen Âge, monastère, Jumièges, Normandie

*Intervenant

Session 3.1. Méthodes géophysiques et de télédétection appliquées à la géoarchéologie

Posters

Low cost and open source ground-penetrating radar to assist archaeological excavation in caves and complex stratigraphic environments

Alfredo Cortell-Nicolau ^{*} ^{1,2}, Simon Carrignon ^{2,3}, Mirel Păun ⁴, Catia Santos ⁵

¹ Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology – Allemagne –
alfredo_cortell_nicolau@eva.mpg.de

² McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge – Royaume-Uni –
s.carrignon@ucl.ac.uk

³ Department of Genetics, Evolution and Environment, University College London – Royaume-Uni
⁴ Maritime University of Constanta – Roumanie

⁵ Department of Engineering, University of Cambridge – Royaume-Uni

Excavating caves poses significant challenges. They are active geological entities resulting in very disturbed deposition processes and complex underground patterns. Buried accumulated large rock falls are commonly unseen by archaeologists until the trenches in specific sectors are started. Due to the difficulty to deal with these large rocks which, they can disrupt the archaeological excavation at different levels. From the loss of several work hours on their removal to the effective closing of the specific trench if removal is not feasible. In such settings, ground-penetrating radar (GPR) provides a valuable means of estimating underground density variations, thereby helping excavation decisions that could potentially save substantial time and resources. However, the widespread use of GPR has been limited due to the high cost of commercial systems, which starts at around 15 000€.

In this project, we aim to develop a low-cost, open-source GPR system that can assist archaeologists excavating accidented terrain. Our system is based on a pre-existing design called GPRino, developed by Dr. Mirel Paun from the Maritime University of Constanta. This solution combines an Arduino board coupled with an LCD screen and a specially designed system based on two PCB board to convert numeric signals and generate and receive radio waves between 300 and 900 MHz. Signals are sent and received through Vivaldi antennas, directly printed on PCB boards. Additionally, a Raspberry Pi Zero has been included to collect and pre-process data directly from the Arduino, allowing easy sharing and broadcasting of the output of the recording via Wi-Fi and SSH connections. The raw data is converted into a format compatible with the open-source package RGPR, allowing to easily process it further. This setup creates a functional and cost-effective tool capable of assisting archaeologists in choosing optimal excavation sites in challenging terrains.

A first prototype was built in collaboration with the Department of Engineering at the University of Cambridge and with the guidance of Dr. Mirel Paun. This presentation outlines the steps taken to develop the entire system and presents results of preliminary tests conducted in France and Spain. Although more in-situ experiment of this first prototype will be needed, and minor hardware adjustments will have to be made, we hope this presentation will demonstrate the feasibility of the project. We are convinced that our approach, by offering an easy to follow set of instructions that gather together readily available hardware and open-source software, will help accelerating the development of a low-cost GPR system

*Intervenant

and increasing the access to this technology to a wider scientific community.

Mots-Clés : ground, penetrating radar, cave archaeology, stratigraphy, open source

Qui veut acquérir un sixième sens pendant de la fouille ?

Francois Lévêque * ¹

¹ LIENSs UMR 7266 – CNRS, Université de La Rochelle – France

Lors d'une fouille, nos sens sont convoqués pour individualiser les différentes unités archéologiques. La vue permet d'identifier des changements de couleur ou de texture qui trahissent des variations de composition chimique, d'état d'oxydation des éléments ou encore minéralogiques. Le toucher et la résistance des matériaux, sous les doigts ou la truelle, apportent des indices sur la nature des matériaux et leur mode de mise en place. L'ouïe, par la propagation de l'onde de choc ou du bruit du raclement de la paroi, recueille des informations. L'odorat et le goût peuvent aussi être de précieux alliés pour identifier des milieux de chimie particulière. Tous nos sens nous permettent de percevoir des propriétés physico-chimiques des matériaux, mais une partie des propriétés du monde qui nous entoure nous reste inaccessible.

Les propriétés magnétiques des matériaux sont des indicateurs très sensibles qui permettent en particulier de retracer l'impact de processus physico-chimiques tels que celui du feu ou ceux de la pédogenèse. Le fer, en tant qu'accepteur d'électron, a un rôle majeur dans ces réactions d'oxydation de la matière organique, que ce soit à haute ou basse température. De la magnétique, le minéral naturel le plus magnétique, est néoformé sous forme de pigments nanométriques, donc invisible à l'œil.

Pour autant, nous ne disposons d'aucun sens pour percevoir les propriétés magnétiques du monde qui nous entoure. Le recours à une instrumentation robuste, adaptée aux conditions de terrain, et de coût modeste, permettrait à chacun d'acquérir ce sixième sens pour aborder les variations de concentration en minéraux fortement magnétiques, telle la magnétite.

L'intérêt de la réalisation de mesures de susceptibilité magnétique et de viscosité magnétique pour établir des limites d'unités est montré au travers de plusieurs études de cas. Au-delà de la simple aide à la décision que cela peut amener, de telles mesures apportent en temps réel des indices pour comprendre la genèse des unités stratigraphiques.

Contrairement au susceptibilimètre, un viscosimètre magnétique, instrument de mesure de la viscosité magnétique, ne détecte que les minéraux magnétiques, telle que la magnétite. Par contre, il ne détecte que les grains de très petite taille, dits superparamagnétiques. Si une telle phase est présente, alors un viscosimètre magnétique sera très discriminant pour déterminer sa concentration puisque la mesure sera indépendante de la nature de la matrice. Cette matrice est « transparente » du point de vue de la viscosité magnétique, de manière analogue au verre qui laisse passer la lumière. Pour la susceptibilité magnétique, seules les valeurs élevées sont très significatives puisque quelle que soit la nature des matériaux, chaque minéral possède une valeur de susceptibilité magnétique, mais les minéraux dits, ferrimagnétiques (magnétite, maghémite, greigite) présentent des valeurs suffisamment fortes pour être discriminantes.

Venez voir les études réalisées avec des instruments non conçus pour une utilisation quotidienne sur un chantier archéologique. Je propose de développer un instrument robuste adapté aux conditions journalières de la fouille avec le support technique des instances nationales. Vous souhaitez acquérir un sixième sens magnétique ? Manifestez votre intérêt pour que ce projet puisse aboutir.

*Intervenant

Mots-Clés : mesure de terrain, propriétés magnétiques, susceptibilité, viscosimètre magnétique

Prospection géomagnétique en 3D, Inversion par recuit simulé et Épaves en domaine littoral

Yu Liu ^{† 1}, François Lévêque ¹, Olivia Hulot ^{2,3}

¹ Littoral ENvironnement et Sociétés - UMR 7266 – CNRS, Université de La Rochelle – France

² DRASSM – Ministère de la culture – France

³ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – UMR 6566 – CNRS, Université de Rennes – France

La prospection géomagnétique est depuis longtemps un outil important de la géophysique appliqué à l'archéologie. Elle s'appuie traditionnellement sur la cartographie du champ magnétique en 2D pour détecter et localiser des structures ou des objets enfouis. Avec la prospection géomagnétique en 3D, une reconstruction plus détaillée et plus précise des sources enfouies peut être obtenue. Pour cela, nous utilisons une technique d'inversion basée sur le recuit simulé appliquée aux données géomagnétiques 3D. Deux études de cas en contexte littoral sont présentées. Elles concernent deux épaves de navires enfouies sur les plages de Sables-d'Or-les-pins (Fréhel, Côtes-d'Armor) et de Trez Rouz (Camaret-sur mer, Finistère). La prospection géomagnétique 2D fournit des données précieuses en surface mais elle présente des ambiguïtés quant à la détermination de la profondeur ou de la géométrie de la source d'une anomalie. En introduisant la variation verticale du champ géomagnétique au-dessus de la source, il est possible de contraindre les reconstitutions et ainsi d'améliorer la détermination de la forme et la profondeur des objets enfouis. Nous proposons une méthode d'inversion magnétique 3D, pilotée par un algorithme de recuit simulé, pour déterminer la géométrie de la source, ainsi que sa profondeur, en reproduisant les anomalies géomagnétiques produites par les épaves enfouies. L'objectif de cette inversion est de fournir aux archéologues des indications leur permettant d'identifier le potentiel d'une épave et une prédiction de la profondeur des vestiges.

Le recuit simulé est une technique d'ajustement progressif de fonctions multiparamétriques. Elle a été choisie pour sa capacité à rechercher des solutions complexes et multidimensionnelles explorant toutes les variations possibles. Cette méthode réduit le risque d'être piégé dans une solution locale, dit minima locaux, qui ne représente pas la solution optimum. L'approche probabiliste permet de converger vers la meilleure solution de manière itérative. L'algorithme augmente progressivement la résolution spatiale de la morphologie de la source. Cette amélioration consiste à découper l'objet en morceaux ayant les mêmes caractéristiques physiques afin de décrire la structure plus précisément, et de simuler des sources aux formes complexes.

La démarche consiste à minimiser la différence entre le champ magnétique généré par un modèle prédictif et les données géomagnétiques observées. Un raffinement itératif utilisant le recuit simulé produit des modèles détaillés des épaves enfouies. La confrontation entre les formes obtenues et la géométrie ainsi que la localisation des épaves observée à la fouille permet d'évaluer la robustesse de l'algorithme. L'inversion des données géomagnétiques acquises en 3D diminue considérablement l'incertitude associée à la profondeur de la source par rapport à l'approche conventionnelle de la cartographie 2D. La morphologie, obtenue de manière non invasive, apporte des indications sur la nature des objets enfouis ainsi que sur leur état de conservation, permettant d'évaluer l'intérêt de la mise en œuvre d'investigations invasives. Ainsi, l'application de la prospection géomagnétique 3D à l'archéologie du littoral, combinée à

[†]Intervenant

l'inversion des données par recuit simulé, représente un futur possible pour rechercher et évaluer l'intérêt, voire définir les moyens techniques à mettre en œuvre pour une éventuelle fouille de vestiges enfouis dont la pérennité est remise en question à chaque nouvelle tempête, dans le contexte de remontée du niveau marin et d'intensification des événements extrêmes.

Mots-Clés : Géophysique appliquée à l'archéologie, prospection géomagnétique, modélisation des épaves, prospection en 3D, analyse spatiale, inversion géophysique 3D, recuit simulé

Potentiel des méthodes de prospection géomagnétique et électromagnétique pour la recherche d'épaves de bateau sur les estrans sableux.

Audrey Tempère ^{*} ¹, Vivien Mathé ¹, Olivia Hulot ^{2,3}, Alexis Rochat ², François Lévêque ¹

¹ LIENSs – UMR 7266 LIENSs, CNRS/La Rochelle Université, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France. – France – audrey.tempere@univ-lr.fr, francois.leveque@univ-lr.fr

² DRASSM – Ministère de la culture – France

³ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – UMR 6566 – CNRS, Université de Rennes – France

Les estrans abritent de nombreux vestiges archéologiques, particulièrement les restes de navires naufragés. Le temps d'investigation pour leur recherche est contraint par la durée de la marée basse. Ces environnements sont aujourd'hui menacés par l'érosion. Il y a donc urgence à identifier des méthodes d'investigation rapide et facile à mettre en œuvre, le temps d'une marée, pour permettre la localisation d'épaves et leur étude avant que leur structure ne soit démantelée et dispersée par une tempête. Les méthodes d'imagerie géophysique ne nécessitant pas de contact, déjà éprouvées en milieu continental, répondent à ce cahier des charges. De vastes étendues sableuses découvertes à marée basse peuvent être prospectées le temps d'une marée. Les environnements salins ont une conductivité électrique élevée qui impacte les mesures des méthodes électromagnétiques, pouvant potentiellement les mettre en défaut. Pour la méthode géomagnétique, l'incertitude concerne l'existence de sources magnétiques associées aux épaves. En effet, la corrosion du fer métal en milieu salin engendre une atténuation du signal magnétique des objets ferreux. À titre de test, des prospections ont été réalisées sur des épaves de bateaux avérées, mais de localisation incertaine. Deux conductivimètres aux caractéristiques différentes ont été utilisés : l'EM38-MK2 (Geonics) est monofréquence et possède deux espacements de bobines (0,5 m et 1 m) ; le GEM-2 (Geophex) est multifréquence (limité à 3 ou 5 dans cette étude) et possède un écartement de bobines de 1,66 m. Le magnétomètre G-858G (Geometrics) utilisé mesure l'intensité du champ magnétique. Les prospections réalisées sur les plages de la presqu'île de Crozon (Finistère, France) montrent trois cas de figure. À Kervel (Plonévez-Porzay), des planches de bois potentiellement liées à une épave démantelée enfouie ont été découvertes sur le terrain. Les clous présents dans ces planches génèrent des signaux en conductivité électrique apparente et en phase mesurés par les deux conductivimètres. Des anomalies similaires suggèrent la présence d'autres parties de l'épave enfouies. La présence de ces clous, ou autres débris métalliques dispersés, rend les résultats de la prospection géomagnétique difficilement interprétable. À Trez Rouz (Camaret-sur-mer), une anomalie géomagnétique d'environ 40 nT, correspond à la forme et aux dimensions d'une épave. Cette structure apparaît aussi sur le signal en phase, inféodé aux propriétés magnétiques, relevé par les conductivimètres, notamment avec un espacement de 0,5 m (EM38-MK2). Les sondages effectués sur la périphérie de l'anomalie ont permis d'atteindre des têtes de membrures de l'épave à une profondeur entre 0,5 et 0,6 m. Enfin, à Goulien (Crozon), une anomalie ovoïde de forte résistivité électrique, cohérente avec les dimensions d'un bateau, est associée à des valeurs négatives du paramètre en phase. Pour autant, elle est indécidable en prospection géomagnétique. Les sondages manuels n'ont pas révélé d'artefact dans les 0,6 m de profondeur explorés, laissant présager une source plus profonde.

^{*}Intervenant

Ces prospections révèlent que les conductivimètres permettent de détecter des épaves enfouies sur les plages, malgré la forte conductivité électrique du milieu. Cela ouvre de nouvelles perspectives pour la recherche archéologique sur les estrans en montrant la complémentarité entre les méthodes électromagnétique et géomagnétique tout comme en domaine terrestre.

Mots-Clés : Électromagnétisme, Géomagnétismes, Estran, Épave

Étude de cas : prospection géophysique et simulations sur un site archéologique côtier en Normandie

Sarah Thuillier * ¹, Cécile Finco ², Cyrille Fauchard ²

¹ Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols – Sorbonne Universités, UPMC, CNRS, Faculté des Sciences de Sorbonne Université – France – sarah.thuillier@sorbonne-universite.fr

² Cerema Normandie Centre – Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires – France

Cette étude se concentre sur la caractérisation d'une anomalie conductrice observée lors d'une prospection géophysique par induction électromagnétique (EMI) réalisée sur le plateau de la falaise de craie de Sainte-Marguerite-sur-Mer, en Normandie (France). La commune est située sur la côte d'Albâtre et est fortement sujette à l'érosion côtière. La définition de cette anomalie se révèle alors importante pour savoir si les matériaux présents dans le sous-sol risquent de polluer davantage l'environnement en se déversant potentiellement par la suite en mer, d'autant plus qu'une décharge littorale indiquée sur un recensement du BRGM semble correspondre à la localisation de cette anomalie.

Pour déterminer les propriétés de celle-ci avec une plus grande précision, diverses méthodes ont été employées, notamment la tomographie de résistivité électrique (ERT), la polarisation provoquée (PP), l'EMI, le géoradar (GPR) et la photogrammétrie par drone. Le site, déjà étudié dans le cadre d'un projet lié au suivi de l'érosion, est également équipé de plusieurs piézomètres qui délimitent notamment la profondeur de l'intrusion saline.

Les premiers résultats ont révélé plusieurs anomalies, et en particulier une anomalie linéaire s'étendant de la falaise vers l'intérieur des terres, suggérant une origine anthropique. La géométrie typique d'une conduite enterrée a amené nos recherches à réaliser des investigations plus poussées par simulations pour estimer son diamètre, sa profondeur, sa conductivité et sa perméabilité magnétique, qui nous renseignent sur le matériau et donc potentiellement sur le type de canalisation. Le rayon a été estimé à l'aide d'une modélisation de l'hyperbole obtenue par la prospection radar tandis que d'autres propriétés ont été estimées par des simulations à l'aide de routines Fortran et d'autres programmes libres, comme Empymod. Par ailleurs, Sainte-Marguerite-sur-Mer présente une importance historique en raison de son occupation pendant la Seconde Guerre mondiale et de sa proximité avec l'ancien Mur de l'Atlantique. Un bunker de cette époque, datant probablement de 1943, est d'ailleurs situé au pied de la falaise du site d'étude, et d'autres bunkers sont encore visibles au sud de la zone. Cette conduite enterrée pourrait ainsi être liée à des systèmes de défense militaires. Le signal mesuré pourrait correspondre à d'anciennes tranchées de fils téléphoniques ou électriques qui reliaient autrefois les blockhaus.

Mots-Clés : géophysique de proche, surface, simulation, Seconde Guerre Mondiale, canalisation

*Intervenant

L'apport des prospections géophysiques à la géoarchéologie d'un site majeur du Paléolithique moyen et supérieur en France : La Roche-à-Pierrot, Saint-Césaire.

Dominique Todisco * ¹, Cécile Finco ², Stoil Chapkanski ³, Cédric Beauval ⁴, François Lacrampe-Cuyaubère ⁴, Isabelle Crevecœur ⁵

¹ Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – Université de Rouen Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique – France

² Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement - Direction Normandie-Centre – Ministère de la Transition écologique et solidaire – France

³ Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – Université de Rouen Normandie – France

⁴ Archéosphère, 10 rue de la Rhode, 11500 Quillan – Archéosphère – France

⁵ De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie (PACEA) – Université de Bordeaux, Centre National de la Recherche Scientifique – Université de Bordeaux - Bâtiment B8 - CS50023 - Allée Geoffroy-Saint-Hilaire - 33615 Pessac Cedex, France

Le gisement de La Roche-à-Pierrot à Saint-Césaire (Charente-Maritime, France), en rive gauche du Coran (affluent de la Charente), témoigne d'une succession d'occupations moustériennes, châtelperoniennes et aurignaciennes, lui conférant un rôle central dans les débats concernant la transition entre le Paléolithique moyen et le Paléolithique supérieur en Europe de l'ouest (ca. entre 55 et 42 ka BP). Comme pour de nombreuses autres archéoséquences du Paléolithique moyen à supérieur, les controverses touchant à La Roche-à-Pierrot tournent autour des problèmes d'ambiguïté stratigraphique, du contexte des restes humains retrouvés et de leur association culturelle, et du nombre limité de dates absolues robustes. Suite aux reprises des fouilles depuis 2013, une étude géoarchéologique multiscalaire de la séquence sédimentaire du site a été entreprise combinant la géomorphologie, la lithostratigraphie, la microstratigraphie, la géochimie et les méthodes de datation absolue (14C et OSL), dans le but de caractériser les processus de formation du site (Todisco et al., 2023). Un nouveau modèle génétique a récemment été proposé impliquant l'évolution diachronique d'une falaise calcaire turonienne karstifiée, depuis un système semi-fermé à un dépôt de pente exposé. Dans ce schéma, les sédiments retrouvés à la base de la falaise s'accumulent dans des conditions périglaciaires du MIS3, entre ca. $59,9 \pm 3,9$ ka et 37,7 ka BP.

Les occupations moustériennes, stratigraphiquement les plus basses, se seraient déroulées dans un espace semi-fermé et abrité dans lequel les taux de sédimentation étaient relativement faibles, impliquant principalement des éboulements cryoclastiques (recul de falaise) et une percolation épisodique de sédiments fins. Cet environnement dépositionnel a généré un palimpseste archéologique moustérien dans la zone proximale du site (vers la falaise) qui a été remanié vers le bas de la pente (zone distale). Les vestiges moustériens, châtelperoniens et aurignaciens subséquents, inclus dans des faciès diamictiques, ont été déposés dans un contexte de plein air, sur une topographie inclinée au sommet d'un paléotalus détritique, dont une partie viendrait du sommet de la falaise. Les surfaces diachroniques et les dépôts immatures qui en résultent ont été soumis à la solifluxion et au ruissellement, avec des taux de sédimentation faibles.

Dans le but de préciser le continuum spatial archéostratigraphique intra- et péri-site (alentours immédiats), un diagnostic géoarchéologique a été déployé en 2023 et 2024. Ce diagnostic repose sur une approche géophysique combinant plusieurs acquisitions, incluant la tomographie par résistivité électrique (ERT),

*Intervenant

le géoradar (GPR) et l'induction électromagnétique (EMI). Les résultats obtenus posent de nouveaux jalons géoarchéologiques pour mieux évaluer, de manière non invasive, rapide, et à moindre coût : 1) la géométrie globale et la genèse des dépôts, des zones proximales à distales (coupes sagittales), mais aussi parallèlement au front de la corniche turonienne karstifiée (coupes transversales) ; 2) la profondeur et la paléomorphologie enfouie de la roche mère calcaire, témoignant d'un possible façonnement fluviale et/ou fluvio-karstique ; 3) l'étendue spatiale potentielle des archives sédimentaires pouvant être investiguées dans le futur ; 4) le potentiel archéo-stratigraphique pléistocène, au sein et hors du gisement ; et 5) le continuum stratigraphique allant des dépôts de pente diamictiques (pléistocènes) aux formations alluviales (holocènes) de la plaine du Coran. Enfin, ce diagnostic géophysique permet d'évaluer les potentiels impacts anthropogéniques historiques (modernes) sur les dépôts et l'archéoséquence paléolithique.

Mots-Clés : Géoarchéologie, Paléolithique, géophysique, ERT, lithostratigraphie

Session 3.2. Numérisations 3D et exploitations multiscalaires

Communications orales

Exploitation multiscalaire des ressources numériques 3D pour l'étude de la grotte ornée de Commarque (Dordogne, France) : pour une chaîne opératoire de la connaissance scientifique

Oscar Fuentes * ^{1,2}, Émilie Brochard ³, Catherine Ferrier ⁴, Kim Genuite ⁵, Olivier Huard , Laura Louman , Antonio Lopez Rodriguez , Medina Alcaide María Ángeles , Camila Munoz Soto , Eva Rodriguez Castro , Gaëlle Rousseau ⁴, Zoé Sicard-Delage

¹ Centre National de Préhistoire (Ministère de la Culture, Sous direction de l'archéologie) – Ministère de la Culture et de la Communication – France

² Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques – UMR TEMPS 8068, CNRS – France

³ PACEA, UMR 5199 – Université de Bordeaux – France

⁴ Université de Bordeaux – Université de Bordeaux, UMR CNRS 5199 PACEA, Bâtiment B2, Allée Geoffroy Saint Hilaire, 33600 Pessac cedex, France – France

⁵ Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés (IDEES) – Université de Caen Normandie, Université Le Havre Normandie, Université de Rouen Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Recherche Interdisciplinaire Homme et Société – 7 Rue Thomas Becket 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex, France

Depuis les premières numérisations au scanner laser de la grotte de Cosquer dans les années 1990 jusqu'au développement récent des méthodes d'acquisitions photogrammétriques à haute résolution ou stéréophotométrie, la recherche sur les sites ornés ne peut désormais plus se « penser » sans des process 3D. Par ailleurs, le contexte instable provoqué par le réchauffement climatique mondial implique d'anticiper les situations de crise et de développer des acquisitions 3D permettant non seulement la conservation et l'archive du bien patrimonial, mais aussi de pouvoir exploiter ces données dans le cadre d'une recherche scientifique.

C'est dans cette perspective que depuis 2021 l'étude de la grotte ornée de Commarque a pris le parti de prendre la ressource numérique 3D comme l'un de ses pivots méthodologiques. L'étude de la grotte étant complexe du fait de son histoire (site qui a toujours été accessible au cours du temps), il a été nécessaire d'aborder l'art pariétal et les données archéologiques selon une approche multi-scalaire, allant du contexte environnemental aux observations microscopiques sur les parois. En effet, l'approche paysagère est fondamentale pour mieux comprendre le contexte de la fréquentation paléolithique du réseau, son évolution au cours du temps et son insertion dans le contexte de la vallée (vallée des Beunes) en lien avec les sites paléolithiques voisins (*e.g.* Cap Blanc, Laussel).

Par ailleurs, du point de vue de l'art pariétal, le site présente un *unicom*, à savoir un dispositif orné en bas-relief en contexte de grotte profonde. Seul site de ce type présentant un tel déroulé en bas-relief sur près de 50 mètres, il était nécessaire de garder dans la démarche du relevé archéologique, cette dimension de volume. Nous avons alors exploité au mieux les possibilités des modèles 3D pour réaliser directement

*Intervenant

en relief, les relevés des parois, avec une démarche multicalque prenant en compte l'ensemble des données interdisciplinaires. Cette approche a permis de concevoir des méthodes innovantes qui assurent l'interopérabilité entre les données 2D et 3D, garantissant ainsi une préservation optimale de l'information et la traçabilité des données. Cette démarche établit ainsi une base essentielle au développement d'un SIG 3D.

D'autre part, nous avons pu faire dialoguer les multiples échelles de l'approche d'un site orné et ce, de manière collective avec la construction d'une chaîne opératoire permettant la continuité de la connaissance scientifique et basée notamment sur un support de référence, commun à l'ensemble de l'équipe. Cette interopérabilité des données permet un avancement intégré de la connaissance globale et interdisciplinaire du site : approche géomorphologique de la vallée et de l'intérieur de la grotte, étude des processus taphonomiques de dégradation de la paroi, caractérisation et datations des potentiels pigments noirs, relevé pariétaux, analyse technique de la sculpture et gravure.

L'élaboration d'une chaîne opératoire claire et adaptée permet ainsi de garantir une continuité de la recherche scientifique acquise pendant le programme de recherche, et permettra sa mise en valeur et son archivage de manière pérenne.

Mots-Clés : Grotte ornée, Relevé, Numérisation 3D, Intéropérabilité, Humanités numériques

La modélisation numérique, un outil à la réflexion et à l'interprétation des architectures néolithiques de l'Ouest de la France

Aménaïs Choplin * ¹

¹ Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – UMR 6566 CReAAH LARA, Nantes Université – France

Cette communication s'appuie sur un travail de thèse portant sur les habitats néolithiques (Ve – IIIe mill. av. J.-C.) de l'Ouest de la France (Bretagne et Pays-de-la-Loire). Les recherches sur ces sites d'habitats ont beaucoup progressé depuis la fin des années 1980 conduisant à l'élaboration de nouvelles approches : études sur les modalités de leurs implantations, leurs morphologies ou les matériaux employés. Cependant, ces données doivent désormais être approfondies par de nouvelles méthodologies, telles que la modélisation numérique. En effet, encore jusqu'alors inexploitées pour ce sujet, les restitutions 3D ont pourtant été largement employées pour les architectures préhistoriques funéraires et symboliques. Il faut ainsi citer le PCR *Corpus des signes gravés néolithique* (Cassen, Grimaud, 2016-2024) et le développement du Protocole d'Exploitation des représentations Tridimensionnelles en Archéologie (PETRA). Enfin, ces vestiges, majoritairement composés de talus en terre et en pierres souffrent aujourd'hui d'une irrémédiable érosion tant naturelle qu'anthropique, imposant l'urgence de la constitution d'un corpus numérique. L'objectif de ces recherches est d'approfondir nos connaissances sur ces architectures afin de cerner les comportements humains vis-à-vis des matériaux et techniques de construction, en vue de contribuer également à un état des lieux de ces dernières. La méthode d'enregistrement ici développée vise à fournir une alternative à la fouille pour l'acquisition des données, en déployant une approche non-invasive. L'aspiration de cette étude est de constituer un protocole commun à l'ensemble des sites tout en restant suffisamment adaptable aux différents environnements de ces derniers (couvert forestier, espaces côtiers dégagés...).

Ces recherches ont pour but d'utiliser des données 3D issues de différentes sources, allant de prospections archéologiques à la ré-exploitation d'archives de fouilles. Ainsi, plusieurs relevés photogrammétriques ont été effectués pour obtenir des modélisations tridimensionnelles géoréférencées. Ces données ont été traitées en employant en majeure partie des logiciels libres (Cloud Compare, Meshlab, Blender) pour rendre ces travaux au maximum reproductibles. Ces restitutions ont été combinées à l'exploitation de dalles LiDAR préexistantes ou liées à des relevés ponctuels. Ces modèles numériques ont également été associés à des méthodes plus « classiques » : relevés topographiques au GPS ou tachéomètre, travail sur les contextes stratigraphiques et culturels, analyses spatiales... Enfin, dans le but d'améliorer la visibilité de chaque bloc de ces structures empierrées et de fournir des informations sur leurs dimensions et leur inclinaison, les modèles 3D ont également été soumis à des post-traitements (PETRA : Normal Map, Ambient Occlusion, génération de courbes de niveaux, etc.) et à des prises de mesures systématiques (hauteur, largeur et longueur apparentes) afin de procéder à des analyses statistiques.

Ce développement sera illustré par la présentation d'études de cas inédits dans le golfe du Morbihan ou du nord du Finistère, mais évoquera également la ré-exploitation d'archives de fouilles, en particulier de certains sites d'éperons néolithiques de l'île d'Yeu (fouillés par A. Blanchard). L'objectif de ce travail de recherche est d'aborder la modélisation numérique, non plus comme un simple outil de restitution, mais

*Intervenant

bien comme un véritable atout pour la réflexion sur les comportements anciens et d'en illustrer également les limites.

Mots-Clés : Photogrammétrie, LiDAR, Restitution 3D, Néolithique, Habitat

Mobiliser les données LiDAR HD (IGN) dans une perspective archéologique et géoarchéologique : retour d'expérience en vallée de l'Eure (Bassin de Paris, France)

Emilie Vautier * ¹, Théophile Piau ², Fabienne Dugast ³, Caroline Font ⁴,
Vincent Viel ², Sylvain Rassat ⁵, Francois Betard ⁶

¹ Institut National de l'Information Géographique et Forestière [IGN] – Ministère de l'écologie de
l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire – France –
emilie.vautier1@gmail.com

² UMR 8586 PRODIG – CNRS – France – theophilepiau@yahoo.fr, vincent.viel@u-paris.fr

³ UMR-8167 Orient & Méditerranée – CNRS : UMR8167, CNRS – France – fabienne.dugast@cnrs.fr

⁴ UMR 7269 LAMPEA – CNRS – France

⁵ UR 1132 SAMA – CNRS – France

⁵ UR 1132 SAMA – Université de Lorraine – France sylvain.rassat@univ-lorraine.fr

⁶ UR Médiations – Faculté des Lettres de Sorbonne Université – France –
francois.betard@sorbonne-universite.fr

L'exploitation des acquisitions LiDAR Haute Densité (LiDAR HD) récemment rendues disponibles par l'IGN renouvelle les perspectives d'analyse non-invasive et extensive des paysages ruraux dans une perspective archéologique et géoarchéologique. La communication orale présentera un retour d'expérience sur les méthodes et les outils mobilisés à des échelles spatiales complémentaires (régionale à locale) dans le bassin versant de l'Eure (Bassin de Paris, France), territoire rural resté en marge des développements récents de la recherche archéologique et historique.

Trois protocoles de détection et de vectorisation automatisées d'anomalies micro-topographiques préservées en subsurface (milieux ouverts et intraforestiers) ont été appliqués sur les modèles numériques de terrain dérivés des levés LiDAR HD : (1) **une classification par apprentissage supervisé** *via* un modèle de *Support Vector Machine* (SVM) afin de caractériser à large échelle les microreliefs anthropiques (parcellaire fossile, enclos, chemin), (2) **une détection par correspondance de modèles d'image** dans l'optique d'affiner le repérage des structures linéaires (parcellaires fossiles) et enfin, (3) **une approche par corrélation de profils topographiques** pour identifier localement des structures anthropiques complexes présentant des variations caractéristiques du microrelief (talus doublé d'un fossé). L'ensemble des données planimétriques obtenues a été intégré dans une base de données relationnelle et spatiale, ouvrant la voie à une première analyse paysagère et régressive de l'agencement des territoires anciens de la moyenne vallée de l'Eure.

L'interaction entre les techniques de télédétection et des retours terrain a permis d'optimiser l'exploitation des données LiDAR HD en privilégiant l'adaptabilité des protocoles de détection et de vectorisation, facilement transposables à divers environnements et types d'objet. Les résultats obtenus permettent d'ouvrir sur des perspectives nouvelles d'intégration des recherches archéologiques et géomorphologiques, en particulier autour de la reconstitution diachronique des structures paysagères dans les bassins versants agricoles.

*Intervenant

Mots-Clés : LiDAR HD, machine learning, archéologie, Bassin parisien, vallée de l'Eure

La numérisation 3D chez Archeodunum : adaptation et perspectives d'une entreprise face à la donnée 3D

Jessy Crochat * ^{1,2}, Bertrand Bonaventure * ^{1,3}

¹ Archeodunum – Archeodunum, Archeodunum – France – b.bonaventure@archeodunum.fr

² Archéologie, Terre, Histoire, Sociétés [Dijon] – CNRS, Ministère de la Culture, Université de Bourgogne-Franche-Comté, Ministère de la culture – France

³ Archéologie et Archéométrie – CNRS, Ministère de la Culture, Ministère de la culture – France

Le développement des technologies de numérisation 3D a profondément modifié les méthodes de travail en archéologie. Ces évolutions ont nécessité des adaptations à tous les niveaux d'Archeodunum SAS. Lors de la phase opérationnelle, la méthodologie de travail a connu d'importantes évolutions de la phase préparatoire au rendu de la documentation pour son archivage. En parallèle, c'est l'organisation de l'entreprise qui s'est adaptée, notamment par le biais d'investissements substantiels, de formations ou encore par la création de postes. La vision largement partagée aujourd'hui est que l'émergence et le développement des technologies de numérisation 3D est une aubaine pour les équipes de fouille et, plus largement, pour Archeodunum. Cela permet notamment un gain d'efficacité, un développement des compétences des collaborateurs ou encore la diversification de nos domaines d'intervention. Dans le cadre de cette communication, nous présenterons l'intégration des nouvelles technologies de numérisation 3D au sein d'Archeodunum, les problématiques auxquelles nous avons été confrontées et les solutions que nous avons mises en place pour y pallier. La présentation de cas concrets permettra d'aborder la gestion des différentes étapes du cycle de vie de la donnée 3D et les réflexions inhérentes à ce sujet à l'aune de la construction de notre politique RSE. La diversité des chantiers d'archéologie (archéologie sédimentaire en milieu urbain et rural, archéologie du bâti, archéologie préventive, archéologie programmée, prospections, acquisition 3D de monuments anciens et d'objets, etc.) rend nécessaire l'adaptation constante des techniques de numérisation 3D. Le choix de la méthode d'acquisition répond à l'attente formulée par les collaborateurs et aux contraintes du terrain mais elle conditionne largement les livrables qui pourront être fournis. Il convient donc d'entamer un dialogue dès la phase préparatoire pour déterminer précisément les attendus et, parfois, les faire évoluer. En effet, celui qui va exploiter cette documentation 3D n'a pas toujours la connaissance suffisante de l'ensemble des possibilités offertes par ces nouvelles technologies. La phase d'acquisition est une étape cruciale de la numérisation 3D mais le développement constant des logiciels de traitement facilite cette phase de travail. Dans ce sens, il a été possible de faire évoluer les compétences de chaque collaborateur sur le terrain dans le but de les rendre autonomes. Enfin, de nombreuses interrogations sont apparues lors de la phase de traitement. D'une part, la question des livrables est centrale : alors que, jusqu'à récemment, la documentation issue de ces numérisations était quasiment exclusivement exploitée en deux dimensions, il apparaît aujourd'hui que la manipulation des jumeaux numériques lors de la phase de post-fouille est de plus en plus fréquente. Mais, en parallèle de leur utilisation exponentielle, il est apparu la problématique de la gestion des données. Il s'agit là d'un enjeu économique et environnemental majeur pour l'entreprise.

Mots-Clés : photogrammétrie, lasergrammétrie, LiDAR, gestion des données, RSE

*Intervenant

Caractériser les vestiges du passé grâce aux données LiDAR : l'exemple du diagnostic archéologique préventif de la côte Sainte-Catherine à Rouen

Hélène Dupont * ¹, Sylvain Mazet , Léon Gaël

¹ Institut national de recherches archéologiques préventives - Centre de recherches archéologiques de Bourguebus – UMR 6273 CRAHAM-UNICAEN-CNRS. – France – helene.dupont@inrap.fr, sylvain.mazet@inrap.fr, gael.leon@inrap.fr

Le diagnostic de la côte Sainte-Catherine à Bonsecours (Seine-Maritime), d'une superficie d'un peu plus de 17 hectares, a été prescrit par l'État en amont du projet de mise en valeur du site par la Métropole Rouen Normandie. La côte est inscrite aux Monuments historiques depuis 1993 et classée en 2002 au titre des espaces naturels. Le diagnostic anticipé avait pour objectif l'évaluation des vestiges présents à la fois dans le sous-sol mais également conservés en élévation.

L'éperon de la côte Sainte-Catherine domine une boucle de la Seine, à l'extrémité ouest du plateau de Boos et permet ainsi de contrôler la route de Paris et son accès à Rouen par l'est. La colline est occupée à partir du XI^e siècle par le prieuré Saint-Michel et l'abbaye de la Très-Sainte-Trinité. Le plateau est transformé en place forte au XVI^e siècle par la construction de deux ensembles fortifiés pourvus de bastions et de fossés : le « Vieux fort », édifié à partir de 1514 sous François 1^{er} et le « Nouveau fort » construit autour de 1591 dans le contexte des Guerres de Religion. Démantelé à partir de 1597, le site fortifié est ensuite transformé en prairie d'élevage. L'armée française y installe une défense antiaérienne en 1918. À partir de 1940 jusqu'aux bombardements alliés de juillet 1944, une batterie d'artillerie antiaérienne est aménagée par l'armée allemande. Entre 1950 et la fin des années 1970, le Moto Club de Rouen profite des reliefs variés du site pour ses épreuves de motocross. L'éperon est ensuite progressivement envahi par la végétation, le convertissant en espace naturel à préserver.

Les rares zones accessibles à la pelle mécanique ont fait l'objet de dix sondages archéologiques. La contrainte que représente le boisement du site a été contournée par l'exploitation de la couverture LiDAR réalisée en 2022 par le GIP Seine-Aval pour la Métropole Rouen Normandie. L'interprétation du LiDAR, offrant la possibilité de couvrir la totalité de l'emprise, a été éclairée par une prospection de terrain donnant lieu à une couverture photographique des vestiges toujours visibles dans le paysage (maçonneries et reliefs des bastions, plateformes d'artillerie et fossés). La confrontation de ces données avec les plans anciens et les orthophotographies de l'IGN s'est révélée complémentaire pour restituer l'architecture des ouvrages fortifiés des périodes modernes et contemporaines.

Le croisement des données LiDAR, des sondages sédimentaires ponctuels et des sources iconographiques, a permis de dresser un état précis de la conservation des vestiges tant en sous-sol qu'en élévation. Au-delà du bilan archéologique réalisé, cette méthodologie constitue une aide à la décision dans le cadre de la future mise en valeur du site.

Mots-Clés : Diagnostic, archéologie préventive, LIDAR, Moyen Âge, Epoque Moderne, Abbaye,

*Intervenant

Eperon, Fortifications

Session 3.2. Numérisations 3D et exploitations multiscalaires

Posters

Les chapelles osiriennes de Karnak (Egypte) : 3D, MNE et Photogrammétrie dédiée à l'archéologie et à la conservation numérique du patrimoine.

Cyril Giorgi * ¹, Mathilde Ferrari

¹ Archéologie et Philologie d'Orient et d'Occident – INRAP Centre - Île-de-France – France –
cyril.giorgi@inrap.fr, mathilde.ferrari@inrap.fr

Depuis 2000, des fouilles sont menées sur les trois chapelles situées le long de la voie menant de la grande salle hypostyle du temple d'Amon, au temple de Ptah. Edifiées entre la XXV^e et XXVI^e dynastie (VII^e-VI^es. AEC), ces chapelles font partie des mieux conservées et des plus originales dans leur décoration, parmi les multiples édifices dédiés au dieu Osiris en périphérie du grand temple d'Amon de Karnak. Les opérations ont permis de renseigner l'ensemble de la chronologie du site (entre le XVI^e s. AEC jusqu'au Ve s. EC), d'analyser l'ensemble des composantes architecturales, et d'identifier les occupations ultérieures et notamment les nombreux remaniements architecturaux du secteur osirien. L'état actuel des monuments implique une reconstruction virtuelle de leurs structures et de leurs décors, et, quand cela est possible, une anastylose. C'est souvent un préalable à l'analyse architecturale, et à celle des programmes décoratifs de ces monuments.

Au-delà d'une base de travail topographique, numérique et architecturale, cette base documentaire permet de poser les premiers jalons d'un relevé numérique de terrain global, à l'échelle des trois chapelles mais de toute une partie du secteur au nord de la grande salle hypostyle du temple d'Amon de Karnak (Fig. 1). Parallèlement aux travaux de fouille, plusieurs campagnes de numérisation 3D par photogrammétrie ont été réalisées. Ces campagnes visent des objectifs distincts : la numérisation globale de chacune des chapelles et de leur environnement, une numérisation détaillée de l'architecture en grès, ainsi que la numérisation des secteurs en cours de fouille. Ce travail se traduit sur le terrain par des levés topographiques et photographiques adaptés aux différents objectifs de numérisation.

La chapelle d'Osiris Ounnefer Neb Djefaou a reçu un traitement plus complet avec la réalisation d'un modèle numérique haute densité, accompagné de nombreuses zones très détaillées, (la rampe, la première porte, la salle hypostyle, la deuxième porte, le naos, la voie...). (Fig. 2).

Tout le secteur de la chapelle d'Osiris Neb-ânkh a reçu un traitement photogrammétrique global. De 2018 à 2023, un traitement plus précis du naos a été réalisé sur les élévations et les fondations (intérieures et extérieures), au gré des travaux de fouille et de restauration menés dans la chapelle (Fig.3).

Enfin, au niveau de la chapelle d'Osiris Ounnefer, hors mis le naos, tous les éléments architecturaux ont pu être traités. Une attention toute particulière a été portée à la numérisation de la première porte du sanctuaire, en raison de son état de conservation (Fig.4). Ces modèles, en plus d'avoir permis un travail d'analyse de la porte (étude du bâti, épigraphique...), ont été à la base d'un vaste programme de restauration. Ce programme consistant au démontage de la première porte du sanctuaire, à la restauration des blocs, à la fouille intégrale des fondations, a permis en 2022 le remontage de l'ensemble du bâti.

*Intervenant

Les mêmes protocoles sont utilisés à chaque mission et permettent d'avoir cette mémoire du bâti, de pallier à la destruction progressive du monument et d'envisager les futurs programmes de fouilles, de préservation ou de reconstructions des monuments.

Mots-Clés : Karnak 3D photogrammétrie MNE

Caractérisation multi-instrumentale des vestiges de polychromie sur des fragments de l'anneau de compressions de la croisée du transept de Notre Dame de Paris

David Giovannacci * ¹, Stéphanie Duchêne ¹, Didier Brissaud ¹

¹ LRMH, CRC – MNHN, CNRS, UAR 3224 – Ministère de la Culture et de la Communication – France
– david.giovannacci@culture.gouv.fr

L'anneau de compression de la croisée du transept de Notre-Dame de Paris, datant de la restauration réalisée par Germain Boffrand en 1728-1729, comprenait quatre têtes d'anges. Au XIX^e siècle, lors de la construction de la flèche, Eugène Viollet-le-Duc a déposé puis remonté la voûte, conservant ces angelots. À la suite de l'incendie de 2019, deux d'entre elles ont été retrouvées dans les gravats. Cette étude porte sur la caractérisation des matériaux utilisés pour la réalisation des décors polychromes de ces deux têtes d'anges.

Les analyses ont révélé que la polychromie actuelle, signée et datée par Nicolas Glaise en 1860, présente des caractéristiques cohérentes avec les pratiques picturales du milieu du XIX^e siècle et témoignent des choix techniques effectués lors des restaurations de Viollet-le-Duc. L'intervention de Glaise en 1860 représente une étape importante dans l'histoire de ces sculptures, illustrant l'évolution des techniques de restauration et de mise en valeur du patrimoine au cours du XIX^e siècle. Ainsi, par exemple, il faut noter l'emploi généralisé de blanc de zinc comme couche préparatoire, ou encore l'utilisation du jaune de chrome et du rouge de chrome.

Cette étude a démontré l'importance et l'efficacité d'une approche analytique multi-technique pour la caractérisation des polychromies historiques. La combinaison de méthodes complémentaires telles que la microscopie optique, les spectroscopies LIBS, XRF, IRTF et Raman, ainsi que la microscopie électronique à balayage couplée à l'analyse EDS, a permis d'obtenir une compréhension approfondie et détaillée des matériaux et techniques utilisés en 1860. L'imagerie 3D haute résolution a, quant à elle, offert une documentation précise de la morphologie des objets. Cette approche synergique a non seulement permis de surmonter les limitations inhérentes à chaque technique individuelle, mais a également fourni un ensemble de données robuste et cohérent, essentiel pour une interprétation fiable des résultats. Cette méthodologie pluridisciplinaire s'avère ainsi déterminante pour la compréhension globale de l'emploi des matériaux de la couleur dans le cadre de l'étude et la conservation des polychromies de Notre-Dame de Paris.

Mots-Clés : polychromies, vestige Notre Dame de Paris, analyse multi instrumentale

*Intervenant

Modèles 3D multi-scalaires, lasergrammétriques et photogrammétriques, de sites ornés du massif de l'Erongo (Namibie, Afrique australe)

Stéphane Jaillet * ¹, Benoit Caron , Kaarina Efraim , Lenishwa Engelbrecht , Stéphane Hoerlé , Loïc Jeanson , Julien Monney , David Pleurdeau , Mélanie Duval

¹ Environnements, Dynamiques et Territoires de Montagne – Université Savoie Mont Blanc, Centre National de la Recherche Scientifique – France – stephane.jaillet@univ-smb.fr, kaarinaefraim@gmail.com, leni.engelbrecht@gmail.com, stephane.hoerle@sfr.fr, loic.jeanson@unil.ch, julien@monocycle.ch, david.pleurdeau@mnhn.fr, Melanie.Duval@univ-smb.fr

Le nord du massif de l'Erongo (Namibie, Afrique australe) présente plusieurs sites ornés de premier ordre, dont l'étude nécessite une mise en contexte géomorphologique. Les granites et granodiorites du Crétacé affleurent sous forme de longues croupes et de chaos de blocs formant des abris dans lesquels se trouve l'art pariétal, ainsi que des séquences d'occupations humaines datant au moins de la fin du Pléistocène. Dans le cadre du projet ANR Cosmo-Art (ANR-21-CE27-0011 ; <https://cosmo-art.org/>), l'analyse des parois ornées et du contexte des chaos de blocs a motivé le déploiement d'une méthode de relevés 3D rapide et adaptée à ces environnements singuliers. À l'échelle du site (pluri-hectométrique), les relevés sont conduits par photogrammétrie avec un drone Mavic 2 pro. À l'échelle du chaos (pluri-décamétrique), les relevés sont réalisés avec un lidar terrestre Faro Focus 3D. Enfin, à l'échelle de la paroi (pluri-métrique), les relevés sont conduits par photogrammétrie avec un APN plein format. En combinant ces méthodes de numérisation, nous abordons les sites de façon multiscalaire tout en profitant de l'intérêt particulier que chacune apporte : couverture large et référencement simplifié avec le drone, justesse géométrique avec le lidar terrestre, haute résolution avec la photogrammétrie sur paroi. Avec cette approche, un site peut être relevé en une ou deux journées avec deux opérateurs. Plusieurs procédés et plusieurs logiciels d'assemblage et de consolidation sont ensuite testés (Register, Cyclone 3DR, Metashape, CloudCompare, Reality Capture...). Quatre sites ont déjà été traités, livrant une documentation homogène pour les analyses archéologiques et les études géomorphologiques : Ekuta, Leopard Cave, Fäkelträger et Seal Rock Shelter.

Mots-Clés : Modèle 3D, lasergrammétrie, photogrammétrie, Erongo, Namibie

*Intervenant

Artefacts du passé, outils de demain. Variabilité techno-morphologique des bifaces à la transition entre Paléolithique ancien et moyen, en Europe occidentale : l'apport de la morphométrie géométrique 3D.

Julien Looten ^{*} ¹, Agnès Lamotte ¹, Jacques Jaubert ²

¹ Histoire, Archéologie et Littérature des Mondes Anciens - UMR 8164 – CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication, INRAP, Université Lille Nord (France) – France

² De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie – CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

Pour appréhender le comportement et l'adaptation des hominidés, les préhistoriens multiplient les analyses visant à mieux décrire et interpréter la diversité morphologique et technologique des artefacts lithiques présents dans le registre archéologique. Parmi ces méthodes, la morphométrie géométrique, historiquement utilisée en anthropologie physique et en biologie évolutive en raison de sa capacité à se fonder sur des points repères (landmarks), connaît aujourd'hui un renouveau dans l'étude des industries lithiques paléolithiques grâce aux avancées technologiques de modélisation 3D. Cette approche se concentre sur la forme des objets, indépendamment de leurs dimensions. Les premières tentatives d'analyses morphométriques de ces artefacts ont été réalisées par François Bordes en 1961 et Derek Roe en 1964, qui ont principalement étudié des bifaces (qui émargent dans la famille des *Large Cutting Tools* ou « LCT »), outils emblématiques de la Préhistoire et fossiles indicateurs de l'Acheuléen au Paléolithique ancien. Ces approches pionnières étaient cependant limitées par une perspective bidimensionnelle et par les technologies de l'époque, ne permettant qu'une classification simpliste des artefacts en fonction de leur morphologie générale en plan (lancéolée, amygdaloïde, cordiforme, ovale, etc.). Les premières analyses tridimensionnelles ont émergé dans les années 2000 (Lycett *et al.*, 2006), mais elles reposaient sur des méthodes manuelles, telles que l'utilisation du pied à coulisse, rendant ainsi les résultats peu objectifs et peu reproductibles. Un nouvel élan dans les discussions sur la variabilité morphologique de ces artefacts est en cours grâce au développement de la photogrammétrie et des scanners de surface, qui ont considérablement démocratisé l'enregistrement de modèles 3D. Des logiciels spécialisés permettent désormais de placer plusieurs milliers de semi-landmarks sur la surface des objets et d'effectuer automatiquement des analyses multivariées, telles que l'analyse de Procruste et l'analyse en composantes principales (ACP) (par exemple, AGMT3D ; Herzlinger et L. Grosman, 2018). Au-delà d'être de simples outils de visualisation, les modèles 3D, en éliminant les distorsions optiques liées à l'imagerie 2D, fournissent des données cruciales, notamment des mesures métriques telles que des dimensions linéaires, angulaires et volumétriques. Ils intègrent également des caractéristiques telles que la convexité, la concavité, la symétrie et l'asymétrie de ces objets. Dans le cadre d'une recherche doctorale, nous appliquons, pour la première fois, cette approche innovante afin de documenter et quantifier la variabilité morphologique des bifaces à la transition entre le Paléolithique ancien et moyen, une période encore peu explorée, coïncidant avec l'émergence des premières populations néandertaliennes. Pour ce faire, nous étudions un corpus provenant de sites multirégionaux en France (Nord de la France et Sud-Ouest) et diachroniques (de 500 à 200 ka BP). Ce travail permettra de mieux préciser les facteurs influençant leur évolution, tels que les traditions culturelles, la disponibilité des matières premières, la fonction des outils, les compétences techniques des artisans et les réponses

*Intervenant

culturelles des groupes humains face aux changements climatiques et environnementaux (notamment lors d'alternances entre périodes glaciaires et interglaciaires). Ces avancées technologiques permettront ainsi de mieux caractériser les transmissions, la perduration et les mutations des savoir-faire au fil du temps, dans le but d'identifier des ruptures ou des continuités.

Mots-Clés : Analyse morphométrique géométrique, Biface, Acheuléen, Paléolithique ancien, Paléolithique moyen, technologie lithique, Analyse quantitative, modèles 3D, France

Session 3.3. Approches nouvelles pour documenter la matière et l'objet archéologique

Communications orales

Bilan sur l'usage couplé du pXRF comme outil en archéologie expérimentale prédictive au regard des données de fouilles

Florian Tereygeol ^{*} 1,2, Florence Maqueda ^{3,4}, Vincent Le Quellec ⁵, Sébastien Laratte ⁶, Benjamin Cancès, Georges Verly ⁷, Frederik W. Rademakers ^{8,9}

¹ LAPA – CEA, CNRS : UMR5060, CNRS : UMR3685 – LAPA-IRAMAT, NIMBE, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette France, France – tereygeol@cea.fr

² Institut de Recherche sur les Archéomatériaux – CNRS – France

³ Unité de modélisation mathématique et informatique des systèmes complexes [Bondy] (UMMISCO) – Sorbonne Université – IRD France Nord - 32 avenue Henri Varagnat - 93143 Bondy cedex, France

⁴ IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (IRAMAT-LAPA) – Institut de Recherche sur les Archéomatériaux, CEA, DRF, IRAMIS, NIMBE, UMR 3685, CNRS, Université Paris-Saclay, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – Site CEA de Saclay - bâtiment 637 - 91191 Gif-sur-Yvette cedex, France

⁵ Service archéologique du Calvados – département du calvados – France

⁶ Archeodunum – Archéodunum SA – France

⁷ IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération – Institut de Recherche sur les Archéomatériaux, CEA, DRF, IRAMIS, NIMBE, UMR 3685, CNRS, Université Paris-Saclay, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

⁸ KULeuven – Belgique

⁹ British Museum – Royaume-Uni

La notion d'archéologie expérimentale prédictive est apparue assez récemment dans le domaine paléométallurgique d'abord sous le plume de Thomas Birch (Birch et al, 2015) puis, en suivant son sillon, sous celle de Simon Timberlake (Timberlake, 2015). Cette démarche, faisant de l'espace expérimental un lieu de recherche pour de nouvelles techniques de fouille, avait été appliquée de longue date au domaine de l'architecture (Reynolds, 1999). Le développement parallèle de l'expérimentation en paléométallurgie et de la portabilité des appareils de mesure en archéométrie a permis de franchir une étape supplémentaire. Le site expérimental est devenu un lieu d'analyse des structures et des sols permettant d'observer les évolutions environnementales en fonction de protocoles mettant en œuvre des matériaux bien identifiés. Le lieu d'expérience peut alors fournir un modèle aidant à l'interprétation des ateliers métallurgiques anciens mis au jour à l'occasion de fouilles archéologiques.

Cette communication se propose, au travers d'une synthèse des travaux effectués sur ce thème depuis une dizaine d'années, d'explorer les différentes réponses obtenues lors de dosages des environnements expérimentaux et des sites archéologiques à l'aide d'un pXRF. La réalisation de ces expériences s'est faite sur la plateforme de Melle (79) dont le caractère pérenne autorise la conduite de sessions d'expériences sur plusieurs années tout en permettant une documentation régulière des structures. Cette réflexion porte sur la métallurgie des métaux non ferreux (alliages à base de cuivre et alliage de plomb argentifère). Elle couvre une chronologie élargie allant de la haute Antiquité à la fin du Moyen Âge.

Si la question de l'empreinte environnementale d'une activité ancienne a suscité de longue date notre intérêt (Tereygeol et al., 2010), sa quantification n'a volontairement jamais été au cœur de la démarche expérimentale afin de limiter les biais comportementaux. L'intentionnalité de l'enregistrement pXRF ne

*Intervenant

contraint ainsi jamais l'expérimentateur qui œuvre librement autour de sa structure. Les trois exemples qui seront exposés montrent les avantages et les limites d'une telle approche en fonction des métallurgies concernées et du croisement avec les données de terrain par rapport à la compréhension des chaînes opératoires spécifiques à chaque site.

Birch T., Schloger R., Walach G., Stremke F., Cech B., Finding the invisible smelt : using experimental archaeology to critically evaluate fieldwork methods applied to bloomery iron production remains, archaeological and Anthropological Sciences, Springer, Vol. 7, 73-87 (2015).

Reynolds P., The nature of experiment in archaeology, Eds E. Jerem, I. Poroszlai, *Archaeology of the bronze and iron age, experimental archaeology, environmental archaeology*, archaeological park, Budapest, 1999, p. 387-395.

Téreygeol F., Arles A., Foy E., Florsch N., Llubes M., Dosages par fluorescence X portable d'ateliers médiévaux de production des métaux non-ferreux : les exemples de Castel-Minier et d'Agnesserre (Aulus-les-bains, 09), *ArchéoSciences, revue Archéométrie*, n°34, 2010, p. 253-267.

Timberlake S., Predictive experimental archaeology as a tool in the study of ancient mining and metallurgy, *Experimentelle archäologie in Europa 14, bilanz 2015*, Exar, Oldenburg, 2015, p. 145-164.

Mots-Clés : Expérimentation prédictive, archéologie expérimentale, analyse in situ, métallurgie, environnement, diachronique

Du laboratoire au terrain : la LIBS portable pour la caractérisation géochimique des silex

Julien Le Guirriec ^{*} ^{1,2}, Marta Sánchez De La Torre ^{3,4}, François-Xavier Le Bourdonnec ⁵

¹ Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), Universitat de Barcelona – Espagne

² Institut d'Arqueologia de la Universitat de Barcelona (IAUB), Barcelona – Espagne

³ Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), Universitat de Barcelona – Espagne

⁴ Institut d'Arqueologia de la Universitat de Barcelona (IAUB) – Espagne

⁵ Archéosciences Bordeaux – Université de Bordeaux, université Bordeaux Montaigne, Centre National de la Recherche Scientifique, EPHE-PSL – France

Le silex a joué un rôle fondamental dans la Préhistoire en tant que matériel privilégié pour la fabrication d'outils. Son importance pour les sociétés préhistoriques en fait des objets d'étude essentiels pour comprendre les dynamiques économiques et sociales de ces groupes humains. Cependant, en raison de leur hétérogénéité à la fois géochimique et structurale, intra et inter-échantillon, le silex pose des défis analytiques importants.

Dans ce contexte, la Spectrométrie d'émission de Plasma Induit par Laser (LIBS), en particulier dans sa version portable, offre un outil prometteur pour l'analyse rapide, *in situ*, et virtuellement non-destructive des silex, offrant un avantage considérable dans l'étude de collections muséales. La LIBS portable permet, grâce à la multiplication d'analyses ponctuelles sur un même échantillon, de limiter l'impact de l'hétérogénéité du matériau et l'analyse rapide d'un grand nombre d'échantillons ouvre la voie à l'application d'outils statistiques avancés, notamment des approches d'apprentissage automatique.

La LIBS portable est au cœur de la stratégie analytique du projet ERC SPEGEOCHERT, qui vise à caractériser l'origine de différents traceurs lithiques présents sur les sites du Paléolithique supérieur dans la région des Pyrénées. Ce projet cherche à modéliser la mobilité des groupes humains à la fin du Pléistocène en identifiant les sources géologiques des outils retrouvés sur ces sites. L'étude de provenance est menée dans une approche intégrée, avec une étude pétroarchéologique préliminaire, et des modèles prédictifs basés sur les données LIBS avec d'autres méthodes analytiques portables, telles que la fluorescence X portable et la spectroscopie en réflectance proche et visible infrarouge (VNIR).

Cette communication présentera plusieurs études de cas illustrant l'usage de la LIBS portable dans le cadre du projet SPEGEOCHERT, en soulignant son apport à l'étude de la provenance des silex, mais également l'utilisation de la LIBS pour l'étude des processus d'altération et de zonation des silex, nous permettant une meilleure compréhension de ces matériaux complexes.

Mots-Clés : silicites, LIBS portable, provenance, altération, mobilité préhistorique

*Intervenant

Quelles roches noires pour les objets de parure magdaléniens ? L'apport de la pétrologie organique.

Caroline Peschaux * ¹, Bertrand Ligouis ²

¹ Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques – CNRS – France –
caroline.peschaux@gmail.com

² Laboratory for Applied Organic Petrology, Institute for Archaeological Sciences, Eberhard Karls Universität Tübingen (LAOP) – Rümelinstr. 23, 72070 Tübingen, Allemagne

L'emploi des roches noires pour la fabrication des objets de parure paléolithiques connaît un essor important au cours du Magdalénien (21-14 ka cal BP). Les matières utilisées - généralement qualifiées de « lignites » par les archéologues - correspondent à des matières organogènes carbonées qui n'ont que très rarement fait l'objet de caractérisations pétrologiques. Or, l'analyse par la pétrologie organique, telle que définie par M. Teichmüller (1992), permet de déterminer la nature réelle des matières utilisées et de proposer des provenances géologiques et géographiques par comparaison avec un référentiel d'échantillons géologiques et archéologiques connus. L'analyse d'une trentaine d'objets de parure issue de sites magdaléniens de l'Arc jurassien (Allemagne, Suisse) et du Bassin parisien (France) révèle la diversité des roches noires utilisées comprenant des jais, des charbons d'algues et de spores ou encore des schistes bitumineux. Les provenances identifiées, parfois lointaines, témoignent de l'intégration de ces matières au sein de réseaux de circulation, développés à grande échelle, qui étayent par des exemples inédits l'existence de connexions interrégionales durant le Magdalénien.

Mots-Clés : Paléolithique, Parure, Jais, Charbon, Ressources, Circulation

*Intervenant

Influence des Essences de Bois sur la Thermométrie Raman des Charbons Archéologiques

Daria Derbilova * ¹, David Sebag ¹, Geoffroy De Saulieu ¹, Frédéric Delarue ²

¹ Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols – Université Paris-Sorbonne - Paris IV, CNRS, EPHE – France

² Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols (METIS) – Ecole Pratique des Hautes Etudes, Institut National des Sciences de l'Univers, Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique – France – frederic.delarue@upmc.fr

La compréhension des températures de combustion des charbons fournit des indices précieux sur les activités humaines passées, notamment en archéologie, où ils constituent parfois les seules traces disponibles. Par exemple, les feux de métallurgie ou poterie atteignent des températures plus élevées (850-1300°C) que ceux des feux de savane (200-600°C). Deldicque et al. (2016) ont montré qu'il était possible d'estimer la température de carbonisation (T_{car}) à partir du rapport entre les hauteurs (H) des bandes D ($\sim 1350\text{ cm}^{-1}$) et G ($\sim 1600\text{ cm}^{-1}$) mesuré par spectroscopie Raman. Le rapport HD/HG a été largement utilisé en archéologie, mais rarement sur des charbons issus de sédiments. Bien que le thermomètre Raman ait été développé à partir de charbons de pin, des variations existent selon les précurseurs organiques. Cette étude vise à tester la généralité de la thermométrie Raman.

Des charbons frais et archéologiques ont été analysés par spectroscopie Raman. Pour des charbons frais, 44 essences de bois provenant de zones tempérées, méditerranéennes et intertropicales ont été caractérisées par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) permettant ensuite de choisir les essences les plus distinctes chimiquement. Ces essences ont été carbonisées expérimentalement à 400, 600 et 800 °C (30 minutes) via pyrolyse Rock-Eval, dispositif permettant de mesurer les composés hydrocarbonés (CH), CO et CO₂ émis pendant la production des charbons. Les charbons archéologiques proviennent des sites de Ndouni, des champs-surélevés d'Oyane (Estuaire du Komo, Gabon) et de Mata-di (Moyen-Ogooué, Gabon), ce dernier datant de l'Âge du fer (2000-800 BP). La diversité des charbons (microcharbons, macrocharbons, graines, charbons incrustés dans la poterie) reflète la variété de leurs origines et des pratiques associées.

Les résultats Raman sur charbons frais montrent que les rapports HD/HG varient selon les T_{car} et les essences. À des $T_{car} \leq 600^\circ\text{C}$, l'essence influence davantage ces rapports. Selon la FTIR et les émissions mesurées lors de la pyrolyse, ces variations inter-essences semblent liées à la composition chimique initiale, les essences riches en composés hydrocarbonés présentent les rapports HD/HG les plus faibles. Pour les charbons archéologiques, les résultats préliminaires révèlent une grande variabilité des rapports HD/HG (min : 0.61 max : 0.97), correspondant à des T_{car} allant de 600-700 à 1300°C (Deldicque et al. 2016; Mouraux et al., 2022). Une augmentation des rapports HD/HG avec la profondeur suggère que des processus post-dépôt pourraient altérer les propriétés chimiques initiales des charbons.

Cette étude met en évidence l'influence de l'essence d'origine sur l'estimation des basses T_{car} . Des analyses anthracologiques sont nécessaires dans les contextes où HD/HG est faible. À mesure que les T_{car} augmentent, les signatures Raman deviennent moins dépendantes de la composition chimique initiale. Pour les charbons issus de sédiments, les processus post-dépôt peuvent modifier le signal d'origine.

*Intervenant

Malgré les écueils potentiels liés à la diversité des essences sur les sites archéologiques et aux processus post-dépôt, la thermométrie Raman demeure un outil prometteur pour la classification des charbons issus de diverses activités anthropiques.

Deldicque, D., Rouzaud, J.-N., Velde, B., 2016. A Raman - HRTEM study of the carbonization of wood : A new Raman-based paleothermometer dedicated to Archaeometry. Carbon 102. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.02.042>

Mouraux, C., Delarue, F., Bardin, J., Nguyen Tu, T.T., Bellot-Gurlet, L., Paris, C., Coubray, S., Dufraisse, A., 2022. Assessing the carbonisation temperatures recorded by ancient charcoals for $\delta^{13}\text{C}$ -based palaeoclimate reconstruction. Sci Rep 12, 14662. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17836-2>

Mots-Clés : Thermométrie Raman, Charbons, Essences de Bois, Sédiments, Processus post, dépositionnels

Développement d'un couplage innovant pour la mesure du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans le CO_2 issu d'échantillons archéologiques solides

Marie Ferrant ^{* 1}, Jean-Claude Lefevre ², Christine Oberlin ³, Erik Bonjour ¹, Anthony Anchisi ¹, Patrick Jame ¹, Stéphane Hupont ¹, Christophe Pages ¹, Catherine Jose ¹, Anita Quiles ^{4,5}, Emmanuelle Delqué-Kolic ⁴

¹ Institut des Sciences Analytiques – CNRS, Université Claude Bernard - Lyon I (UCBL) – France – marie.ferrant@isa-lyon.fr

² Géosciences Paris Saclay – CNRS, Université Paris-Sud - Université Paris-Saclay, CNRS, Université Paris Sud, Université Paris Saclay – France

³ Archéologie et Archéométrie – Université Lumière - Lyon 2, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, CNRS : UMR5138 – France

⁴ Laboratoire de mesure du carbone 14 – Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, 91198 Gif-sur-Yvette, France – France

⁵ Institut français d'archéologie orientale du Caire – Égypte

Les analyses isotopiques sont utilisées depuis plusieurs années en archéologie sur différents supports pour retracer le plus souvent la provenance et/ou l'origine de ces supports. Le projet iSOPALIN (ANR-23-CE29-0014-01) développe une étude multi-isotopique des fibres de lin de l'Égypte ancienne pour comprendre leur état de dégradation, documenter leur provenance et enrichir les données sur les environnements de croissance associés au lin. Cette étude s'appuie en particulier sur des mesures $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$ et $\delta^{18}\text{O}$. Dans le cadre de cette présentation, nous nous concentrerons sur le $\delta^{13}\text{C}$.

En effet, la mesure isotopique du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ possède des applications variées en archéologie et est aussi utilisée pour la correction des activités en ^{14}C lors de la datation radiocarbone par comptage à scintillation liquide (CSL). Cette mesure est usuellement réalisée par spectrométrie de masse des rapports isotopiques (IRMS) sur une fraction de CO_2 récupérée lors de la combustion de l'échantillon à dater avant la transformation en benzène. L'IRMS permet la mesure de multiples isotopes mais repose sur un appareil onéreux et fragile, au fonctionnement et à l'entretien peu adaptés pour des utilisateurs uniquement intéressés par la mesure du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Ainsi la mesure est souvent sous-traitée dans des laboratoires de chimie analytique disposant de plateformes isotopiques.

En 2016, le Centre de Datation par le Radiocarbone (CDRC-ArAr, UMR 5138) s'est doté d'un analyseur LGR CCIA38 permettant la mesure du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ par spectroscopie d'absorption laser. Cet appareil, initialement conçu pour la mesure isotopique du CO_2 atmosphérique en flux continu (sensibilité 450 ppm environ), a été intégré dans un dispositif comprenant également un analyseur élémentaire développé conjointement entre l'Institut des Sciences Analytiques (ISA, UMR 5280) et le CDRC afin de permettre l'analyse isotopique en carbone 13 d'échantillons archéologiques solides.

Au cours de cette présentation, nous détaillerons le couplage innovant analyseur élémentaire – interface – laser CO_2 . Nous présenterons le cas d'étude de fibres de lin, modernes ou provenant de collections muséales sur l'Égypte ancienne, dans le cadre de l'ANR iSOPALIN. Nous verrons ainsi comment l'analyse multi-isotopique peut faire parler les textiles, comment la spectroscopie d'absorption laser peut devenir une alternative à l'IRMS, et les enjeux liés à l'installation de ce couplage au pôle archéométrie de l'IFAO, au Caire.

*Intervenant

Mots-Clés : Analyse isotopique, matériau cellulosique, Egypte ancienne, développement instrumental

Les gradients d'oxydation du fer dans des glaçures « sauces » fabriquées en Chine du Nord sous la dynastie Song : un nouvel éclairage par les micro-faisceaux synchrotron

Clément Holé ^{*} ¹, Louis Leber ², Quentin Bruel ¹, Tian Wang ³, Philippe Sciau ⁴, Marine Cotte ^{1,5}

¹ European Synchrotron Radiation Facility – European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) – France

² Université de Rennes – Université de Rennes I, Université de Rennes I : EA4712, Université de Rennes I – France

³ Shaanxi University of Science and Technology – Chine

⁴ Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales – CNRS : UPR8011 – France

⁵ Laboratoire d'Archéologie Moléculaire et Structurale – Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8220 – France

Les propriétés uniques du rayonnement X généré par synchrotron, comme sa forte brillance ou le fait de pouvoir sélectionner son énergie, offrent des possibilités d'analyse exceptionnelles, complémentaires à celles effectuées en laboratoire ou sur site avec des instruments portatifs. Avec le développement de synchrotrons de nouvelle génération comme l'ESRF-EBS, le gain en brillance permet d'accélérer significativement les temps de mesure, ouvrant la porte à l'analyse de corpus plus larges ou à l'imagerie de zones d'intérêt plus importantes (1). Ces deux points, associés aux informations uniques qu'elles peuvent apporter, les rendent tout à fait pertinentes pour étudier des matériaux complexes comme ceux des objets archéologiques et du patrimoine.

Les possibilités d'imageries offertes par l'ESRF seront explorées autour d'une étude comparative de gradients d'oxydation du fer dans des glaçures brunes de céramiques chinoises par micro-diffraction sur ID13 et micro-spectroscopie d'absorption sur ID21. Ces glaçures, dites « sauce », étaient produites au Nord de la Chine sous la dynastie Song. Elles ont une couleur tout à fait caractéristique donnée par la présence d'oxyde de fer ϵ -Fe₂O₃ (2,3), un oxyde rare intermédiaire entre la maghémite et l'hématite (4). La cristallisation de cet oxyde, qui a lieu pendant le refroidissement des glaçures (5), entraîne des gradients d'oxydation du fer de la surface vers le cœur de la glaçure, qui sont influencés par les conditions environnementales dans la chambre du four.

Cette étude compare les glaçures d'échantillons provenant de quatre sites archéologiques du Nord de la Chine : Yàozhōu et Yíngōu (province du Shaanxi) et Gānquán et Chéngguān (province du Henan). Les analyses effectuées par micro-diffraction montrent que la stratigraphie et l'épaisseur des couches superficielles varient beaucoup au sein d'un même site, illustrant la relative non-reproductibilité des procédés de fabrication. À l'inverse, les gradients d'oxydation du fer, bien qu'également variables au sein d'un même site, sont beaucoup plus marqués dans les échantillons provenant du Shaanxi que ceux du Henan. La comparaison avec des verres de référence suggère que les cuissons pratiquées au Shaanxi étaient beaucoup plus réductrices que celles des sites du Henan, qui semblent plutôt avoir été menées sous atmosphère ambiante. Cette distinction révèle les différences de productions majeures entre sites, pour des objets dont la microstructure superficielle est pourtant similaire.

^{*}Intervenant

Cette présentation sera également l'occasion de présenter une possibilité d'accès facilité au rayonnement synchrotron à l'ESRF pour la communauté étudiant les matériaux du patrimoine à l'occasion de temps de faisceaux partagés (BAG) sur les lignes ID13 et ID22.

Références :

1. Raimondi, P. *et al.* The Extremely Brilliant Source storage ring of the European Synchrotron Radiation Facility. *Commun. Phys.* **6**, (2023).
2. Wang, T. *et al.* Morphological and structural study of crystals in black-to-brown glazes of Yaozhou ware (Song dynasty) using imaging and spectroscopic techniques. *J. Eur. Ceram. Soc.* **41**, 6049–6058 (2021).
3. Wen, R., Wang, D., Wang, L. & Dang, Y. The colouring mechanism of the Brown glaze porcelain of the Yaozhou Kiln in the Northern Song Dynasty. *Ceram. Int.* **45**, 10589–10595 (2019).
4. Zboril, R., Mashlan, M. & Petridis, D. Iron(III) Oxides from Thermal Processes Synthesis, Structural and Magnetic Properties, Mössbauer Spectroscopy Characterization, and Applications. *Chem. Mater.* **14**, 969–982 (2002).
5. Holé, C. *et al.* Study of the growth mechanism of ϵ -Fe₂O₃ crystals in Chinese sauce glaze replications. *Mater. Today Commun.* **33**, 104329 (2022).

Mots-Clés : Imagerie, Synchrotron, Spectroscopie, Diffraction, Céramique, Glaçure

Caractériser, cartographier et sourcer le cinabre, ou faire parler des visages de pierre

Marianne Le Turnier * ¹, Lucile Beck , Emilie Chalmin , Claudia Defrasne , Fanny Lefaucher ², Bernard Schmitt

¹ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204 / FRE 2641, Université Savoie Mont Blanc, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204, Centre National de la Recherche Scientifique – France

² Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble – CNRS – France

Les stèles néolithiques découvertes entre les monts de Vaucluse et du Lubéron constituent un corpus d'environ soixante objets représentant des visages ornés de chevrons. Dans ce corpus, la moitié des objets porte des traces, quoique discrètes, de pigments. Malgré cette fréquence, peu d'études se sont attachées à leur caractérisation ni leur provenance. Lorsque des analyses ont été effectuées, elles révèlent la présence de cinabre, de bauxite et d'ocre. Le cinabre, majoritaire dans le corpus, est exogène ; les sources potentielles connues se trouvent en Italie, Espagne, ou Sardaigne, par exemple. Au contraire, l'ocre et la bauxite sont des matières que l'on peut identifier dans l'environnement direct des zones de découverte des stèles (les ocres de Roussillon ou Rustrel ou encore les bauxites des Alpilles, par exemple). Ainsi, l'étude de la coloration de ces visages de pierre permet d'appréhender des stratégies d'approvisionnement à plus ou moins longue distance et de questionner les représentations collectives sous-jacentes.

D'où viennent ces pigments ? Comment sont-ils répartis à la surface des stèles ? Peut-on identifier les sources d'approvisionnements des matières premières ? Cette recherche est envisagée en deux temps : (i) une caractérisation des matières picturales identifiées sur les stèles ; (ii) leur comparaison avec des référentiels géologiques. Notre étude mobilise ainsi des données archéométriques, dans le but d'appréhender les usages des matières colorantes dans leur diversité et les pratiques socio-culturelles dont elles témoignent. Pour se faire, l'imagerie hyperspectrale visible et proche infra-rouge, dont l'application aux stèles est inédite, peut permettre de révéler des traces de pigments qui ne sont plus visibles à l'œil nu. Ainsi, il est possible de déterminer la répartition des matières picturales sur la -voire les- faces peintes, et de cartographier les pigments au regard des gravures. Le second apport de cette méthode est la caractérisation rapide et globale des objets, ce qui permet une cartographie des matières picturales, sans contact avec l'objet archéologique, et ce à bonne distance pour des résultats efficaces offrant une cartographie d'une stèle complète. Cette étude permet également une approche statistique, encore jamais réalisée, à l'échelle à la fois de l'ensemble du corpus et d'un site pour comprendre d'éventuelles stratégies d'utilisation de pigments caractéristiques. Cette approche est en parallèle croisée avec des analyses ponctuelles grâce à la réalisation de microprélèvements, pour mieux comprendre la morphologie et la structure des pigments, et accéder à la stratigraphie support-pigment-phases d'altérations.

À terme, une comparaison chimique et minéralogique avec des matières géologiques est programmée, dans le but de rechercher les sources d'approvisionnement et éclairer les circulations de matières premières et ainsi les dynamiques culturelles durant la Préhistoire récente. À l'instar des obsidiennes sardes, des jades alpines ou encore des silex vauclusiens, il semble que le cinabre ait pu circuler à longue distance.

*Intervenant

Mots-Clés : Stèle, Cinabre, Néolithique, Provence, Imagerie hyperspectrale

Rhyolites de Saint-Pierre-et-Miquelon. Une nouvelle clé pour l'étude du nomadisme côtier nord-américain ?

Arthur Leck * ¹, Mikaël Guiavarc'h ², François-Xavier Le Bourdonnec ³

¹ Archéosciences Bordeaux : Matériaux, Temps, Images, Sociétés – Université de Bordeaux Montaigne, CNRS : UMR6034, EPHE, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

² CReAAH - Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire – CNRS : UMR6566, Université de Rennes I – France

³ Archéosciences Bordeaux : Matériaux, Temps, Images, Sociétés – Université de Bordeaux Montaigne, CNRS : UMR6034, EPHE, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

De multiples occupations, amérindiennes et paléo-Inuit, ont été mises au jour sur le site de l'Anse-à-Henry, situé sur l'île de Saint-Pierre dans l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon. À l'extrémité est de l'Amérique du Nord, face à Terre-Neuve, cet archipel fut occupé durant plusieurs millénaires par des populations venues successivement de l'ouest et du nord du continent. Le site livre une grande quantité de vestiges lithiques, dont une majorité semble d'origine locale. Plusieurs affleurements ont été identifiés dans l'archipel, certains présentant des traces d'exploitations anciennes. Si les ressources alimentaires, notamment les mammifères marins, ont certainement été la principale motivation de l'installation de ces populations, la présence de ces ressources minérales a probablement été déterminante.

Les matériaux lithiques mis au jour présentent une grande diversité. Certains semblent provenir de régions éloignées, comme Terre-Neuve et la côte du Labrador, mais la plupart semblent avoir été extraits localement. Cependant, la diversité des affleurements identifiés dans l'archipel rend difficile une évaluation précise des stratégies d'approvisionnement mises en place par les populations préhistoriques à partir de la simple analyse visuelle des vestiges.

Nous avons donc mené une étude visant à caractériser plus précisément les matériaux lithiques disponibles à Saint-Pierre-et-Miquelon. Nous avons également testé la pertinence des analyses géochimiques sur ces matériaux afin d'évaluer le potentiel de cette approche pour de futures études à l'échelle régionale. Plusieurs méthodes d'analyses ont ainsi été mises en œuvre dont la pétrographie, le MEB-EDS, l'EDXRF et l'ICP-MS.

La majorité des roches étudiées sont d'origine volcanique, principalement des tufs et ignimbrites silicifiés de composition rhyolitique. Quelques affleurements fournissent quant à eux des silices filoniennes. Dans ces sols subarctiques très acides, ces roches s'altèrent fortement en surface et forment une patine claire qui peut rapidement atteindre plusieurs millimètres d'épaisseur. Malgré cette altération, les analyses géochimiques, y compris celles réalisées avec des méthodes non destructives, permettent de distinguer les carrières présentes dans l'archipel. Il est également possible de discriminer les affleurements échantillonnés, parfois au sein d'une même carrière et d'attribuer les artefacts de l'Anse-à-Henry à un affleurement spécifique.

Ces premiers résultats ouvrent de nouvelles perspectives de recherche. À l'échelle de Saint-Pierre-et-Miquelon tout d'abord, pour mieux comprendre l'articulation entre le site de l'Anse-à-Henry et les carrières de rhyolites. Puis à l'échelle du Golfe du Saint-Laurent, de Terre-Neuve et du Labrador, où les groupes amérindiens et paléo-Inuit se sont certainement déplacés après leur passage à Saint-Pierre-et-Miquelon, emportant sûrement des objets en rhyolites, offrant ainsi de nouvelles clés pour mieux percevoir les territoires parcourus par ces peuples nomades.

*Intervenant

Mots-Clés : Amérique du Nord, Sourcing, Rhyolite, EDXRF, Mobilité

Session 3.3. Approches nouvelles pour documenter la matière et l'objet archéologique

Posters

Automatisation des analyses géochimiques sur carottes pédo-sédimentaires par XRF portable

Stoil Chapkanski * ¹, Damase Mouralis ¹, Olivier Gillet ¹, Léa Mairaville ¹, Mallaury Robert ¹, Dominique Todisco ¹

¹ Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – Université de Rouen Normandie, Université du Havre Normandie, Université de Caen, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France – stoil.chapkanski@univ-rouen.fr, damase.mouralis@univ-rouen.fr

Les carottes pédo-sédimentaires sont une source essentielle d'information pour les études stratigraphiques et paléoenvironnementales. Témoins des dynamiques environnementales, sédimentaires et pédologiques, les carottes sont largement utilisées en archéologie et en géoarchéologie pour renseigner l'évolution des modes d'occupation du sol, de la végétation, la succession des milieux de dépôts ou encore l'identification des événements climatiques et détritiques extrêmes. Le besoin grandissant des données paléoenvironnementales provenant des carottes sédimentaires a alors motivé le développement de techniques d'analyses rapides et peu coûteuses. Les spectromètres portables de fluorescence des rayons-X à dispersion d'énergie, communément appelés XRF portable (p-XRF), sont utilisés couramment dans de nombreux laboratoires de recherche en Archéologie, Archéométrie, Géographie Physique ou Géologie, ainsi qu'en industrie. Des développements antérieurs ont démontré la possibilité de gagner en précision, et en répétabilité des mesures tout en améliorant l'ergonomie d'analyses pour l'opérateur par un dispositif de fixation d'un analyseur XRF portable au-dessus de la carotte. Ce dispositif demeure cependant manuel et nécessite la présence d'un opérateur tout au long des mesures pour déplacer la carotte et lancer la mesure. Des développements récents, réalisés au sein de l'Université de Rouen et du laboratoire IDEES, ont permis de mettre en place un dispositif automatisé d'analyses élémentaires des carottes sédimentaires par un XRF portable. Ce dernier est monté sur une nacelle qui est entraînée par un bras coulissant le long de la carotte selon un plan d'expérience défini par l'opérateur (par exemple : nombre de mesures, durée de la mesure, intervalle entre deux mesures, etc.). L'ensemble du dispositif est contrôlé à distance par une application, développée en Python, permettant de synchroniser le mouvement de l'analyseur XRF portable tout comme le lancement de la prise de mesure. Des développements en cours permettraient d'adapter le dispositif à d'autres équipements tels que le susceptibilitémètre, le spectrocolorimètre et le spectromètre infrarouge afin d'intégrer plus de capteurs et ainsi d'optimiser l'analyse multi-proxy des carottes pédo-sédimentaires.

Mots-Clés : Carotte sédimentaire, ED, XRF portable, analyse automatique, géochimie, archéométrie, paléoenvironnements

*Intervenant

Imagerie sur-site de la composition élémentaire. Application aux décors émaillés

Philippe Colomban * ¹, Michele Gironda ², Mareike Gerken ³

¹ Laboratoire MONARIS – Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8233 – Sorbonne-Université Bâtiment F 4, place Jussieu - 75252 PARIS Cedex 05, France

² Global Market Segment Manager Art & Conservation / Bruker Nano Analytics Division – XGLab S.R.L. Via Conte Rosso 23, 20134 Milan, Italie

³ Bruker Nano Analytics Division, Berlin – Allemagne

Certains objets émaillés présentent un décor aussi sophistiqué que celui des peintures à l'huile et dans les cultures asiatiques les arts du Feu sont au premier rang. Dans le cadre de l'étude des transferts des techniques de peinture et d'émaillage par les jésuites principalement portugais et français, respectivement au tournant des XVI^e/XVII^e et des XVII^e/XVIII^e siècles vers le Japon et la Chine nous avons développé différentes procédures d'analyse non-invasive mobiles par microspectroscopie Raman et de fluorescence des rayons X (1,2). Nous présentons les premières cartographies de la composition élémentaire de céramiques à décors sophistiqués réalisées avec un imageur transportable M6 Jetstream (majolique de Castel Durante du XVI^e siècle et porcelaines du XIX^e siècle reproduisant des tableaux de W. Bouguereau et J.-E. Aubert (3)) sur site à la Cité de la Céramique, Sèvres ou avec un dispositif portable ELIO (aiguère produite pour l'Empereur Qianlong, XVIII^e siècle (1)) au musée de l'Impératrice Eugénie du château de Fontainebleau). Les éléments majeurs (Si, Ca, K, Pb des émaux et pâtes; Cu, Zn, Au, Ag, Hg pour les dorures et les parties métalliques) et de nombreux éléments mineurs, colorants (Fe, Co, Mn, Cu, Cr, Ni, Sb, U, Au, Pt, Y, Ta), opacifiants (As, Sn, Zn) ou impuretés (Ba, Ti, Bi, Rb, Sr, Zr, Y, Ta, Ga, Cl) sont identifiés et cartographiés. La comparaison des images obtenues pour différentes transitions du plomb fournit des informations stratigraphiques. La combinaison avec l'analyse Raman permet de discuter la nature des matières premières et leur provenance et de mieux documenter les technologies d'émaillage. L'application de ces techniques d'imagerie non-invasive initialement développées pour l'étude de peintures exceptionnelles à des objets de nature variée, plats mais aussi tridimensionnels devrait apporter de nouvelles connaissances sur les procédés de décorations de surface.

Les auteurs remercient Mme V. Mesqui (Cité de la Céramique) et MM. V. Droguet et V. Cochet (Château de Fontainebleau) ainsi que les personnels des régies pour l'accès aux œuvres et leurs contributions à la connaissance des objets analysés.

1. Colomban, P., Gironda, M., Vangu, D., Kirmizi, B., Zhao, B., Cochet, V. The technology transfer from Europe to China in the 17th–18th centuries : Non-invasive on-site XRF and Raman analyses of Chinese Qing Dynasty enameled masterpieces made using European ingredients/recipes. *Materials* 2021, 14(23), 7434. <https://doi.org/10.3390/ma14237434>
2. Colomban, P., Simsek Franci, G., Burlot, J., Gallet, X., Zhao, B., Clais, J.B. Non-Invasive On-Site pXRF Analysis of Coloring Agents, Marks and Enamels of Qing Imperial and Non-Imperial Porcelain. *Ceramics*, 2023, 6(1), 447-474. <https://doi.org/10.3390/ceramics6010026>
3. Colomban, P., Gerken, M., Gironda, M., Mesqui, V. On-site micro-XRF mapping of enameled porcelain paintings and sculpture. First demonstration. *J. Eur. Ceramic Soc.* 2025, 45(1), 116849. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.116849>

*Intervenant

Mots-Clés : Analyse, mobile, imagerie, technologie, émaux, transfert de technologie, France, Chine, Japon

Le projet iSOPALIN « Approche multi-isotopique pour la reconstitution des milieux de croissance des fibres de lin utilisées en Égypte ancienne » - premiers résultats et perspectives

Emmanuelle Delqué-Kolic * ¹, Anita Quiles ¹, Marie Ferrant ², Patrick Jame ², Jean-Pascal Dumoulin ¹, Edwige Pons-Branchu ³, Catherine Jose ², Christine Oberlin ⁴, Ingrid Caffy ¹, Sanaa Gaballah ⁵, Nadine Mounir ⁵

¹ Laboratoire de mesure du carbone 14/LSCE – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, Ministère de la Culture et de la Communication, Centre National de la Recherche Scientifique – France

² Institut des Sciences Analytiques – CNRS : UMR5280, Université de Lyon, Université Lyon 1 : UMR5280, Université de Lyon, Université Lyon 1 – France

³ Géochronologie Traceurs Archéométrie/LSCE – CNRS, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), CEA – France

⁴ CDRC/Archéologie et Archéométrie UMR5138 – CNRS, Université Lumière - Lyon II – France

⁵ Institut français d'archéologie orientale du Caire – Égypte

La fibre de lin est un matériau naturel utilisé depuis plusieurs millénaires en Égypte, très fréquemment mis au jour lors de fouilles archéologiques en contexte funéraire comme d'habitat, et dont le climat aride en a permis la bonne conservation. Ses nombreux usages dans la société égyptienne ancienne en font une source particulièrement pertinente pour reconstituer l'histoire des techniques et des pratiques anciennes, mais aussi comme marqueur des environnements et climats passés. Débuté en 2024, le projet iSOPALIN (ANR-23-CE29-0014-01) se propose, par une approche multi-isotopique des fibres de lin (d13C, d2H, d18O, 87Sr/86Sr), d'investir ce matériau ancien pour restituer des données paléo-environnementales permettant d'identifier des zones de provenance de la matière première de textiles archéologiques, et ainsi mieux appréhender les pratiques anciennes.

En s'appuyant sur les résultats obtenus au cours de projets récents investissant la fibre de lin sous un angle morphologique et structurel (ANUBIS, ANR-21-CE43-0010) et en tant que marqueur chronologique (MERYT, ANR-19-CE27-0010), le projet iSOPALIN aborde ce matériau naturel par les outils les plus innovants de la géochimie isotopique qui se développent depuis quelques années en archéométrie. La collaboration d'équipes françaises et égyptiennes pour mener à bien ce travail permet, en particulier, de déployer les analyses sur un large panel d'échantillons : des lins actuels produits en France et en Égypte, des fibres archéologiques issues de musées européens ainsi que des textiles provenant de sites en cours de fouille actuellement en Égypte. Plusieurs axes d'investigations sont engagés, incluant 1/ le développement puis l'installation au pôle archéométrie de l'Ifao d'un instrument pour la mesure du carbone 13, 2/ l'analyse des isotopes légers (d13C, d2H, d18O) de celluloses extraites de lins modernes et archéologiques, 3/ des mesures isotopiques de strontium de fibres et de sols associés.

Cette communication exposera les objectifs du projet iSOPALIN en détaillant les moyens mis en œuvre pour les atteindre, fera état des résultats obtenus et ouvrira sur les perspectives à venir.

*Intervenant

Mots-Clés : lin, Égypte ancienne, isotopie, environnement

La matière organique du sol fournit des informations sur les scénarios de construction des champs surélevés en Afrique centrale.

Daria Derbilova ^{*} ¹, David Sebag ², Frédéric Delarue ², Marie-Liesse Aubertin ², Julien Thiesson ², Oscar Pascal Malou ³, Priscia Oliva ³, Richard Oslisly ³, Jean-Jacques Braun ³, Geoffroy De Saulieu ³

¹ Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols – Université Paris-Sorbonne - Paris IV, CNRS, EPHE – France

² Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols (METIS) – Ecole Pratique des Hautes Etudes, Institut National des Sciences de l'Univers, Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique – France – david.sebag@ifpen.fr, frederic.delarue@upmc.fr

³ Institut de Recherche pour le Développement (IRD) – IRD Cameroun, Quartier Elig Essono, BP1857, Yaoundé – Cameroun – geoffroy.desaulieu@ird.fr

Les champs surélevés sont d'anciens systèmes agricoles conçus pour protéger les cultures dans les régions intertropicales humides, notamment dans les zones sujettes aux inondations (Denevan and Turner, 1974). Malgré l'intérêt récent porté aux champs surélevés d'Afrique Centrale (AC), leur construction reste mal comprise (Rodrigues et al., 2020). Par ailleurs, la qualité de la matière organique des sols (MOS) au delà d'être essentielle pour la santé des écosystèmes et la séquestration du carbone, peut renseigner sur le type de gestions agricoles mises en place par le passé (Mckey, 2021). Ainsi, cette étude se concentre sur les propriétés de la MOS quantifiée et caractérisée par l'analyse thermique Rock-Eval® et la susceptibilité magnétique pour reconstruire les étapes de formation des champs surélevés au Gabon, sur les sites d'Oyane et de Matadi.

Les premières évaluations des stocks de carbone sur les deux sites indiquent que ces sols comptent parmi les plus riches en carbone de la région, avec des estimations pouvant atteindre $148,87 \pm 44,6$ tonnes de carbone par hectare ($tC\ ha^{-1}$). Malgré un phénomène d'accumulation de la MOS, sur le site d'Oyane, aucun impact humain durable n'a été enregistré sur les propriétés qualitatives de la MOS qui est comparable à celle des sites témoins. À Matadi, l'accumulation de MOS est associée à un enrichissement en charbon de bois observable dans la matrice du sol et quantifiable par analyse thermique Rock-Eval®. Des valeurs très élevées de susceptibilité magnétique, témoignant d'une déforestation causée par des feux, dont l'origine est probablement anthropique puisque les feux naturels sont rares dans la région (Tovar et al., 2014). La datation des charbons de bois révèle que les champs surélevés de Matadi ont été aménagés durant l'âge du Fer récent. En examinant le profil pédologique d'Oyane, des indices d'oxydoréduction indiquent que les champs étaient suffisamment surélevés pour protéger les cultures des inondations. À Matadi, bien que de telles marques ne soient pas présentes, les inondations fréquentes du site et l'orientation des champs en direction de la pente suggèrent qu'ils ont également été conçus pour une meilleure gestion hydrique (drainage).

Quoique ces aménagements agricoles soient encore difficiles à dater, les champs surélevés représentent un patrimoine historique important indiquant la maîtrise d'ingénieries agricoles et sociales importantes mais encore mal comprises dans l'Afrique centrale ancienne.

*Intervenant

Denevan, W M, et B L Turner. Forms, Functions and associations of raised fields in the old world tropics 39 (1974) : 24-33.

Rodrigues, Leonor, Tobias Sprafke, Carine Bokatola Moyikola, Bernard G. Barthès, Isabelle Bertrand, Marion Comptour, Stéphen Rostain, Joseph Yoka, et Doyle McKey. A Congo Basin Ethnographic Analogue of Pre-Columbian Amazonian Raised Fields Shows the Ephemeral Legacy of Organic Matter Management. *Scientific Reports* 10, no 1 (2 juillet 2020) : 10851. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67467-8>

McKey, D., 2021. Making the most of grasslands and heathlands. *Revue d'ethnoécologie*. <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.8120>

Tovar, C., Breman, E., Brncic, T., Harris, D.J., Bailey, R., Willis, K.J., 2014. Influence of 1100 years of burning on the central African rainforest. *Ecography* 37, 1139–1148. <https://doi.org/10.1111/ecog.00697>

Mots-Clés : Matière Organique des Sols, Anthrosols, Champs, surélevés, Afrique Centrale, Rock, Eval, Susceptibilité Magnétique, Scénarios de Construction

Etude du comportement thermo-mécanique d'alliages d'aluminium à durcissement structural issus du patrimoine aéronautique de la Seconde Guerre mondiale

Agathe Duclos ^{*} ^{1,2}, Philippe Sciau ³, Benoît Malard ², Magali Brunet ¹

¹ Centre délaboration de matériaux et études structurales – CEMES CNRS, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse – France – agathe.duclos@cemes.fr

² Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux – CIRIMAT, Université de Toulouse, CNRS, INP-ENSIACET 4 allée Emile Monso - BP44362, 31030 Toulouse cedex 4 – France

L'étude d'alliages d'aluminium à durcissement structural de type Al-Cu-Mg-Si (Duralumin) issus du patrimoine aéronautique de la Seconde Guerre mondiale vise à améliorer la connaissance des techniques métallurgiques industrielles du début du XX^e siècle.

Les archives industrielles décrivant les procédés de fabrication sont cependant fragmentaires, et les techniques d'analyse modernes ont été développées a posteriori (1,2). Les séquences de précipitation des éléments d'alliages étaient donc peu connues et l'origine du durcissement structural, principalement causé par la précipitation fine (3), est aujourd'hui très peu documentée pour ces alliages.

Une approche expérimentale est nécessaire pour compléter ce manque de sources historiques. Grâce à l'analyse de la microstructure et des propriétés mécaniques, la connaissance de l'évolution sur le long terme de la précipitation peut également être approfondie. Ces alliages ont en effet subi de nombreux changements thermo-mécaniques (utilisation, crash, enfouissement). Il faut donc mettre en place des stratégies de transformation pour retrouver un état similaire à l'état d'origine des pièces.

Il nous est cependant impossible d'obtenir une tôle exactement identique à la pièce fabriquée il y a 80 ans. Les tôles industrielles étaient fabriquées directement à partir de minerai pur, puis traitées thermiquement par mise en solution solide à 500°C, trempe, puis maturation à température ambiante pendant quelques jours (4,5). Ce traitement correspond à un traitement T4 actuel, appliqué aux alliages d'aluminium de la famille 2xxx (3).

Pour retrouver un état permettant une séquence de précipitation similaire à l'état T4 d'origine, un alliage de type Duralumin prélevé sur un bombardier allemand Junkers Ju88 accidenté a été étudié. Deux méthodes de remise à l'état original ont été envisagées. Une partie de l'alliage a été refondue à 700°C sous vide puis laminée à chaud pour obtenir une tôle de 1 mm d'épaisseur. Un traitement T4 lui a ensuite été appliqué. Une deuxième partie de l'alliage a directement subi un traitement T4 sans passer par la fusion. Un microduromètre et un banc de microtraction ont été utilisés pour mesurer les propriétés mécaniques résultantes. La microstructure obtenue a été observée par microscopie optique. Un microscope à balayage couplé à la spectroscopie de rayons X à énergie dispersive a été utilisé pour analyser la composition et un microscope à transmission conventionnel a été utilisé pour observer la précipitation fine.

Nous montrons que la remise en solution solide est une alternative adéquate à la remise en fusion pour retrouver un état thermo-mécanique similaire à l'état d'origine de cette pièce aéronautique. La pression de vapeur saturante du Mg contenu dans l'alliage entraîne son évaporation lors de la fusion sous vide.

*Intervenant

La remise en solution permet de ne pas altérer les grains et la composition. La précipitation observée est celle attendue pour un alliage Al-4Cu-1Mg-Si. Le manque d'informations sur les conditions de fabrication à échelle industrielle ne permet cependant pas de reproduire avec certitude l'entièreté du procédé de l'époque.

Références

- (1) Guinier A. La diffraction des rayons X aux très petits angles : application à l'étude de phénomènes ultramicroscopiques. Ann Phys. 1939 ;11(12) :161–237.
- (2) Dupouy G. Microscope électronique magnétique à grand pouvoir de résolution. J Phys Radium. 1946 ;7(11) :320–329.
- (3) Dubost B, Sainfort P. Durcissement par précipitation des alliages d'aluminium. Techniques de l'ingénieur. Editions T.I. ; 1991.
- (4) Wilm A. Physikalisch-metallurgische Untersuchungen über magnesiumhaltige Aluminiumlegierungen. Metallurgie : Zeitschrift für de gesamte Hüttenkunde. 1911 ;8(8) :225–227.
- (5) Böhle F. Leichtmetalle. Springer Berlin Heidelberg ; 1956.

Mots-Clés : Duralumin, Histoire des techniques, Patrimoine aéronautique, Traitement thermique

Imagerie μ -LIBS et céramiques : apports et limites d'une méthode « couteau-suisse »

Nicolas Herreyre * ^{1,2}, Valérie Thirion-Merle ¹, Anne Schmitt ¹, Christine Oberlin ¹, Clothilde Comby-Zerbino ², Motto-Ros Vincent ²

¹ Archéologie et Archéométrie – Université Lumière - Lyon 2, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, CNRS : UMR5138 – France

² Institut Lumière Matière [Villeurbanne] – Université Claude Bernard Lyon 1, Centre National de la Recherche Scientifique – France

Afin de caractériser les céramiques, autant pétrologiquement que chimiquement, nous développons une approche novatrice grâce à la technique d'imagerie μ -LIBS (spectroscopie de plasma induit par laser). Cette méthode permet d'analyser des surfaces de quelques centimètres carrés avec un minimum de préparation d'échantillon. La μ -LIBS fournit des cartographies élémentaires détaillées, avec une résolution micrométrique essentielle pour la caractérisation des minéraux.

En complément des méthodes classiques de pétrographie au microscope polarisant, notre technique permet d'identifier la fraction granulaire, sur une simple section polie de tesson. Il est possible de déterminer rapidement les familles minérales en présence et, avec une approche de microscopie quantitative, d'estimer non seulement la proportion du dégraissant par rapport à l'argile, mais aussi les paramètres de taille et de forme des grains.

Contrairement à d'autres techniques élémentaires, comme la spectrométrie de fluorescence X, qui fournissent la composition globale d'un échantillon, l'avantage de la μ -LIBS réside par ailleurs dans sa capacité à fournir une information chimique résolue spatialement sur toute la surface. Cela permet de segmenter l'analyse pour exclure les contributions de la fraction granulaire de la composition globale d'un tesson. On peut ainsi réaliser une analyse quantitative de l'argile seule, facilitant les comparaisons entre différentes céramiques, indépendamment du dégraissant ajouté. Cela peut être nécessaire pour certaines productions de *Lugdunum*, par exemple. Cette approche ouvre ainsi des perspectives prometteuses pour l'identification des sources de matières premières et la provenance des céramiques.

Mots-Clés : céramique, imagerie μ , LIBS, caractérisation, pétrographie, quantification

*Intervenant

A metabolomics-guided approach to identify ancient tars in archaeological contexts : Differentiating plant products and production processes

Barbara Huber ^{*} ^{1,2}, Océane Pollet ^{3,4}, Lou Spanneut ^{3,5}, Lindsay Mas-Normand ⁶, Céline Joliot ⁶, Gérald Culioli ⁶, Thibaut Deviese ⁷

¹ Max Planck Institute of Geoanthropology – Allemagne – huber@gea.mpg.de

² Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, Aix Marseille Université – France

³ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, Aix Marseille Université – France

⁴ Physique des Interactions Ioniques et Moléculaires – Aix-Marseille Université, CNRS – France

⁵ Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique – Aix Marseille Université, Ministère de la culture, CNRS – France

⁶ Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE) – UMR CNRS 7263, IRD 237, Aix Marseille Université, Avignon Université – France

⁷ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Aix-Marseille Université - AMU, Institut de Recherche pour le Développement - IRD (FRANCE), INRAE – France

Archaeological evidence revealed that humans have been producing « synthetic » substances as far back as the Middle Palaeolithic. For instance, Neanderthals transformed natural materials like wood to produce tars, showcasing advanced technological skills. Unlike natural plant exudates such as resins, which visibly ooze from trees as sap, tars are produced through transformative processes like dry distillation. Similarly, essential oils, extracted from plant wood or leaves, require hydro- or steam distillation. These two types of substances, originating from the same organism, often share overlapping molecular signatures, making their differentiation challenging, especially in archaeological contexts, where degradation further complicates identification.

Despite these challenges, tars, pitches, and oils hold immense archaeological significance. Their varied applications in shipbuilding, as adhesives and sealants, in medicine and cosmetics, and during mummification processes offer valuable insights into the technologies and materials of past societies. Recent advancements in analytical chemistry, particularly the development of the newest omic science – metabolomics – provide a holistic approach to studying such organic materials. Metabolomics enables the detailed analysis of complex metabolite profiles, facilitating the differentiation of closely related plant products and species.

This study presents a novel GC-MS-based metabolomics approach to identify molecular markers for distinguishing between tars, resins, and oils. By applying this method to modern samples of *Cedrus atlantica*, we identified diagnostic compounds characteristic of these substances and their production processes. Subsequently, archaeological samples were investigated to determine the presence of these chemomarkers and to assign the samples to specific products.

Our findings highlight the potential of metabolomics as a powerful analytical tool for differentiating plant-derived materials. By improving the identification of these substances, this research enhances our

*Intervenant

understanding of the technologies, processes, and resources employed by ancient societies, offering a valuable framework for archaeological and heritage studies.

Mots-Clés : Metabolomics, Molecular markers, Production Processes, Tars, Cedrus atlantica

A multi-analytical approach for the characterisation of painted plasters from Rue des Caillons in Poitiers

Adriana Iuliano * ¹, Zoe Fucito ¹, Isabelle Pianet ¹, Mathilde Carrive ²

¹ Archéosciences Bordeaux – université Bordeaux Montaigne, Université de Bordeaux, CNRS : UMR6034 – France – adriana.iuliano@u-bordeaux-montaigne.fr

² Hellénisation et romanisation dans le monde antique (HeRMA) - UR 15071 – Université de Poitiers – France

Roman influence expanded in Gaul from the 3rd century BC and culminated with the conquest and administration of the region under Augustus, introducing new construction and decoration techniques, including wall painting. Initially influenced by models from the Italian peninsula, Gallo-Roman decorative traditions are known for gradually acquiring a certain autonomy and originality in the second half of the 1st century AD. This raises questions on possible changes in the choice of pigments and painting technique made by craftsmen of the time. Painting production in Gaul is well studied and documented from an archaeological and artistic point of view. In the last ten years, archaeometric studies have also been carried out, although limited to a single building or a group of close and/or contemporary buildings, therefore not allowing a comprehensive study of the practices employed in ancient painting. This research addresses this gap by investigating a large corpus of wall paintings in the Roman province : that of *Limonium* (modern-day Poitiers, France). In particular, this poster focuses on the painted plaster fragments found on Rue des Caillons, dating between the second half of the 1st century and the 2nd century AD and belonging to a garden painting decoration. The fragments were analysed to characterise the colour palette and understand the painting technique used. A multi-analytical approach was followed. In a first step, non-invasive techniques such as portable microscopy, hyperspectral imaging (HSI), x-ray fluorescence (XRF) spectroscopy and x-ray diffraction (XRD) analysis were used. This allowed for the characterisation of red and yellow ochres, green earth, Egyptian blue, carbon black, and for the selection of sampling areas. Micro-invasive analyses were carried out in a second step, including optical microscopy, scanning electron microscopy coupled with energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDS) and Fourier-transformed infrared (FTIR) spectroscopy. Punctual and molecular analyses allowed to confirm results obtained in the first step, while stratigraphic observations gave insights on the painting technique, determining the presence of pigment mixtures and complex paint layers as well as the use of a lime painting technique.

Mots-Clés : Roman Gaul, Limonium, wall painting, painted plaster, pigment, binder, painting technique, archaeometry, multi, analytical protocol

*Intervenant

Multiphysical study of bone' breakage and insights for in archaeology.

Lisa Justiniany * ^{1,2}, Laurent Sabatier ², Jean-Philip Brugal ¹, Cécile Baron ³, Philippe Lasaygues ², Pierre Magniez ¹

¹ Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique – Aix-Marseille Université - AMU, CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication, INRAP – France

² Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique [Marseille] – Aix-Marseille Université - AMU, CNRS, Centrale Méditerranée – France

³ Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre – Aix-Marseille Université - AMU, CNRS, Centrale Méditerranée – France

During the Paleolithic, the bone marrow of herbivores is a vital resource for human groups, especially during cold periods or in periglacial contexts. To obtain it, they systematically broke the long bones of their prey (humerus, radius-ulna, femur, and tibia) to extract these essential nutritional and domestic byproducts. This behaviour is well documented in most settlements occupied by hunter-gatherer societies, from the Paleolithic period as well as from ethnographic studies. The analysis of bone fracture patterns thus constitutes a major data point for identifying game exploitation strategies, including the consumption and processing of carcasses by prehistoric peoples. It allows a better understanding of their cognitive abilities, technical skills, and socio-economic behaviors, as well as a precise determination of site functions. However, to have a better resolution of this fracturing process, it is imperative to have a thorough knowledge of the mechanical properties of the exploited material, i.e., bones of herbivores. In this study, 58 fragments of ox (*Bos taurus*) from a corpus of 80 fractured long bones as part of an experimentation (IRN 0871 from CNRS-INEE TaphEN) were analyzed according to three methods : measurement of mass density, measurement of acoustic properties using ultrasonic interferometry, and a micro-CT scanner. Through these various analytical protocols made at the Laboratory of Mechanics and Acoustics (LMA, Marseille), new quantitative data regarding the morpho-structural properties of bones (density, porosity, elastic modulus) have been obtained, highlighting intra- and inter-bone variations depending on different diaphyseal areas or portions. Preliminary results show that this original and unprecedented multiphysical approaches in this field enhances our understanding of bone breakage, distinguishing fracture patterns based on the anatomical element considered. The objective of our study (as part of a doctoral project by LJ) will be to further develop this cross-disciplinary and collaborative work on a wider project to better understand the breaking techniques used by prehistoric peoples and to better identify taphonomic biases (post-depositional preservation) by analyzing a corpus of fresh, dry, and fossil long bone fragments from various species and contexts. The combination of actualistic, quantitative, and experimental studies, as well as studies on archaeopaleontological remains, will allow for high-resolution analytics on human dietary strategies through a better understanding of the 'bone' material.

Mots-Clés : long bones, breakage, morphostructural properties, X ray micro tomography, ultrasound

*Intervenant

L'analyse directe des œuvres de musée de grande taille par LA-ICP-MS au C2RMF

David Bourgarit ¹, Jessica Legendre ², Benoit Mille ³

¹ Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) / Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques (TEMPS, UMR8068) – Ministère de la Culture et de la Communication – France – david.bourgarit@culture.gouv.fr

² Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) – Ministère de la Culture et de la Communication – France – jessica.legendre@culture.gouv.fr

³ Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) / Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques (TEMPS, UMR8068) – Ministère de la Culture et de la Communication – France – benoit.mille@culture.gouv.fr

La technique LA-ICP-MS est maintenant largement diffusée au sein de la communauté des archéomètres, et notamment en France (Dubussieux 2016). Elle permet, par un prélèvement de taille micrométrique et donc invisible à l'œil nu, l'analyse des éléments majeurs et de traces sur un grand nombre de matériaux tels que les terres cuites, les verres, les métaux précieux, les roches, les pigments et les matières dures animales. Elle permet aussi de mesurer certains rapports isotopiques, et donne accès à des profils de concentration pour appréhender d'éventuelles variations de composition en fonction de la profondeur. Cependant, les appareils aujourd'hui disponibles ne permettent d'analyser que des objets de relativement petite taille, inférieure à quelques centimètres en mode standard, à la dizaine de centimètres sur certaines adaptations. Or, de nombreux objets du patrimoine ne pouvant être prélevés de manière trop invasive dépassent de beaucoup ces dimensions. Grâce au soutien financier de la région Ile-de-France (DIM PA-MIR), le C2RMF et ses partenaires ont acquis un système d'analyse par LA-ICP-MS original (plateforme ATRAMAP : Analyse des TRACES pour les Matériaux Anciens et Patrimoniaux). Ce système combine un spectromètre de masse en tandem (ICP-MS-MS Agilent 8900) avec une ablation à laser pulsé (excimère ArF à 193 nm Applied Spectra Resolution SE).

L'originalité de notre installation réside dans l'intégration d'un bras articulé spécialement conçu pour le C2RMF, permettant de conduire le faisceau laser en dehors de la cellule conventionnelle (*ex*LA-ICP-MS). Cette innovation rend possible, pour la première fois, l'analyse directe d'œuvres patrimoniales de grande taille, ouvrant de nouvelles perspectives pour la recherche et la conservation du patrimoine culturel. Ainsi par exemple, la question de la provenance des matériaux est un enjeu très important et indépendant de la taille de l'artefact à analyser, soulignant la nécessité de développer des méthodes adaptées aux objets volumineux. La combinaison de la résolution spatiale latérale et en profondeur de l'ablation laser avec la sensibilité de l'ICP-MS fait de cet outil d'analyse un instrument essentiel, complémentaire aux techniques déjà en place au C2RMF pour l'analyse des objets de grande taille, comme l'accélérateur de particules New AGLAE.

Parmi les premières applications du *ex*LA-ICP-MS, nous présenterons ici les résultats de l'analyse du célèbre groupe statuaire de Taharqa et Hémén, une antiquité égyptienne conservée au musée du Louvre, qui fournit des données de référence essentielle pour la connaissance de la composition élémentaire des métaux utilisés en Egypte au début du VII^e siècle av. J.-C.

Dussubieux, Laure, Mark Golitko, et B. Gratuze, éd. *Recent advances in laser ablation ICP-MS for Archaeology*. Berlin : Springer-Verlag, 2016.

Mots-Clés : LA ICP MS, Provenance, Métaux précieux, Analyse de grands objets, Egypte ancienne

Imagerie μ -LIBS pour la datation de mortiers de chaux

Lana Neoricic Maclot * ¹, Clothilde Comby-Zerbino ¹, Nicolas Herreyre ^{1,2}, Sylvain Hermelin ¹, Christine Oberlin ², Anne Schmitt ², Vincent Motto-Ros ¹

¹ Institut Lumière Matière [Villeurbanne] – Université Claude Bernard Lyon 1, Centre National de la Recherche Scientifique – France – lanea.neoricic-maclot@univ-lyon1.fr, clothilde.zerbino@univ-lyon1.fr

² Archéologie et Archéométrie – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université Claude Bernard - Lyon 1, Université Lumière - Lyon 2 – France

Les mortiers de chaux jouent un rôle clé dans la détermination de la chronologie des bâtiments datant de l'Antiquité à la révolution industrielle, étant le seul type de matériau de construction datable qui ne peut être remployé. La principale difficulté pour dater ces mortiers de manière fiable par la datation C-14 réside dans la présence d'éléments susceptibles de fausser les âges. Les deux éléments les plus importants sont les carbonates géogéniques, qui ne possèdent que du carbone mort et surestiment donc l'âge mesuré, ainsi que les cristallisations secondaires de carbonate de calcium dans le liant, qui peuvent induire une sous-estimation des âges liée à l'absorption de CO₂ atmosphérique postérieure à la prise du mortier. Ces éléments, souvent de taille micrométrique, doivent être exclus de la mesure au radiocarbone, ce qui rend la datation du mortier de chaux difficile et très peu fiable avec les protocoles usuels (Hajdas et al., Hayen et al., Radiocarbon (2017)). Nous présentons une nouvelle méthode pour l'extraction ciblée du carbone à partir du liant de mortier de chaux non-recristallisé uniquement. Dans un premier temps, nous proposons d'utiliser la spectroscopie de plasma induit par le laser (ou LIBS pour Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) à basse énergie (Hahn et Omenetto, Applied Spectroscopy (2010, 2012)) pour générer une image élémentaire de l'échantillon, permettant ainsi de distinguer le liant des agrégats sur la base de leur composition chimique et de leur densité (Richiero et al, Applied Spectroscopy (2022)). Cette technique implique de courtes impulsions laser focalisées sur la surface de l'échantillon, permettant de vaporiser une fraction de matière et de créer un plasma pendant que l'énergie laser est déposée. La relaxation du plasma qui s'ensuit est accompagnée d'une émission de lumière qui présente une empreinte élémentaire de l'échantillon, offrant alors un aperçu de sa composition chimique. Cette imagerie sera réalisée dans la configuration micro-LIBS, ce qui signifie que la sélection du liant sera effectuée avec une précision micrométrique. Ces données seront traitées par un réseau de neurones artificiels (ANN pour Artificial Neural Network) afin d'identifier les différentes phases minérales contenues dans l'échantillon. Nous combinerons les données LIBS-ANN avec la photoluminescence et la microscopie optique pour l'identification des cristallisations secondaires, créant ainsi un masque sur l'image LIBS afin de ne sélectionner que la partie du liant susceptible de produire une datation C-14 de haute-fidélité. Dans un deuxième temps, le même instrument LIBS sera utilisé, mais cette fois sous vide, avec une énergie laser élevée et uniquement sur les zones d'intérêt soigneusement sélectionnées à l'aide du masque généré. Le matériau carbonaté ablaté sera recueilli sous forme de CO₂ et envoyé pour datation par spectrométrie de masse par accélérateur. Grâce à cette nouvelle méthode, notre projet pourrait résoudre la question toujours d'actualité de la datation fiable des mortiers de chaux, en fournissant un outil relativement simple mais indispensable aux archéologues.

*Intervenant

Mots-Clés : mortier, chaux, datation, LIBS, imagerie, intelligence artificielle

Objectiver les données métriques 3D des gravures sur support mobilier : pour une meilleure compréhension de la variabilité des registres géométriques de l’Azilien récent du Grand Ouest de la France

Caroline Paredes * ¹, Elena Paillet ^{2,3}, Nicolas Naudinot ⁴

¹ Université de Rennes 2 – Université Rennes 2 - Haute Bretagne, Université Rennes 2 - Haute Bretagne : EA1285, Université Rennes 2 - Haute Bretagne : Mastérant – France – imcarooo.contact@gmail.com

² Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire (CReAAH) – Université de Rennes 1 : UMR6566 – Université de Rennes 1 Campus de Beaulieu CS 74205 -35042 Rennes Cedex- France, France

³ Service régional de l’Archéologie de la DRAC Bretagne (SRA) – Ministère de la Culture et de la Communication – Campus Beaulieu, Avenue du Professeur Foulon, 35700 Rennes, France

⁴ UMR 7194 HNHP - Muséum national d’Histoire naturelle (MNHN), 17 place du Trocadéro - 75016 Paris - France – Museum National d’Histoire Naturelle, CNRS : UMR7194 – France

Les systèmes graphiques de l’Azilien récent en France sont marqués par une abondance de registres géométriques. Le choix du support, exclusivement mobilier, et l’omniprésence des stries parallèles sont des caractéristiques a priori communes entre les données relatives aux comportements symboliques de cette période. Pourtant, derrière leur apparence monotone, se cache une richesse dont le potentiel n’a pas encore été exploré en profondeur. En effet, bien que leur potentielle diversité ait été évoquée auparavant (D’Errico, 1989, 1994 ; Naudinot, 2022), ces séries manquent cruellement d’études approfondies pour percevoir ces variabilités. Si certaines variabilités régionales au sein des composantes lithiques de l’Azilien récent ont pu être attestées (Tomasso, 2014 ; Naudinot *et al.*, 2017), nous pouvons tout aussi bien imaginer la présence de variabilités régionales concernant les comportements symboliques. Cette perspective s’inscrit dans une dynamique de recherche collective importante sur l’Azilien récent de ces dernières années, portée notamment par l’ANR TAIHA (*Le Tardiglaciaire dans l’Arc atlantique : Interactions techniques, socio-économiques et graphiques entre communautés Humaines et Animales durant la transition Pléistocène-Holocène (14500 – 11 000 cal BP*, Langlais et Naudinot dir.).

Nous souhaitons ici présenter les résultats d’un travail de master 2 à travers l’étude de quelques mobiliers lithiques gravés et localisés dans le Grand Ouest de la France. Nous avons mis en place une méthodologie d’étude reposant sur une approche croisée dite techno-stylistique. Les indices stylistiques et techniques ont notamment été observés avec l’aide de deux outils d’analyse non invasive aux fonctionnements différents. Nous avons majoritairement utilisé le microscope numérique 3D Keyence VHX-7000, conçu pour la réalisation d’observations rapides d’échantillons sous tous les angles. Toutefois, dans une perspective d’objectivation des mesures métriques 3D obtenues avec l’appareil Keyence, nous avons aussi eu recours à l’Alicona Infinite Focus G4, un outil métrologique spécialisé dans la mesure de la forme et de la rugosité des surfaces. Notre approche techno-stylistique, renforcée par le travail comparatif des données métriques 3D, s’est donc révélée prometteuse pour les études fines de supports gravés de registres géométriques. Les résultats montrent notamment un fort potentiel informatif sur leurs diversités à l’échelle du support, avec l’observation de convergences et de divergences stylistiques et techniques.

Les perspectives de recherche pour cette problématique sont nombreuses tant nous avons seulement effleuré le sujet. Le corpus devra être nécessairement élargi afin d’aborder les notions de variabilités régionales

*Intervenant

et interrégionales. L'inclusion d'expérimentations sera aussi indispensable afin de reconstituer l'historique des dynamiques gestuelles et symboliques autour de ces registres géométriques, reflétant la complexité des organisations socio-économiques à l'Azilien récent.

Mots-Clés : Azilien récent, art géométrique, gravure, Grand Ouest, Tardiglaciaire, analyse technique et stylistique, métrologie de surface, microscope numérique 3D

Développement de nouvelles méthodes pour l'étude des biomarqueurs dans les sédiments - vers une analyse durable des archives archéologiques et climatiques

Océane Pollet ^{*} ^{1,2}, Lou Spanneut ^{3,4}, Marie Fernandez ⁵, Elisabeth Badens ⁶, Edouard Bard ⁷, Klaudia Wilk ⁸, Christelle Crampon ⁹, Yoann Fagault ¹⁰, Antoine Joly ⁸, Isaline Lhoste ⁸, Adil Mouahid ⁹, Karine Seaudeau-Pirouley ⁸, Thibaut Devière ¹¹

¹ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, Aix Marseille Université – France – pollet@cerege.fr

² Physique des Interactions Ioniques et Moléculaires – Aix-Marseille Université, CNRS – France

³ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, Aix Marseille Université – France

⁴ Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique – Aix Marseille Université, Ministère de la culture, CNRS – France

⁵ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, Aix Marseille Université – France

⁶ Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Procédés Propres – Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Méditerranée – France

⁷ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, Aix Marseille Université – France

⁸ Innovation Fluides Supercritiques – IFS – France

⁹ Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Procédés Propres – Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Méditerranée – France

¹⁰ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, Aix Marseille Université – France

¹¹ Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, Aix Marseille Université – France

Le projet ecoSCience, fruit d'une collaboration entre le CEREGE, le laboratoire M2P2 à Aix-Marseille Université et Innovation Fluides Supercritiques, vise à développer des méthodes écologiques pour étudier les biomarqueurs organiques dans les sédiments. Dans le domaine des sciences paléoenvironnementales, leur caractérisation permet de mieux comprendre les changements climatiques. Dans le domaine archéologique, la matière organique préservée dans les sédiments de grottes est également essentielle pour reconstruire les modes de vie des populations anciennes. Cependant, elle est souvent préservée en très faible quantité et piégée dans un substrat majoritairement inorganique. Elle peut également avoir subi d'importants processus diagénétiques au cours du temps, rendant son extraction et sa caractérisation particulièrement difficiles. Traditionnellement, l'analyse de la matière organique préservée dans les sédiments repose sur des extractions utilisant d'importantes quantités de solvants organiques, suivies d'analyses par chromatographie et spectrométrie de masse. Bien que performantes, l'usage de solvants toxiques reste un problème écologique important pour ces approches analytiques. Face à ces défis, l'utilisation de fluides supercritiques, notamment le CO₂, représente une alternative prometteuse. En effet, le CO₂ supercritique

*Intervenant

présente des propriétés de solvatation uniques. Les technologies telles que l'extraction par fluide supercritique (SFE) et la chromatographie par fluide supercritique (SFC) permettent donc de réduire l'empreinte écologique des analyses. Alors que la SFE a déjà trouvé des applications dans l'étude des sédiments, la SFC reste encore peu exploitée. Cette communication présente les méthodologies qui ont été mises en œuvre grâce aux fluides supercritiques pour extraire la matière organique préservée dans les sédiments archéologiques du site du Portel-Ouest (Ariège) ainsi que les premiers résultats de la caractérisation de ces extraits par SFC-MS.

Mots-Clés : Sédiments archéologiques, Biomarqueurs, Fluides supercritiques

Incursion ancienne de l'Homme dans le karst khmer contemporaine de son évolution morphogénétique (Grotte de Laang, Spean, Province de Battambang, Cambodge)

Simon Puaud ^{*} ¹, Heng Sophady ², Hubert Forestier ³, Valery Zeitoun ³,
Cécile Mourer-Chauviré ³, Roland Mourer ³

¹ UMR 6566 CReAAH - Archéosciences – CNRS : UMR6566, CNRS – France –
simon.puaud@univ-rennes1.fr

² Université Royale des Beaux Arts Phnom Penh (URBA) – 72, rue Preah Ang Meak Kavann, Phnom
Penh – Cambodge – sophadyheng2017@gmail.com

³ Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planètes, Environnement, UMR CNRS 5276, F-69622
Villeurbanne, France – Université Claude Bernard Lyon 1 – France – hubforestier@gmail.com,
cecile.mourer@gmail.com, roland.mourer@gmail.com

La grotte de Laang Spean se situe au NW du Cambodge, près de la frontière Thaïlandaise, dans la province de Battambang. Avec celle du Kampot, elle conserve les derniers affleurements de calcaire permien du pays (Sotham, 1997). Cette formation géologique est réduite à des morphologies karstiques résiduelles : les inselbergs tropicaux de forme mixte (Mark, 1991), les phnoms (collines en khmer). La grotte de Laang Spean est une vaste galerie traversant la partie sommitale du phnom Teak Trang. Des effondrements de la voûte sont à l'origine de 2 ouvertures et d'une arche imposante (en khmer Laang Spean : grotte du pont). Des amoncellements de blocs segmentent la galerie en 3 salles. Les premières découvertes archéologiques ont été menées à partir de 1964 par les époux Mourer (Mourer, 1994). L'occupation du pays par les khmers rouges, à partir de 1975, a empêché la poursuite de leurs travaux. En 2009, la mission préhistorique franco-cambodgienne (MPFC) dirigée par Hubert Forestier (MNHN) et Heng Sophady (URBA), reprend les fouilles à Laang Spean. Actuellement, les fouilles ont cessé mais les recherches continuent (Sophady et al., 2014; Zeitoun et al., 2024). Le remplissage sédimentaire de la grotte atteint 13 mètres, épaisseur remarquable en contexte tropical humide. Les vestiges de l'occupation préhistorique du site sont présents à 4 reprises, depuis une phase plus ancienne de 70 ka jusqu'au Néolithique (3 300 ans BP). L'industrie lithique la plus ancienne, façonnée à partir de blocs de calcaire local est contenue dans la couche 18. Cette épaisse formation sédimentaire (3 mètres) marque une étape importante de l'histoire morphogénétique et sédimentaire de la grotte. À cette période, la caverne, perchée, est déconnectée de la plaine alluviale. La karstification est ralentie, le plafond, encore intact. La cavité forme un vaste volume occupé par les chiroptères. Actuellement, de rares rhinolophes de Shamel fréquentent encore la grotte. Les dépôts de la couche 18 s'accumulent. Il s'agit des déjections (guano et urine) produites par les chauves-souris. Ces sédiments bruns, organiques, sont riches en phosphate de calcium. Outre le volume considérable du guano présent dans la grotte, l'occupation des chiroptères est attestée par les morphologies caractéristiques affectant les parois de la cavité (Wilford, 1966; Caillaud, 2017). L'observation minutieuse des surfaces met en évidence des cloches biologiques au plafond, des cannelures sur les parois et des sculptures en niches sur les massifs stalagmitiques. Dans et sous le guano, s'observent des fragments de calcaire corrodés et des encroûtements phosphatés (Audra et al., 2016). L'observation sur le terrain, au laboratoire des lames minces micromorphologiques d'échantillons prélevés sur le site, l'analyse par diffraction des rayons X des sédiments rendent compte de cette étape de l'histoire de la cavité au cours de laquelle les chiroptères ont eu un rôle morphogénétique prépondérant. Moteurs

*Intervenant

de la biocorrosion, les chauves-souris sont à l'origine des formes particulières où l'on assimile le guano à un dépôt corrélatif. C'est dans cet environnement que l'incursion humaine la plus ancienne de la grotte de Laang Spean vient s'intégrer il y a plus de 70 ka.

Mots-Clés : karst, Cambodge, Préhistoire, biocorrosion, chiroptères, phosphates, sédimentologie

Caractérisations croisées des céramiques antiques africaines : étude pétrographique et chimique préliminaire sur les productions de céramiques culinaires découvertes à *Thaenae* (Tunisie)

Rémi Rêve * ¹, Claudio Capelli ^{2,3}, Jean-Paul Ambrosi ⁴, Nabil Belmabrouk ⁵

¹ Chercheur associé au Centre Camille Jullian – Aix Marseille Univ., CNRS, CCJ, Aix-en-Provence, France – France

² Université de Gênes – Italie

³ Chercheur associé au Centre Camille Jullian – Aix Marseille Univ., CNRS, CCJ, Aix-en-Provence, France – France

⁴ Centre Européen d'Enseignement et de Recherche en Géosciences de l'Environnement – Aix-Marseille Univ., CNRS, IRD, INRAE, CEREGE, Aix-en-Provence, France – France

⁵ Institut National du Patrimoine - Tunisie – Tunisie

Si les céramiques africaines antiques font, depuis maintenant plus de 20 ans, l'objet de nombreuses études archéométriques, certaines catégories ne bénéficient pas encore de caractérisations poussées. C'est notamment le cas des céramiques culinaires, qui à l'instar des productions d'amphores ou de céramiques sigillées, ont également connu une large diffusion dans l'ensemble de la Méditerranée.

La caractérisation à *Thaenae* (Tunisie) de zones d'ateliers de céramiques a permis d'attester la production d'amphores et de céramiques communes entre le milieu du II^e et le Ve siècle apr. J.-C., ainsi que, dans une moindre mesure, de céramiques culinaires, les témoins de cette production demeurant en effet plus ténus. Néanmoins, cette catégorie est très abondante sur le site, ce qui suggère que l'approvisionnement des habitants en céramique de cuisine, s'il n'était pas assuré directement par les ateliers de *Thaenae*, passait vraisemblablement par des importations.

L'objet de cette présentation est ici de mettre en avant une étude archéologique et archéométrique croisée, réalisée sur du mobilier collecté dans le cadre d'une thèse de doctorat sur le site de *Thaenae*. L'étude macroscopique préliminaire a en effet permis de mettre en évidence des productions différentes (en termes de technologie, texture et composition) dont certaines ne semblent pas liées aux productions locales. On s'attachera ici à comparer et interpréter les résultats de la pétrographie (étude à la loupe binoculaire et au microscope polarisant sur lames minces) et les analyses chimiques obtenues en fluorescence X portable (pXRF) sur les pâtes de ces céramiques. Les typologies de céramiques culinaires africaines sont aujourd'hui bien documentées et on dispose également d'une solide base de références pétrographiques. Toutefois, la standardisation des formes des objets, ainsi que le caractère très générique des argiles et des pâtes présentes en Tunisie (dont les inclusions sont essentiellement composées de quartz) rendent parfois difficile les distinctions entre les ateliers. La caractérisation chimique des pâtes, ainsi que l'analyse des engobes rouges (revêtements argileux épurés, riches en oxydes de fer) présents sur certaines productions est ainsi à même de renforcer la caractérisation des différentes céramiques culinaires importées ou fabriquées à *Thaenae*.

*Intervenant

Les résultats de cette étude permettent d'envisager une application de cette méthode croisée sur des sites producteurs tunisiens. La mise en évidence de leurs caractères discriminants spécifiques conduira à établir de meilleures distinctions entre les différentes productions culinaires africaines.

A terme, ces résultats favoriseront également une meilleure appréhension des réseaux d'échanges impliquant la ville de *Thaenae* dans l'Antiquité, mais également ceux par lesquels les céramiques culinaires étaient diffusées au sein de l'Afrique romaine ainsi que dans l'ensemble du bassin méditerranéen.

Mots-Clés : Céramique culinaire, Afrique romaine, Thaenae, pétrographie, pXRF

Human bone diagenesis in terrestrial sedimentary deposits through elemental analysis by portable XRF

Mariana Sacchi * ^{1,2}, Beatriz Paredes-Goñez ², Maria Olga Lagos , María Andrea Ponce Laval ²

¹ Universidad de Buenos Aires – Argentine sacchi.mariana@gmail.com

² Universidad Católica de Temuco – Chili – bparedes@uct.cl

In human mineralized tissues, such as bones and teeth, diagenesis involves a set of physical and chemical changes that occur as surface and structural alterations during decomposition. The interaction between intrinsic factors such as size, porosity, chemical and molecular structure, and extrinsic factors, given by the chemistry and dynamics of the sedimentary deposits in which they are contained, makes it necessary today its deep evaluation to discriminate the information of the osteobiography of people, from that which is exchanged with the tissues as a result of diagenetic processes. The X-ray diffraction technique is a non-destructive technique that measures the concentration of elements in different materials. Its use has been widely documented for the identification of the origin of lithic raw materials such as obsidian, as well as in the analysis of ceramic material. For the study of human remains, the application of the technique is in an exploratory phase, yielding good results for the discrimination of pseudopathologies and trace elements. One measurement per bone can represent the individual's elemental composition, as differences are often more significant between individuals. In this work, we present the results of applying this technique on the set of human skeletal remains from the archaeological site 2 Oriente 1 (Labranza, Araucanía Region, Chile) and sediments in direct contact with the samples. A Bruker Tracer 5i portable analyzer was used and the analyses were carried out using the Mudrock Dual option. According to the literature, the exposure time could be between 240 and 120 seconds. Five individuals were tested and provided 14 samples that were exposed to 120 and 60-second tests. Sediment samples were exposed to a 70-second test. The elements present were compared statistically and, in the case of nitrogen, this data was crossed with the Ph analysis of the sediments. The compositions of both biological and sedimentary samples were compared for the exploration and discussion of diagenesis, through the application of the X-ray diffraction technique by Portable XRF.

Mots-Clés : Diagenesis, XRF, Bones, Composition

*Intervenant

À la recherche de la matière colorante, l'instrumentation portable et les grands instruments sont sur la piste.

Coline Théron * ^{1,2}, Pierre Bordet ¹, Emilie Chalmin ², Evan Company ¹,
Claudia Defrasne ³, Pauline Martinetto ⁴

¹ Institut Néel – Centre National de la Recherche Scientifique, Université Grenoble Alpes, Institut polytechnique de Grenoble - Grenoble Institute of Technology, Centre National de la Recherche Scientifique : UPR2940, Institut Polytechnique de Grenoble - Grenoble Institute of Technology – France
– coline.theron@neel.cnrs.fr, pierre.bordet@neel.cnrs.fr

² Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204 / FRE 2641, Université Savoie Mont Blanc, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204, Centre National de la Recherche Scientifique – France –
emilie.chalmin-aljanabi@univ-smb.fr

³ Environnements, Dynamiques et Territoires de Montagne – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université Savoie Mont Blanc – France – claudia.defrasne@univ-smb.fr

⁴ Institut Néel – Centre National de la Recherche Scientifique, Université Grenoble Alpes, Institut polytechnique de Grenoble - Grenoble Institute of Technology, Centre National de la Recherche Scientifique : UPR2940, Institut Polytechnique de Grenoble - Grenoble Institute of Technology – France
– pauline.martinetto@neel.cnrs.fr

Parmi les restes graphiques des sociétés du passé, il existe de la péninsule ibérique à l'Italie un riche corpus de peintures schématiques ; plus de 150 sites ont été recensés dans le sud de la France et les Alpes occidentales. Ces peintures, attribuées au Néolithique, sont généralement privées de contexte archéologique et se trouvent sur des parois rocheuses en constante évolution (altérations, modifications naturelles et anthropiques...). Ceci rend leur étude complexe. La caractérisation fine des matériaux utilisés pour les réaliser est alors essentielle à leur étude et leur compréhension. Elle permet notamment de questionner leur provenance, mais également d'aider à la caractérisation des syntaxes graphiques et de leur chronologie relative. C'est à ces fins qu'ont été menées les analyses physico-chimiques de deux abris : Otello (Saint-Rémy-de-Provence, Bouches-du-Rhône) et Eissartènes (Le Val, Var).

La mise en place de techniques d'analyse non invasives *in situ* et l'analyse de micro-prélèvements issus d'études antérieures permettent d'investiguer avec précision la matière tout en minimisant notre impact sur les peintures. La mise en place de techniques, que ce soit *in situ* ou sur les micro-prélèvements avec l'utilisation des lignes synchrotron ID22 et ID13 de l'ESRF, nous a permis d'enrichir considérablement nos connaissances concernant les matériaux liés à ces expressions graphiques. Cette nouvelle approche multi-analytique nous permet de déterminer les phases qui caractérisent la matière colorante (kaolinite, oxydes de fer et de titane) mais également de comprendre la présence des autres phases minérales qui composent le reste de la stratigraphie (substrat calcaire, altération de type sulfate et oxalates). Elle ouvre la voie à la formulation d'hypothèses de provenance et permet de mieux établir les liens entre les figures. Le bénéfice de l'utilisation de techniques innovantes et complémentaires pour répondre à des problématiques archéologiques complexes sera, à travers cette présentation, mis en lumière et discuté.

*Intervenant

Mots-Clés : Expression graphique, néolithique, Alpilles, spectroscopie de fluorescence des rayons X, diffraction des rayons X.

Session 3.4. Datations et traitement des données chronologiques en milieu extérieur

Communications orales

De nouvelles dates 14C pour résoudre la chronologie des populations agropastorales en Iran

Emmanuelle Casanova * ¹, Hossein Davoudi ², Francois Thil ¹, Christine Hatté ^{1,3}, Benjamin Mutin ⁴, Clément Mauvieux ¹, Antoine Zazzo ⁵, Marjan Mashkour ⁵

¹ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement – Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, 91198 Gif-sur-Yvette, France – France

² University of Tehran – Iran

³ Silesian Technical University – Pologne

⁴ Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne - UFR Histoire de l'art et archéologie – Université Paris I - Panthéon-Sorbonne – France

⁵ Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements – Musée National d'Histoire Naturelle - MNHN (France), Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

Le plateau iranien présente des environnements contrastés, comprenant notamment de hautes chaînes de montagnes, comme le Zagros culminant à plus de 4000 m d'altitude, des plaines alluviales et des déserts. L'agropastoralisme s'est développé dans cette région à partir du IX^e millénaire avant notre ère en particulier dans le Zagros central qui est l'un des foyers de la domestication de la chèvre. Depuis ce foyer se sont diffusés les céréales et les ruminants vers l'Est. La gestion de troupeaux de caprinés ainsi que les contraintes climatiques de cette région ont mené au développement du pastoralisme avec une mobilité saisonnière. Les vestiges matériels de ces campements saisonniers, souvent vraisemblablement occupés en de multiples occasions, comprennent généralement un mobilier céramique et lithique peu caractérisant et peu d'échantillons organiques utilisés classiquement en datation 14C, ce qui les rend difficile à dater. De plus, dans certaines régions comme le sud-est de l'Iran, l'aridité du climat affecte considérablement la préservation du collagène osseux. Pour résoudre ces défis de chronologie absolue associés au contexte géographique et social, nous avons adopté des approches alternatives, comme la datation 14C des céramiques archéologiques par composés spécifiques et la datation sur microéchantillons (< 100 µg de C). Nous présentons ici les résultats de ces nouvelles datations de sites néolithiques du plateau iranien fondées sur ces approches, ainsi que les problèmes que nous avons rencontrés liés à l'échantillonnage et la préparation des objets cibles. Parmi ces résultats, sont présentées : (1) les mesures sur composés individuels préservés dans les céramiques utilisées d'une part sur les campements saisonniers de pasteurs mobiles pour préciser le cadre chronologique d'occupation de ces sites, et d'autre part celles utilisées pour exploiter le lait des caprinés et documenter les débuts de l'exploitation laitière dans le Zagros ; (2) des mesures sur ossements et charbons d'une région désertique du plateau iranien. Ces nouvelles données apportent des informations chronologiques précieuses sur les sociétés agropastorales anciennes du plateau iranien.

Mots-Clés : Archéologie, Néolithique, radiocarbone, composés spécifiques, microéchantillons

*Intervenant

Valley bottom geometry withing the Seine catchment (France) : constraining ages of the depositional alluvial infills based on ESR and OSL dating methods

Diana Nathaly Chourio-Camacho ^{* 1}, Jean-Louis Grimaud ², Hélène Tissoux ³, Paul Bessin ⁴, Pierre Voinchet ⁵, Mark Noble ⁶

¹ UMR 7619 METIS, F-75005 Paris, France – Sorbonne Universités, UPMC, CNRS – France – diana.chourio_camacho@sorbonne-universite.fr

² Centre de Géosciences – Mines Paris - PSL (École nationale supérieure des mines de Paris) – France

³ BRGM Unité Géologie de l'Aménagement des Territoires 4506 Orléans cedex 2 – Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) – France

⁴ Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique, LPG – UMR 6112 CNRS, Le Mans Université, Avenue Olivier Messiaen, 72085 Le Mans cedex 09, France – Le Mans Université – France

⁵ Histoire naturelle de l'Homme préhistorique (HNHP) – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – Institut de Paléontologie Humaine - 1, rue René Panhard - 75013 Paris, France

⁶ Centre de Géosciences – Mines Paris - PSL (École nationale supérieure des mines de Paris) – France

Valleys bottoms and alluvial terraces in their edges hold sedimentary archives that are valuable for reconstructing past environmental conditions, particularly in relation to external perturbations such as climate fluctuations (base-level or water discharge changes in relation with glacial/interglacial cycles) and tectonic forcing. These valleys bottoms have an important impact on human settlements and their interactions with the environment over time. Consequently, the areas of valleys bottoms, where many archeological artifacts may be preserved, remain important to better understand the migration of both humans and animals. There is a significant need to reconstruct the geometry and determine the age of alluvial infill in valley bottoms. To achieve this, a detailed study of the current valley bottom geometry is essential to understand the relationship between its shape, its maximum width and their underlaying bedrock that it crosses. Based on this model, it will eventually be possible to apply it to ancient landforms, thereby enabling their reconstruction and allowing for a more precise alignment of human occupations within this fluvial environment. Direct or indirect dating of alluvial infill of the valleys bottoms provides knowledge on geomorphology and evolution of occupations.

The first restitution of valley bottom geometry using the kriging method has been applied along the Seine catchment. This reconstruction was determined using 4817 boreholes from the Banque du Sous-Sol (BSS) that intersect the alluvium at the bottom of the valleys. These boreholes were used to quantify the volume stored in the valley bottom and to determine the geometry of the valley using the kriging. Alluvium thickness distributions estimated from the kriging show contrasted geometries along the valley bottom. The estimated thickness of the alluvial deposits varies from 0 to approximately 30 m.

To reconstruct the evolution of the Seine catchment and the timing of sediment deposition, the ESR and OSL dating methods was applied in the fluvial deposits. The obtained results suggest that at least two Marine Isotopic Stage are recorded MIS 6 and MIS 2 along the valley bottom of the Seine catchment, highlighting that MIS 6 deposits in valley bottoms were not entirely removed during the Weichselian glaciation MIS 2. Thus, the valley bottom age could be used to better understand human and animal migrations over time.

*Intervenant

Mots-Clés : alluvial infill, valley bottom, kriging method, Seine catchment, ESR, OSL dating

Apports de la géochronologie (OSL et 14C) dans l'étude d'inversions chronostratigraphiques du site préhistorique Ilha Redonda (Rio Grande do Sul, Brésil)

Nicolas Brot ^{*} ¹, Christelle Lahaye ¹, Christine Hatté ^{2,3}, Marcos César Pereira Santos ⁴, Mirian Carbonera ⁵, Antoine Lourdeau ⁶

¹ Archéosciences Bordeaux – université Bordeaux Montaigne, Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Bordeaux (Bordeaux, France), EPHE – France

² LSCE, CEA CNRS UVSQ, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France – Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) – France

³ Silesian University of Technology – Gliwice, Poland, Pologne

⁴ Universidade Federal de Pelotas = Federal University of Pelotas – Brésil

⁵ Universidade Comunitária da Região de Chapecó – Brésil

⁶ UMR 7194 - Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique (HNHP) – Museum National d'Histoire Naturelle - MNHN (FRANCE) – Institut de Paléontologie Humaine 1 rue René Panhard 75013 Paris, France

Ilha Redonda 1 est un site archéologique au sud du Brésil sur l'île Redonda située au milieu d'un méandre du fleuve Uruguay dans la zone de *Foz do Chapecó*. Cette région majeure le long du fleuve a livré les occupations parmi les plus anciennes au sud du Brésil et comporte les seules traces de débitage laminaire du Brésil connues à ce jour. Les fouilles d'*Ilha Redonda* effectuées dans le cadre de la mission franco-brésilienne *POPARU* ont mis en évidence une succession de dépôts fins et de niveaux de galets. Ces derniers ayant livré des restes lithiques issus de processus de débitage d'éclats sur de grands galets de silex. Les premières datations 14C sur charbon ont indiqué des niveaux d'occupation du début de l'Holocène (≈ 10.2 cal kBP; $F14C \approx 0.33$). En parallèle de ces informations en 2017, des datations préliminaires par OSL en multi-grain (MG-OSL) démontraient une nette inversion chronostratigraphique, définie comme une anomalie géologique où les couches les plus anciennes se retrouvent au-dessus des couches les plus récentes. Ces données ont permis de confirmer l'hypothèse d'une histoire sédimentaire extrêmement complexe du fait que la grande majorité des pièces archéologiques présentent des états de surface frais indiquant un dépôt en position primaire. Ces premières données ont conduit, dès 2022, à une étude chronologique approfondie avec des analyses en mono-grain (SG-OSL) sur les sédiments. Cette méthode permet d'observer la luminescence des cristaux de quartz individuellement, ce qui rend observables certains phénomènes dépositionnels ou post-dépositionnel pouvant expliquer ces inversions. Les résultats obtenus indiquent une distribution stable des doses équivalentes, laissant supposer que l'explication réside en partie dans la détermination de la dose annuelle nécessaire au calcul d'âge. Ainsi une fois les corrections identifiées et appliquées, les nouveaux âges SG-OSL révèlent une succession de couches péri-contemporaines légèrement inversées. Ce phénomène s'observe notamment par des niveaux d'argile relativement jeunes entrecoupés de niveaux de galet plus anciens. Ces résultats géochronologiques plus précis de la datation par luminescence soulignent toujours une complexité chronostratigraphique, mais apportent de nouveaux éléments de réflexions concernant la formation sédimentaire d'*Ilha Redonda*.

*Intervenant

Mots-Clés : Géochronologie, luminescence, radiocarbone, inversion chronostratigraphique, Préhistoire, Brésil, transition Pléistocène, Holocène, débitage.

Histoire de la construction du Pont-aqueduc d'Ansignan : croisement des méthodes de datation par archéomagnétisme et luminescence.

Théo Dubroca * ¹, Gwenaël Hervé ², Philippe Lanos ³, Petra Urbanová

¹ Archéosciences-Bordeaux – université Bordeaux Montaigne, Université Bordeaux-Montaigne – France

² Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement – Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, 91198 Gif-sur-Yvette, France – France

³ CNRS, UMR 5060 IRAMAT-CRP2A, Université Bordeaux-Montaigne et UMR 6118 Géosciences-Rennes, Université Rennes 1 (UMR 5060 IRAMAT-CRP2A, UMR 6118 Géosciences-Rennes) – université Bordeaux Montaigne, Université de Rennes 1 – France

Le pont-aqueduc d'Ansignan, situé dans la région du Fenouillèdes dans les Pyrénées-Orientales, est un monument unique en France de par son utilisation mixte de pont routier et aqueduc et par sa complexité architecturale avec une présence explicite de remaniements. Son histoire nous est aujourd'hui encore très floue par manque de données chronologiques récentes.

L'objectif de cette étude est de proposer une nouvelle analyse de la chronologie de la construction du pont-aqueduc en s'appuyant sur de nouvelles datations des matériaux de construction (briques et mortiers) par archéomagnétisme (AM) et luminescence (TL/OSL). L'échantillonnage pour la datation par AM et TL/OSL a été réalisé dans 6 de secteurs du monument correspondant à des phases de construction différentes. Pour l'archéomagnétisme, 268 briques ont été prélevées qui ont toutes été analysées pour déterminer l'inclinaison et 118 d'entre elles ont été sélectionnées pour des analyses d'archéointensités. De plus, nous avons pu prélever 11 échantillons de mortiers et 9 carottes de briques pour l'étude par TL/OSL. Cette communication présente les résultats de datations obtenu par croisement systématique des méthodes AM et TL/OSL sur les secteurs présentant des briques. Pour les zones construites en pierre, c'est la luminescence optiquement stimulée sur les mortiers qui permet de dater leur construction.

Les résultats de l'archéomagnétisme sont doubles avec d'un côté l'inclinaison et de l'autre l'intensité du champ magnétique. Cependant, les résultats de l'inclinaison nécessitent une étude plus approfondie des positions de cuisson des briques et ne sont pas considérés pour la datation à l'état actuel. En revanche, la datation avec la courbe de calibration française de l'intensité nous fournit plusieurs intervalles de dates pour la cuisson des briques entre l'An Mil et l'époque moderne. Le croisement de ces données avec la datation par luminescence est ainsi primordial pour affiner la datation. Malgré tout, les nouvelles données chronologiques acquises dans le cadre de cette étude viennent clairement réfuter l'hypothèse communément admise d'une construction du pont-aqueduc à l'époque gallo-romaine.

Mots-Clés : Archéomagnétisme, Luminescence, Archéologie, Datation, Briques, Mortiers

*Intervenant

Session 3.4. Datations et traitement des données chronologiques en milieu extérieur

Posters

Pyrolyse-GC/MS & Métabolomique – Développement d'une approche intégrée pour l'analyse d'ossements archéologiques et implications pour la datation au radiocarbone

Gérald Culioli * ¹, Thibaut Deviese ², Céline Joliot ¹, Océane Pollet ¹,
Lou Spanneut ^{1,5}, Manon Zgajnar ¹

¹ Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE) – UMR CNRS 7263, IRD 237, Aix Marseille Université, Avignon Université – France – gerald.culioli@univ-avignon.fr

² Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – Centre National de la Recherche Scientifique – CNRS, Aix-Marseille Université – AMU, Institut de Recherche pour le Développement – IRD (FRANCE), INRAE – France – deviese@cerege.fr

³ Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique – Aix Marseille Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Ministère de la culture, Aix Marseille Université : UMR7269, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7269 – France

Les ossements archéologiques, souvent analysés pour des reconstitutions chronologiques et alimentaires, sont vulnérables à des contaminations provenant du milieu d'enfouissement et/ou des matériaux de conservation appliqués qui peuvent compromettre l'intégrité des données analytiques ainsi obtenues. Dans ce contexte, cette étude examine l'utilisation de la pyrolyse couplée à chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse (Py-GC/MS) dans le but d'améliorer l'analyse d'ossements archéologiques. La Py-GC/MS constitue une technique analytique particulièrement efficace dans le cadre d'études archéométriques. En effet, elle ne nécessite aucune préparation d'échantillon et permet de caractériser une large gamme de molécules organiques, notamment en dégradant les macromolécules présentes. Par conséquent, elle produit des chromatogrammes de pyrolysats, appelés pyrogrammes, qui reflètent à la fois des produits natifs (molécules thermostables de faible poids moléculaire) et des produits de dégradation (molécules thermosensibles et/ou de haut poids moléculaire). Un inconvénient est que ces pyrogrammes sont souvent complexes et difficiles à interpréter. C'est là qu'intervient la métabolomique, une approche puissante en chimie analytique qui permet l'analyse de grands jeux de données complexes.

Lors de cette étude, plus de 100 échantillons osseux provenant de divers sites archéologiques eurasiens, s'étendant du Pléistocène à la période médiévale, ont été analysés par Py-GC/MS afin de mettre en évidence la présence d'éventuels contaminants. Les résultats obtenus démontrent que cette technique est très efficace pour détecter de telles molécules qui peuvent persister après un prétraitement standard, permettant ainsi la mise en œuvre d'étapes de re-purification ciblées et améliorant la précision des données chronométriques. L'approche métabolomique proposée ici pour le traitement des données Py-GC/MS de ce large panel d'échantillons osseux facilite notre capacité interprétative en offrant un profilage rapide et complet des molécules au-delà des marqueurs spécifiques du collagène et en permettant de sélectionner le meilleur mode de traitement de chaque échantillon pour des analyses chronométriques ultérieures.

De manière plus générale, le couplage de la métabolomique avec la Py-GC/MS, en fournissant une vision holistique de la composition en molécules organiques d'échantillons archéologiques et en incluant une meilleure compréhension des processus influant sur leur dégradation, pourra conduire à l'avenir à des reconstitutions plus précises des interactions « hommes – faunes – environnements » dans le passé.

*Intervenant

Mots-Clés : Ossements archéologiques, pyrolyse, GC/MS, métabolomique, datation au radiocarbone

Analyse radiocarbone de textiles minéralisés du site de Creney-le-Paradis (1er âge du fer)

Clémence Iacconi ^{* 1,2}, Laura Hendriks ², Luc Robbiola ³, Elsa Desplanques ⁴, Negar Haghipour ⁵, Corentin Reynaud ⁶, Cyril Portmann ², Loïc Bertrand ⁶

¹ Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, PPSM, 91190 Gif-sur-Yvette, France – CNRS, ENS Paris-Saclay – France

² HEIA Haute école d'ingénierie et d'architecture, HES-SO Haute École spécialisée de Suisse occidentale, 1700 Fribourg, Suisse – Suisse

³ TRACES, CNRS, ministère de la Culture, Université Toulouse– Jean Jaurès, UMR 5608, 31100 Toulouse, France – CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication – France

⁴ Sorbonne Université, Centre André Chastel, 2 rue Vivienne, 75002 Paris, France – Sorbonne Universités, UPMC, CNRS – France

⁵ Laboratory of Ion Beam Physics, ETH Zurich, Otto-Stern-Weg 5, Zurich, 8093, Switzerland – Suisse

⁶ Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, PPSM, 91190 Gif-sur-Yvette, France – CNRS, ENS Paris-Saclay – France

La datation au carbone 14 (¹⁴C) est devenue un outil essentiel pour établir la chronologie d'événements passés, en particulier dans le domaine de l'archéologie (1-2). Cependant, la méthode atteint ses limites lorsqu'il ne reste que quelques traces de la configuration originale des sites archéologiques et que peu de matériel organique est retrouvé. Aujourd'hui, une instrumentation de pointe permet l'analyse d'échantillons de l'ordre de quelques dizaines de microgrammes de carbone. Ceci a encouragé le développement de stratégies innovantes englobant une plus large gamme de matériaux du patrimoine pouvant être utilisés à des fins de datation comme par exemple le pigment à base de carbonate de plomb (3-4). Dans ce contexte, nous avons entrepris de dater des textiles minéralisés, où la matière organique a presque entièrement disparue pour être remplacée par des produits de corrosion. En contexte funéraire, ces textiles sont préservés grâce à leur association étroite avec des objets métalliques corrodés à base de cuivre. Les textiles sont des matériaux idéaux pour déterminer la chronologie associée aux sites archéologiques, car le tissage est l'une des premières technologies artisanales développées par l'homme. Dans la présente étude, les méthodes de datation ont été également couplées avec des techniques d'imagerie, en particulier la microtomographie par rayons X sur source synchrotron. Nous présentons et discutons ici les premiers âges ¹⁴C obtenus à partir de textiles minéralisés et soulignons ainsi leur potentiel en tant que capsules temporelles (5).

(1) I. Hajdas, P. Ascough, M. H. Garnett, S. J. Fallon, C. L. Pearson, G. Quarta, K. L. Spalding, H. Yamaguchi, M. Yoneda, Radiocarbon Dating. Nat Rev Methods Primers, 2021, 1 (1), 1–26.

(2) A. Bayliss, Radiocarbon, 2009, 51(1), 123-147.

(3) L. Beck, I. Caffy, E. Delqué-Količ, C. Moreau, J. P. Dumoulin, M. Perron, V. Jeammet, Communications Chemistry, 2018,1(1), 34.

(4) L. Hendriks, I. Hajdas, E. S. Ferreira, N. C. Scherrer, S. Zumbühl, M. Küffner, D. Günther, Radiocarbon, 2019, 61(2), 473-493.

(5) L. Hendriks, C. Iacconi, L. Robbiola, E. Desplanques, N. Haghipour, C. Reynaud, C. Portmann, L. Bertrand, Angewandte Chemie (soumis).

*Intervenant

Mots-Clés : Textiles minéralisés, datation carbone 14, âge du fer

Extraction du carbone d'alliages ferreux anciens par ablation laser pour leur datation par le carbone 14

Marion Perron * ¹, Daniel Farcage ², Emmanuelle Delqué-Kolic ¹,
Alexandre Semerok ³, Stéphanie Leroy ⁴

¹ Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LMC14) – LSCE-IPSL (CNRS-CEA-UVSQ), Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France – France

² DEN-Service d'Etudes Analytiques et de Réactivité des Surfaces (SEARS) – Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) - Saclay, Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) - Saclay – France

³ DEN-Service d'Etudes Analytiques et de Réactivité des Surfaces (SEARS) – Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) - Saclay – DEN-Service d'Etudes Analytiques et de Réactivité des Surfaces (SEARS), CEA, Université Paris-Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France, France

⁴ Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (LAPA) – CNRS : UMR5060 – CEA de Saclay - 91191 Gif sur Yvette, France

La datation des aciers par le carbone 14 est un processus complexe faisant intervenir l'analyse préalable du matériau afin d'identifier les zones les plus carburées. En effet, dans les aciers archéologiques, le faible taux de carbone et sa répartition hétérogène dans la matrice ferreuse conduisent à réaliser des prélèvements ciblés aux zones les plus riches en cémentite (carbure de fer). Actuellement, les échantillonnages sont réalisés à l'aide d'une perceuse équipée de forets en acier rapide revêtus de nitrure de titane de 2 à 3 mm de diamètre. Constatant que la précision des prélèvements n'était pas optimale, nous avons testé l'extraction du carbone à l'aide d'un faisceau laser (Laser à fibre Ytterbium 1064 nm). Dans notre dispositif, l'échantillon est placé dans une enceinte en présence d'oxygène puis balayé par le faisceau laser qui suit la zone de prélèvement définie par l'observation métallographique préalable. Un autre avantage de l'extraction par faisceau laser est la formation directe du CO₂ dans la cellule combinant ainsi prélèvement et combustion en une même étape. Après quelques rappels sur la datation des aciers par le carbone 14, nous présenterons l'installation développée pour l'extraction du carbone par faisceau laser et les conditions de la manipulation. Les premiers résultats obtenus sur des fers archéologiques d'âge connu seront discutés et les perspectives de développement de cette méthodologie seront évoquées.

Mots-Clés : développement méthodologique

*Intervenant

Testis unus, testis nullus – l’analyse de survie et la datation des contextes

Antoine Zink * ¹

¹ Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF) – MIN CULTURE – Palais du Louvre 14 quai François Mitterrand 75001 PARIS, France

Un problème récurrent et source de nombreux désaccord entre archéologues et géochronologues vient que ce que recherche l’un est rarement ce que l’autre date. Le phénomène physique daté correspond rarement à l’évènement historique d’intérêt. En particulier, il doit être tenu compte de la durée de vie (ou d’abandon) des artefacts.

Nous avons été confrontés à ce problème lors de nos études en datation par luminescence de sites du grand Khorasan (Iran, Ousbékistan). Dans la mesure du possible, nous avons daté trois tessons par unité stratigraphique, ce nombre semblant un bon compromis entre représentativité et durée des mesures. Il apparut vite une dispersion des âges entre tessons d’une même unité, au-delà même de la simple durée de vie des objets, faisant penser à des phénomènes de redéposition. Cela a été particulièrement mis en évidence dans le quartier des potiers de Paykend où les tessons retrouvés couvrent l’ensemble de la période d’occupation de la ville alors que les datations des structures archéologiques se limitent à la période islamique. La présence de tessons anciens a été mis en parallèle avec le curage du canal bordant le site.

Dans *Mathematics in Archaeology*, C. Orton suggère de traiter les données au moyen de la théorie du renouvellement sans rentrer dans les détails du traitement employé, se limitant à exposer les trois cas théoriques : taux de perte constant, taux de perte décroissant et taux de perte croissant. L’analyse de survie qui traite des durées de vie plutôt que du nombre d’évènements par intervalle semble plus indiquée pour traiter notre problème. L’analyse de survie se caractérise, en particulier, par la possibilité de prendre en compte la censure à droite des données temporelles, c’est-à-dire les données pour lesquelles on ignore la date d’abandon. Dans notre cas, on peut considérer que, pour les unités stratigraphiques correspondant à des structures architecturales directement datées, la durée de vie des objets qu’elle contient est connue (non censurée). Par contre dans le cas d’unités stratigraphiques dont la datation ne repose que sur des tessons, on considère que la durée de vie des artefacts est censurée, puisque la date d’abandon est au plus tôt celle de l’objet le plus récent. Cette analyse permet d’avoir ainsi une estimation de la durée moyenne d’abandon des tessons sur notre site.

Si cette approche est prometteuse, comme toute analyse statistique, elle nécessite un nombre d’échantillons disponibles conséquents. En particulier, si on souhaite pouvoir faire des analyses inter- ou intra-site ou par typologie d’objets. De plus, l’incertitude sur les datations doit pouvoir être pris en compte dans l’analyse. Toutefois, cela doit nous alerter de nouveau sur la difficulté à dater un contexte à partir d’un nombre restreint d’objets mobiliers.

Mots-Clés : Datation par luminescence, durée de vie, probabilité

*Intervenant

Session 3.5. Approches géochronologiques et marqueurs anthropiques en milieu souterrain

Communications orales

Le Middle Stone Age de Mumba rockshelter, Tanzanie : approche chronologique du Bed V par résonance de spin électronique et séries de l'uranium.

Chloé Chane-Kouo ^{*† 1}, Mailys Richard ², Mathieu Duttine ³, Edwige
Pons-Branchu ⁴, Chantal Tribolo ⁵, Gregor Bader ^{6,7}, Pastory Magayane
Bushozi ⁸, Nicholas Conard ^{9,10}

¹ Archéosciences Bordeaux – CNRS - Université Bordeaux Montaigne – France

² Archéosciences Bordeaux – université Bordeaux Montaigne, Centre National de la Recherche Scientifique – Maison de l'Archéologie, 8 Esplanade des Antilles, Université Bordeaux-Montaigne, F-33607 PESSAC Cedex, France, France

³ Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB) – Université de Bordeaux, Centre National de la Recherche Scientifique : UPR9048 – 87 Av du Dr A. Schweitzer 33608 PESSAC CEDEX, France

⁴ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement [Gif-sur-Yvette] (LSCE) – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8212, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DSM/LSCE, Université Paris-Saclay, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8212, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DRF/LSCE – Bât. 12, avenue de la Terrasse, F-91198 GIF-SUR-YVETTE CEDEX, France

⁵ IRAMAT-CRP2A, University Bordeaux Montaigne – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

⁶ University of Tübingen – Allemagne

⁷ Palaeo-Research Institute, University of Johannesburg – Afrique du Sud

⁸ Department of History and Archaeology, College of Humanities, University of Dar es Salaam – Tanzanie

⁹ Senckenberg Center for Human Evolution and Paleoenvironment at Tübingen – Allemagne

¹⁰ Department of Early Prehistory and Quaternary Ecology, University of Tübingen – Allemagne

L'Afrique de l'Est est considérée comme une région clé pour étudier l'origine et la dispersion des premiers hommes anatomiquement modernes (HAM). Des études récentes suggèrent une apparition de notre espèce dans le nord-ouest du continent africain vers 315 ka, bien plus tôt que ce que l'on pensait, soulignant l'importance des interactions régionales et interrégionales entre les différentes populations humaines. Dans ce contexte, les recherches en Afrique de l'Est, carrefour des migrations, connectant le sud et le nord de l'Afrique, joue un rôle essentiel pour comprendre les mouvements et les échanges entre les populations.

De nombreux sites de cette région ont livré des restes fossiles attribués aux HAM, dont l'abri sous roche de Mumba, situé dans la région du Lac Eyasi au nord de la Tanzanie. Découvert et fouillé par Margit et Ludwig Kohl-Larsen dans les années 1930, ce site est connu pour avoir livré un grand nombre de pièces lithiques appartenant au Middle Stone Age (MSA) et au Later Stone Age (LSA). Bien que le site ait fait l'objet de plusieurs séries de datation (radiocarbone, uranium-thorium et racémisation des acides aminés), sa chronologie est encore mal définie.

*Intervenant

†Auteur correspondant : chloe.chane-kouo@u-bordeaux-montaigne.fr

Ce travail présente les premiers âges obtenus par la méthode de datation de la résonance du spin électronique (ESR) combinée aux séries de l'uranium ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) appliquées aux fossiles dentaires du site de Mumba. Les analyses ESR et U-Th ont été réalisées sur huit dents d'herbivore prélevées dans le « Bed V » attribué au MSA. Les dents sont favorisées pour la datation par rapport aux ossements en raison de leur structure qui les rend moins sujettes aux processus diagenétiques. Toutefois, elles peuvent subir des transformations chimiques telles que l'incorporation d'éléments traces comme l'uranium, qui doivent être pris en compte lors des calculs d'âge.

Les âges obtenus dans cette étude ont permis de fournir des repères géochronologiques et de contextualiser les occupations humaines attribuées à *Homo sapiens*, dans le cadre climatique et paléoenvironnemental de la région. Compris entre 68 ± 3 ka et 53 ± 3 ka (avec un âge moyen pondéré de 62 ka), ces résultats sont cohérents avec le contexte archéologique. Les huit âges ESR/U-Th obtenus pour le site de Mumba contribuent à l'établissement d'un cadre chronologique de la présence d'*Homo Sapiens* dans la région du Lac Eyasi, contemporains du stade isotopique marin (SIM) 4, au Pléistocène supérieur. Il est ainsi possible de comparer le site de Mumba avec d'autres sites voisins, notamment celui de Njarasa, daté SIM 4-5, offrant une vision plus complète des modalités d'occupation et d'interaction des populations humaines à cette époque. Enfin, ces résultats contribuent à la discussion sur le rythme des changements comportementaux et culturels des hommes modernes durant le MSA.

Mots-Clés : chronologie, ESR, U/Th, dents fossiles, Middle Stone Age, Mumba, Tanzanie

Le potentiel des micromammifères pour la biostratigraphie et la chronologie des occupations humaines à La Roche-à-Pierrot (Saint-Césaire, France)

Loïc Lebreton * ¹, Eugène Morin ^{2,3}, Brad Gravina ^{3,4}, Alexandre Michel ⁵, François Bachellerie ^{5,6}, Cédric Beauval ⁷, Damien Flas ^{8,9}, Véronique Laroulandie ¹⁰, Josserand Marot ¹¹, Hélène Rougier ¹², Elise Tartar ¹³, Dominique Todisco ¹⁴, Isabelle Crevecœur ¹⁵

¹ IPHES – Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social – France

² Department of Anthropology, Trent University, – DNA Block C, 2140 East Bank Drive, Peterborough, ON, K9J 7B8, Canada, Canada

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

⁴ Musée national de Préhistoire – - - 1 rue du Musée, 24620 Les Eyzies-de-Tayac, France, France

⁵ De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie – CNRS, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

⁶ Archéologie d'Alsace – Archéologie d'Alsace, Archéologie d'Alsace – France

⁷ Archéosphère, 10 rue de la Rhode, 11500 Quillan – Archéosphère – France

⁸ Service de Préhistoire, Université de Liege – Belgique

⁹ TRACES, UMR 5608, CNRS, Université Toulouse Jean Jaurès, Maison de la Recherche, 5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse cedex 9, France – Université Toulouse – France

¹⁰ De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie (PACEA) – Université de Bordeaux, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5199 – France

¹¹ Service départemental de l'Archéologie – - - Maison du Département, 85 Boulevard de la République, 17076 La Rochelle Cedex 09, France, France

¹² Department of Anthropology, California State University Northridge – États-Unis

¹³ Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES) – Université Toulouse - Jean Jaurès, Centre National de la Recherche Scientifique – Maison de la Recherche, 5 allée Antonio Machado 31058 TOULOUSE Cedex 9, France

¹⁴ Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés (IDEES) – Université de Rouen Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique – 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex, France

¹⁵ De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie (PACEA) – Université de Bordeaux, Centre National de la Recherche Scientifique – Université de Bordeaux – Bâtiment B8 - CS50023 - Allée Geoffroy-Saint-Hilaire - 33615 Pessac Cedex, France

Parce qu'ils occupent de petits territoires et ont une grande diversité, les petits mammifères sont des marqueurs fiables des changements environnementaux ayant prévalu aux alentours des sites archéologiques. Leur accumulation sur les sites archéologiques est majoritairement liée à la coprocénose d'un ou de plusieurs prédateurs. Les analyses taphonomiques des petits vertébrés se concentrent traditionnellement sur la détermination du type de prédateur et des biais possibles dans la représentation des paléocommunautés. L'intérêt des restes de micromammifères comme proxy pour améliorer notre compréhension

*Intervenant

des sites archéologiques est cependant souvent négligé. La Roche-à-Pierrot, à Saint-Césaire (France), a livré à la fois des restes néandertaliens et une séquence culturelle complexe Moustérien-Châtelperronien-Aurignacien, ce qui en fait un site important pour l'interprétation de la transition entre le Paléolithique moyen et le Paléolithique supérieur en Europe occidentale. Une compréhension détaillée des processus de formation du site et des phénomènes post-dépositionnels est nécessaire pour fournir un contexte archéostratigraphique sûr pour le site. Les fouilles récentes ont révélé une accumulation exceptionnellement importante de micromammifères, dont les densités varient d'un bout à l'autre de la séquence stratigraphique. Notre analyse taphonomique basée sur la composition taxonomique, les traces de digestion et la représentation des parties squelettiques des micromammifères démontre que ces variations ne sont pas liées à des phénomènes post-dépositionnels ou à des changements dans l'agent principal d'accumulation. Nous avons constaté une corrélation négative entre les restes de micromammifères et le matériel archéologique. Ce schéma suggère que la forte densité de restes de micromammifères coïncide avec des phases d'occupation humaine limitée ou d'abandon du site. À l'inverse, les unités à plus faible densité semblent être corrélées à des périodes où le site a été plus fréquemment occupé. La documentation des variations des densités de micromammifères met en évidence quatre pics d'accumulation dans la partie supérieure de la séquence de La Roche-à-Pierrot. Ces pics permettent d'isoler différentes phases d'occupation au sein d'une même unité stratigraphique. Ainsi, la combinaison des analyses taphonomiques traditionnelles des restes micro- et macrofauniques montre que les micromammifères ont un potentiel considérable pour mieux documenter les changements dans les schémas d'occupation humaine. Le développement des analyses de micromammifères peut fournir de nouvelles données sur la chronologie et la fréquence des occupations humaines, ajoutant des informations importantes pour des interprétations plus fiables des sites archéologiques.

Mots-Clés : biostratigraphie, occupations humaines, développements méthodologiques, micromammifères

Une chronologie révisée de la séquence de la grotte du Portel-Ouest (Ariège, France) : implications pour les occupations néandertaliennes tardives dans la région des Pyrénées

Lou Spanneut ^{1,2}, Gaël Becam ³, Damien Flas ⁴, Yoann Fagault ⁵, Thibaut Tuna ⁶, Anne-Marie Moigne ⁷, Christian Perrenoud ⁸, Nicolas Boulbes ^{9,10}, Agnès Testu ¹⁰, Régis Vézian ¹⁰, Fabrice Bray ¹¹, Stéphanie Flament ¹², Gwenaëlle Goude ¹³, Edouard Bard ¹⁴, Thibaut Deviese * ¹⁴

¹ CEREGE, Aix Marseille Université – Aix-Marseille Université - AMU – France

² LAMPEA, Aix Marseille Université – Aix-Marseille Université - AMU, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

³ UMR 7194 HNHP, CNRS/MNHN/UPVD, EPCC-CERP de Tautavel, France – Université de Perpignan Via Domitia – France

⁴ LAMPEA, Aix Marseille Université – CNRS – France

⁵ CEREGE, Aix Marseille Université – Collège de France – France

⁶ CEREGE, Aix Marseille Université – Aix-Marseille Université - AMU – France

⁷ UMR 7194 HNHP, CNRS/MNHN/UPVD, EPCC-CERP de Tautavel – Museum National d'Histoire Naturelle - MNHN (FRANCE) – France

⁸ UMR 7194 HNHP, CNRS/MNHN/UPVD, EPCC-CERP de Tautavel – Museum National d'Histoire Naturelle, Université de Perpignan Via Domitia, Centre National de la Recherche Scientifique – France

⁹ Institut de Paléontologie Humaine – Fondation Prince Albert II de Monaco – France

¹⁰ UMR 7194 HNHP, CNRS/MNHN/UPVD, EPCC-CERP de Tautavel, France – Museum National d'Histoire Naturelle - MNHN (FRANCE), CNRS, UPVD – France

¹¹ Miniaturisation pour la Synthèse, l'Analyse et la Protéomique - UAR 3290 – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université de Lille - Sciences et Technologies – France

¹² Miniaturisation pour la Synthèse, l'Analyse et la Protéomique - UAR 3290 – Université de Lille : UAR3290, Centre National de la Recherche Scientifique : UAR3290 / USR3290, Université de Lille, Centre National de la Recherche Scientifique – France

¹³ LAMPEA, Aix Marseille Université – CNRS, Aix-Marseille Université - AMU – France

¹⁴ CEREGE, Aix Marseille Université – Aix-Marseille Université - AMU, Centre national de la recherche scientifique - CNRS (France), Collège de France, Paris Sciences et Lettres University, Paris, Institut de recherche pour le développement [IRD] – France – deviese@cerege.fr

La séquence archéologique de la grotte du Portel-Ouest (Ariège, France) représente une archive stratigraphique majeure pour l'étude des occupations néandertaliennes dans les Pyrénées. Les industries moustériennes du site sont clairement associées à des occupations néandertaliennes, étant donné la présence de 33 restes osseux/dentaires de Néandertaliens. À ce jour, il s'agit du plus grand ensemble de restes néandertaliens sur le versant nord des Pyrénées. À travers une approche géochronologique utilisant la datation au radiocarbone, cette étude propose un affinement de la chronologie des occupations néandertaliennes du site. Les datations 14C de la séquence moustérienne se sont concentrées sur des ossements

*Intervenant

de faunes issus de niveaux fortement anthropisés et dont la majorité présente des traces d'activités telles que la découpe et la fracturation. Les résultats de l'étude radiométrique ainsi qu'une réévaluation des industries lithiques ont mis en évidence des perturbations localisées dans le complexe stratigraphique supérieur. Ces perturbations sont attribuables à des activités de fouisseurs (blaireaux, renards), ayant provoqué une redistribution d'artefacts à travers les niveaux supérieurs. La combinaison des résultats radiocarbone avec l'analyse de la répartition lithique est donc indispensable et permet ainsi de délimiter plus clairement les phases d'occupation et les attributions culturelles, malgré les défis posés par la bioturbation. Cette communication proposera une synthèse des 29 dates obtenues et de l'étude du matériel lithique, permettant d'établir une chronologie solide des occupations néandertaliennes dans cette partie des Pyrénées. Elle mettra également en avant l'importance de combiner les analyses géochronologiques, lithiques et sédimentologiques pour interpréter les séquences stratigraphiques souterraines remaniées.

Mots-Clés : Occupations néandertaliennes, datation au radiocarbone, industries lithiques, bioturbation

Aménager le milieu souterrain à des périodes anciennes : déceler les incohérences morphologiques fines par la géomorphologie

Jules Kemper ^{*} ¹, Jean-Jacques Delannoy ¹, Stéphane Jaillet ¹, Pablo Aria ², Roberto Ontañón ³, Edwige Pons-Branchu ⁴

¹ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204 / FRE 2641, Université Savoie Mont Blanc, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5204, Centre National de la Recherche Scientifique – France –

jules.kemper@hotmail.fr, jean-jacques.delannoy@univ-smb.fr, stephane.jaillet@univ-smb.fr

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 –

pablo.arias@unican.es

³ Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria – Museo de Prehistoria y Arqueología de Cantabria. – Espagne – Ontanon_r@cantabria.es

⁴ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement [Gif-sur-Yvette] (LSCE) – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8212, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DSM/LSCE, Université Paris-Saclay, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8212, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DRF/LSCE – Bât. 12,avenue de la Terrasse, F-91198 Gif-sur-Yvette CEDEX – France – edwige.pons-branchu@lsce.ipsl.fr

Les exemples de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc et de la grotte de Bruniquel ont souligné la part anthropisée des espaces souterrains. Ces modifications du paysage, parfois anciennes, ont pu être invisibilisées au cours du temps (repousses stalagmitiques, démantèlement, etc.). La géomorphologie peut permettre de déceler des incohérences morphologiques susceptibles de témoigner d'interventions humaines derrière la mise en place de certains paysages. Le présent travail s'appuie sur la méthode de l'anthropo-géomorphologie, appliquée ici à deux sites : la grotte de La Garma (Espagne) et celle de Saint-Marcel-d'Ardèche (France). Cette approche géoarchéologique s'appuie sur un triptyque précis : topographie 3D, cartographie géomorphologique haute résolution et chronologie relative. Ces différents outils ont été ici adaptés à la question de remobilisations fines (résolution *claste à claste*, orientations de spéléothèmes brisés, etc.) et ont donné lieu à plusieurs propositions iconographiques et documentaires (diagramme de difficulté de progression, diagrammes spectraux, etc.). À la grotte de Saint-Marcel-d'Ardèche, cette démarche a mis en évidence des structures mésolithiques à près de 1,5 km de l'entrée, impliquant le franchissement de plusieurs obstacles contemporains des fréquentations. À la grotte de La Garma, jusqu'à quatre périodes d'aménagement successifs ont pu être mis en évidence, dont trois au Paléolithique. Certaines de ces constructions sont liées à des problématiques de cheminement et de progression. Ces résultats sont encourageants et interrogent à la fois sur les pratiques souterraines anciennes, et sur notre capacité à en déceler des traces.

Mots-Clés : Géoarchéologie, La Garma, Saint, Marcel, d'Ardèche, Souterrain, Structure anthropique

*Intervenant

Session 3.5. Approches géochronologiques et marqueurs anthropiques en milieu souterrain

Posters

A multi-proxy stalagmite-based record reconstruction of climatic changes and human use of the quarry in the 20th century, Normandy, France

Ingrid Bejarano ^{* 1}, Carole Nehme ², Stoil Chapkanski ³, Marine Quiers , Kevin Jacq ⁴, Maxime Debret ⁵, Damase Mouralis ³

¹ Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – CNRS : UMR6266 – France

² Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – Université de Caen Normandie, Université Le Havre Normandie, Université de Rouen Normandie, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Recherche Interdisciplinaire Homme et Société – France

³ Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – Université de Rouen Normandie, Université du Havre Normandie, Université de Caen, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

⁴ Envisol – Envisol, 2-4 Rue Hector Berlioz, 38110 La Tour du Pin, France – France

⁵ Morphodynamique Continentale et Côtière – CNRS : UMR6143 M2C – France

The impact of drought events has increased in the last decades in Europe. The understanding of past drought events can provide insight on the causes of these hydrological changes and the estimation of future drought conditions. Speleothems are among the natural archives that provide the proxies to study drought events. The Caumont cave and quarry system, located in Normandy, develops in chalk limestone and contains speleothems from different time intervals. A recent stalagmite, CCB-1, was collected from excavated chambers with the aim to investigate the sensitivity to record climate variability, such as drought events.

Stalagmite CCB-1 was analysed with carbon stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$), trace elements (Mg and Sr) and U/Th dating, producing a highly resolved multi-proxy record. The age model, covers from 1905 to 2019, which allows the comparison with instrumental (temperature and precipitation) and historical records. The comparison included the modelled drought index, the standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI). The proxy analysis reveals $\delta^{13}\text{C}$, Mg, and Sr signal peaks that align well with most of the historical drought events of the 20th and 21st centuries (Bejarano et al, 2024).

The elemental- and isotopic-based conventional proxies provide valuable environmental information however, they are more invasive and less sensitive to the organic compounds in the matter. The need for organic-sensitive proxies, on very finely laminated stalagmites urge the adaptation of non-invasive techniques such as the hyperspectral 2D imaging. This study also uses an UV, visible and shortwave molecular-based hyperspectral imaging, to analyse the composition of a dark layer observed in the stalagmite. This innovative ongoing research could provide further information about the human occupation and excavation activities that occurred in the quarry since the Middle Ages until the beginning of the 20th century.

Mots-Clés : Cave and quarry system, geochemistry, paleoclimate, drought, human impact

*Intervenant

Landscape Archeology of the Chuchuwayha Sacred Site (British Colombia, Canada) A 3D geomorphological approach to reconstructing the physical landscapes of past societies

Jean-Jacques Delannoy * ¹, Anita Quiles , Julien Jacquet , Allison Mike , Régis Braucher , Jeremy Ash , Megan Harris , Susan Rowley , Brenda Gould

¹ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Université Savoie Mont Blanc, CNRS : UMR5204 – Université de Savoie, Campus scientifique, 73376 Le Bourget du Lac cedex – France – jean-jacques.delannoy@univ-smb.fr, anita.quiles@cea.fr, julien.jacquet@univ-smb.fr, braucher@cerege.fr, jeremy.ash@monash.edu, megan.harris@usib.ca, susan.rowley@ubc.ca, similkameenconsulting@gmail.com

New research is being conducted at the Chuchuwayha sacred site (British Columbia, Canada) at the request of the Upper Similkameen Indian Band, who want to pass on the site's history to future generations. The project's aims were to determine when this site in the glacial Similkameen Valley became accessible to human communities; to reconstruct the formation of the surrounding landscape, and to describe the rock shelter's evolution during the period of human frequentation (rock-art). To this end, we combined 3D geomorphological, archeometric, and geochemical (cosmogenic dating) data to construct a robust chronological framework for the site's evolution and human occupations. Results showed that the Similkameen Valley became ice-free 18,000 years ago, that the site's architecture was shaped by post-glacial processes, and that its general topography had formed around 7000 years ago. The site's morphology-a rock shelter behind a mound of rockfall boulders-created a trap for eolian and autochthonous sediments, which have preserved a record of human occupations. Our multidisciplinary approach also enabled us to determine age ranges for the shelter's paintings, to draw up a new timeframe for human occupations of the site, which lies on a traditional Syilx trail, and to relate these occupations to changes in the surrounding landscape.

Mots-Clés : Archeological landscape, geomorphology, cosmogenic dating, archeo, geomorphological reconstruction, Chuchuwayha, British Colombia.

*Intervenant

Dégradation osseuse par néoformation phosphatée exceptionnelle au sein de la série sédimentaire de remplissage de la grotte Sous-Saint-Paul (Sclayn, Andenne, Belgique)

Eric Goemaere * ^{1,2}, Dominique Bonjean ^{1,2}, Sophie Decrée ^{1,2}, Christophe Drouet ^{1,2}, Thomas Goovaerts ^{1,2}, Thierry Leduc ^{1,2}, Olivier Marsan ^{1,2}, Stéphane Pirson

¹ service géologique de Belgique (SGB) – Belgique – eric.goemaere@naturalsciences.be, dominique.bonjean@ema.museum, Christophe.Drouet@inp.fr, tgoovaerts@naturalsciences.be, tleduc@naturalsciences.be, Olivier.Marsan@inp.fr, stephane.pirson@awap.be

² Institut royal des Sciences naturelles de Belgique – Belgique

La grotte Sous-Saint-Paul s'ouvre six mètres au-dessous de la grotte Scladina. Cette dernière fait l'objet depuis 1978 d'une recherche scientifique multidisciplinaire fine et est internationalement connue notamment pour ses vestiges néandertaliens. La mise au jour des restes faciaux d'une fille néandertalienne de huit ans constitue la découverte anthropologique belge la plus importante du XX^e siècle. La série sédimentaire comblant la cavité inférieure Sous-Saint-Paul est en continuité stratigraphique avec la grotte Scladina, même si du soutirage karstique est observé. Presque toutes les couches sédimentaires renferment une faune abondante. Les unités stratigraphiques couvrent un intervalle de 536/363 000 ans à 250/200 000 pour Sous-Saint-Paul et de 250/200 000 à 673 ans pour la grotte Scladina. Les dates, en âge BP corrigé, ont été obtenues sur la base d'analyses U/Th conduites sur spéléothèmes (Vonhof *et al.*, 2024). À l'exception des couches où les ossements sont brûlés et/ou montrent des traces de boucherie produites par les Néandertaliens, les ossements (environ 80 espèces reconnues, grande faune mammalienne, avifaune, microfaune, herpétofaune) sont très bien conservés à l'exception de trois niveaux, deux dans la grotte Scladina et un dans la grotte Sous-Saint-Paul. L'unité XV de Sous-Saint-Paul, épaisse de 40 à 45 cm, déposée il y a un peu moins de 300 000 ans (base du Paléolithique moyen) est constituée de plusieurs couches de limons de différentes couleurs renfermant des blocs de calcaires dinantiens très altérés sur lesquels sont observés des encrustements riches en manganèse et surtout des sphérulites fibroradiées jaunâtres d'apatite. Quelques ossements trouvés dans cette unité présentent une cavité médullaire partiellement comblée par une poudre apatitique de couleur crème, des sphérules d'apatite en surface mais aussi des éclatements et des soulèvements du périoste associés à la croissance d'un minéral précurseur de l'apatite. Ces observations n'ont pas d'équivalents dans la littérature. Les minéraux ont été étudiés par DRX, MEB+EDS, IR et à la microsonde. Le poster présentera les résultats analytiques mais aussi les modes de formation des minéraux ainsi que les implications paléoclimatiques qui peuvent être proposées. Vonhof H., Verheyden S., Bonjean D., Pirson S., Weber M., Scholz D., Hellstrom J., Cheng H., Jia X., Di Modica K., Abrams G., van Nunen M., Ruiter J., van der Does M., Böhl D., van der Lubbe J., 2024. Improving the age constraints on the archeological record in Scladina Cave (Belgium) : new speleothem U-Th ages and paleoclimatological data, *Clim. Past Discuss.* 2024, 1-30.

*Intervenant

Mots-Clés : apatite, néoformation, taphonomie, archéométrie, grotte Scladina, grotte Sous, Saint, Paul

Les carbonates secondaires des aqueducs souterrains et systèmes de captage souterrains : des témoins des changements de l'occupation des sols en surface. Cas d'étude de la période romaine à la période actuelle.

Edwige Pons-Branchu * ¹, Emmanuel Bernot , Malo Branchu , Gilles Brocard , Ingrid Caffy , Eric Douville , Philippe Branchu , Emmanuel Dumont , Jean-Pascal Dumoulin , Stéphane Gaillot , Daniella Malnar , Jean Baptiste Yon

¹ LSCE Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement – CEA, CNRS : UMR8212, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ) – France – edwige.pons-branchu@lsce.ipsl.fr

Des dépôts de carbonates secondaires, formés par le passage ou la lente percolation d'eau sont présents dans différents types de structures souterraines anthropiques (aqueducs, tunnels, galeries artificielles). Ces dépôts, similaires aux spéléothèmes des grottes sont le témoin des eaux qui ont présidé à leur dépôt. Ainsi, les teneurs en éléments en traces ou la composition isotopique de certains éléments (plomb ou strontium par exemple) peuvent refléter des activités anthropiques (agriculture, déforestation / reforestation, utilisation de métaux, changement de source d'alimentation en eaux ...) au-dessus de la structure ou dans la zone d'infiltration ou de captage des eaux. L'établissement d'une chronologie fiable de ces dépôts est un verrou scientifique important qui peut dans certains cas être levé par l'utilisation conjointe de plusieurs méthodes de datation absolues ou relatives. Nous présenterons l'application de plusieurs de ces méthodes (datation uranium-thorium, ¹⁴C, comptage de lamines ou utilisateur de marqueurs) sur des concrétions dans différents contextes anthropisés, sur une période s'étendant de la période romaine à la période actuelle. Ces concrétions une fois datées peuvent servir à discuter de la qualité ou de l'origine des eaux du passé et des exemples de différentes régions seront présentés.

Mots-Clés : Marqueurs anthropiques, soufre, aqueducs, plomb

*Intervenant

Documenter la récurrence de l'usage du feu à la transition Paléolithique inférieur – Paléolithique moyen grâce à l'analyse multiméthodes d'un spéléothème

Ségolène Vandeveldé * ^{1,2}, Edwige Pons-Branchu ³, Abdou Niane , Dany Savard , Yves Perrette ⁴, Cyrielle Mathias , Damien Deldicque , Bruno Desachy ⁵, Ludovic Slimak , Kevin Bouchard

¹ Université du Québec à Chicoutimi – Canada – segolene_vandeveldé@uqac.ca

² Université de Sherbrooke – Canada

³ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement [Gif-sur-Yvette] (LSCE) – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8212, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DSM/LSCE, Université Paris-Saclay, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8212, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DRF/LSCE – Bât. 12, avenue de la Terrasse, F-91198 GIF-SUR-YVETTE CEDEX, France

⁴ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – CNRS : UMR5204, Université de Savoie – Université de Savoie, Campus scientifique, 73376 Le Bourget du Lac cedex, France

⁵ UMR ArScAn équipe archéologies environnementales – Ministère de la Culture et de la Communication, Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne – France

Surtout connus pour leur potentiel d'archives paléo-environnementales à très haute résolution chronologique, les spéléothèmes peuvent également être d'excellentes archives archéologiques quand ils enregistrent les traces d'activités anthropiques, comme celles laissées par les feux. Ces archives présentent également l'avantage d'être directement datables, permettant ainsi de placer dans le temps calendaire les séquences d'événements qu'elles enregistrent.

Dans cette présentation, nous nous intéressons au potentiel informatif d'un spéléothème découvert sur le site d'Ornac 3 et enregistrant de nombreuses traces de suie. Par la combinaison de plusieurs méthodes (fuliginochronologie, datation U/Th, analyse géochimique, fluorescence UV), nous avons pu mettre en évidence un usage répété du feu à Ornac 3, avec une séquence d'au moins 23 feux enregistrés sur une période d'environ 1000 ans et datant d'il y a environ 270 000 ans. La datation du spéléothème en plusieurs points, à travers la datation de prélèvements réalisés en micro-stratigraphie, a permis de replacer finement la récurrence des feux dans le temps calendaire. De plus, plus de 50% des traces de suie étant associées à des phases de formation du spéléothème lors de périodes humides, ce cas d'étude permet de discuter de la capacité de maîtriser le feu par les hominins lors de la transition vers le Paléolithique moyen en Europe de l'Ouest, incluant son allumage ou du moins sa collecte et son entretien à long terme. Le contrôle du feu est considéré comme un tournant majeur dans l'évolution humaine; la temporalité de son émergence est un sujet central mais fortement débattu en archéologie. L'étude des paléo-feux est complexe en raison des phénomènes taphonomiques qui altèrent les structures de combustion et rendent difficile l'identification des foyers les plus anciens. De plus, même s'il est parfois possible d'identifier une réutilisation des foyers, ces structures ne fournissent généralement pas un enregistrement chronologique complet de leur utilisation. Les spéléothèmes fuligineux sont donc des archives complémentaires de premier plan pour la pyroarchéologie, susceptibles d'enregistrer des chroniques des événements de paléo-feux,

*Intervenant

directement datables, même pour des périodes reculées.

Mots-Clés : Contrôle du feu, Transition Paléolithique ancien / Paléolithique moyen, Pyroarchaeologie, Datation U/Th, Fuliginochronologie, Spéléothèmes, Suie, Chronique d'événements

Thème 4. Du vestige au paysage numérique : Articuler modélisations, analyses computationnelles, simulations et (géo)visualisations dans un cadre interdisciplinaire et de science reproductible

Le thème 4 est organisé en collaboration avec le CAA-FR, chapitre français de l'organisation internationale [Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology](#) (CAA).

Coordination : Nicolas BERNIGAUD, Frédérique BERTONCELLO, Maria-Elena CASTIELLO, Bertrand DAVID, Nicolas FREREBEAU, Anaïs GUILLEM, Thomas HUET, Julie GRAVIER, Raphaëlle KRUMMEICH, Gwénaëlle MOREAU, Marie-Jeanne OURIACHI, Sébastien PLUTNIAK, Sébastien REY-COYREHOURCQ, Muriel VAN RUYMBEKE

L'archéologue est à la fois confronté.e au risque de perte d'information, de destruction de l'artefact, à l'impossibilité d'observer directement les phénomènes inférés, et aux enjeux d'une multiplicité de lectures propre à l'interdisciplinarité. En se fixant pour horizon celui d'une science reproductible, ce quatrième thème interroge l'archéologie au travers de ses pratiques numériques et leur rôle dans la construction et la visualisation du récit archéologique dans la pluralité de ses formes. Au moyen de ces trois sessions, nous proposons de rendre visibles en tant que telles les problématiques liées aux données archéologiques, aux logiciels ou à la modélisation statistique ou générative. Nous pensons qu'il est important de comprendre pourquoi et comment ces pratiques se concrétisent et s'insèrent dans le champ pluridisciplinaire de l'archéologie. La première session interroge les modalités de l'interopérabilité et de l'harmonisation des données archéologiques mais aussi, plus fondamentalement, le devenir des données et de l'archive archéologique (4.1), la seconde s'intéresse aux rôles des méthodologies numériques et à la critique de la transformation des pratiques vers ce que l'on pourrait appeler l'archéologie computationnelle (4.2), et la dernière propose une méthodologie critique du fait archéologique par le développement d'approches réflexives mobilisant la simulation de mécanismes opératoires supposés être en jeu au sein de systèmes complexes (4.3). Enfin, cette thématique permettra de faire dialoguer et de fédérer différentes communautés (CAA, NASSA, CIDOC etc.).

Session 4.1. Interopérabilité au sein du cycle de vie des données & science ouverte en contexte interdisciplinaire : communications orales & posters

Session 4.2. Construire et faire : l'archéologie computationnelle comme nouveau paradigme ? communications orales & posters

Session 4.3. Modélisation et simulation de phénomènes spatialisés : communications orales & posters

Keynote 4 :

Computational modelling to infer demographic processes and cultural interactions from archaeological evidence : challenge and perspectives

Simon Carrignon ¹

¹ McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge – Royaume-Uni –
s.carrignon@ucl.ac.uk

Computational model like Agent-Based Models (ABMs), offer highly flexible tools for researchers exploring systems where few theories exist, and data is limited. Archaeology is a great example of such systems. The scarcity and quality of empirical evidence can't be addressed through experimental approaches, and no general theory of human behaviour is available to precisely describe past civilizations. Computational simulations enable exploration of a vast array of hypothetical scenarios, in a robust and reproducible way, integrating heterogeneous knowledge across multiple levels and where complex interactions can be implemented. However, the flexibility of exploratory models comes at a cost : managing a vast space of possible models that become increasingly complex as more detailed descriptions of the hypothetical processes are added, making them difficult to compare and interpret.

Other computational methods, like Gaussian processes or spatial autoregressive models, deal with this by formulating the problem under a stricter Bayesian framework, constraining the processes modelled to those that can be described by well-known distributions. These methods use simulations for calculating the full posterior distribution of the model under specific archaeological evidence. If they allow precise inference about the processes being modelled, they limit the complexity and the richness that can be expressed. Combining models allowing hypothesis exploration with Bayesian approaches through Approximate Bayesian Computation and Tactical Simulations can bring together the best of both worlds, effectively combining the expressivity of exploratory models with statistical robustness.

This talk will illustrate the use of such approaches to understand demographic and cultural processes across various archaeological contexts from the Roman Empire to the first mega-settlements in Eastern Europe and the spread of agriculture in Japan. It will highlight the importance of standardised and easy to access archaeological dataset, through the example of BIAD (Big Interdisciplinary Archaeological Database) to ensure the success of these methods, and will review the challenges that remain to be addressed. Overall, this workflow – centred around computational modelling and facilitated by easy access to computational power and advanced AI tools – has the potential to radically transform part of archaeology, by leveraging the combination of standardised large datasets, generative models and strong statistical analysis.

Session 4.1. Interopérabilité au sein du cycle de vie des données & science ouverte en contexte interdisciplinaire

Communications orales

Méthodes de modélisation et de restitution des paysages culturels pour l'archéologie et l'histoire sensorielles.

Sylvain Laubé * ^{1,2}, Mylène Pardoën ³

¹ Laboratoire François Viète (EA 1161) – Université de Bretagne Occidentale (UBO) : EA1161 – 20 rue Duquesne 29200 Brest – France – sylvain.laube@univ-brest.fr, mylene.pardoen@cnrs.fr

² Centre Européen de Réalité Virtuelle – Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB) – France

³ Maison des Sciences de l'Homme (MSH) Lyon St-Étienne – CNRS – France

Dans le cadre des recherches menées dans le projet ANR LabInVirtuo (<https://anr.fr/Projet-ANR-20-CE38-0016>) portant sur l'histoire et le patrimoine des activités humaines dans les PICS (Paysages Industriels Culturels Sensoriels) et la restitution de celles-ci sous forme d'Environnements Virtuels Intelligents Réalistes Sensoriels (EVIRS), couplées aux travaux menés conjointement par le GT 6 Archéométrie des sens (<https://archeometrie.prod.lamp.cnrs.fr/jt-atelier/gt6-archeometrie-des-sens/>) ainsi qu'aux pratiques de collectes et restitutions scientifiques dans le domaine de l'archéologie du paysage sonore (Pardoën & Guesney, 2024), il apparaît la nécessité de s'appuyer sur des analyses critiques des différents segments composant la sensorialité pour modéliser les concepts à l'œuvre sous forme d'ontologies afin de produire des bases de données historiques et archéologiques interopérables.

En s'appuyant sur le concept de paysage culturel sensoriel (PCS) et notamment les paysages industriels (PICS), nous avons su démontrer que les événements sensoriels touchant aux domaines suivants : sonore, thermique, lumineux et olfactif présentent des analogies événementielles de type triptyque : source, propagation et perception (composantes de base de toute matérialisation d'événements sensoriels).

À partir de ce constat, il devient nécessaire de produire des bases interopérables de données historiques, mais également physico-chimiques, qui s'appuient sur des ontologies mettant en exergue des intérêts communs et le partage des données, ouvrant à une normalisation des métadonnées de ces objets immatériels et sensoriels et permettant également une interopérabilité avec les modèles UML d'activités déjà existants en Réalité Virtuelle (Laroche, Querrec et al, 2023).

Ces ontologies se présentent sous forme d'extensions de l'ontologie Any-Artefact (Laubé, 2021) développée dans le projet Lab in Virtuo, par une approche méréologique, et dédiée à la modélisation de l'activité humaine en environnement industriel ou artisanal.

Une première application est expérimentée au paysage/patrimoine sonore. Cette approche peut se faire en s'appuyant sur les travaux menés dans le cadre du patrimoine sonore en cours et bien avancés ainsi que ceux futurs (tels ceux qui seront menés dans le cadre de l'étude des Forges de Pontaniou – Arsenal de Brest). Dans ce dernier projet, l'ensemble des sensorialités citées seront étudiées en concomitance pour en cerner les imbrications et les répercussions possibles.

La création d'une ontologie permettant de décrire de manière détaillée ce qui touche à la sensorialité auditive permet d'ouvrir la voie aux autres domaines précédemment cités (le thermique, le lumineux et l'olfactif).

Nous nous proposons dans cette communication de :

*Intervenant

- discuter le concept de paysage culturel sensoriel (PCS) à partir d'un état des lieux dans les domaines de l'histoire, de l'archéologie et la géographie
- de démontrer en quoi les événements sensoriels sonores, thermiques, lumineux et olfactifs présentent de fortes analogies
- présenter les résultats obtenus concernant la bases de données des évènements sonores concernant les Forges de Pontaniou (en activité entre 1881 et 2013 dans l'arsenal de Brest).

Pardoen, M., & Guesney, M. (2024). Study and analysis of the sound environment of the Notre-Dame construction site between the 12th and 18th centuries. *Journal of Cultural Heritage*, 65, 155-159.

Laroche, F., Querrec, R., et al (2023). LabInVirtuo, a Method for Designing, Restoring and Updating Virtual Environments for Science and Technology from Heterogeneous Digital Corpus. In *Beyond Digital Representation : Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design* (pp. 15-26). Cham : Springer Nature Switzerland.

Laubé, S. (2021). Maritimité et paysage culturel maritime : les apports du modèle « Any-artefact ». *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines*, (14), 293-316.

Mots-Clés : Paysage culturel sensoriel, ontologie, histoire, archéologie sonore

CHIPS : l'élaboration d'un référentiel de données pour les recherches en archéométallurgie du fer (voire plus)

Alexandre Disser * ¹, Thomas Huet ¹, Laurent Costa ²

¹ Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération – CEA, CNRS : UMR3685, CNRS : UMR7065, Université Paris-Saclay – France

² Archéologies et Sciences de l'Antiquité – CNRS, Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, UPL Université Paris Lumière Paris 8, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, Ministère de la Culture et de la Communication, INRAP – France

L'utilisation de données chimiques est nécessaire pour traiter de nombreuses problématiques essentielles pour la compréhension des systèmes techniques et socio-économiques liés au travail du fer. Ces données sont notamment nécessaires pour une approche quantitative des productions (bilan matière et calcul de rendement), mais également pour examiner la circulation des matériaux ferreux. Au cours des dernières décennies, de nombreuses équipes ont acquis ce type de données à l'échelle internationale, offrant une documentation de référence virtuellement importante (une estimation de plusieurs dizaines de milliers d'analyses). Néanmoins, cette documentation est très dispersée en termes de types (articles, monographies, littérature grise, etc.) et de natures (papier, numérique) de supports. La sidérurgie ancienne étant par ailleurs un sujet d'étude pour des chercheurs issus de différentes disciplines, on constate une diversité des pratiques formelles pour exprimer les données chimiques. Ceci impose souvent des alignements préalables à leur comparaison. Enfin, le recours à différents vocabulaires descriptifs rend délicate la création de requêtes efficaces lorsque l'on cherche à utiliser différents jeux de données de référence (interopérabilité). Collectivement, les archéométallurgistes sont donc contraints de consacrer une énergie et un temps conséquents pour disposer des données de référence nécessaires à leur recherche. L'objet de cette communication est donc de présenter la conception d'une base de données ('CHIPS' pour 'CHIMie en PaléoSidérurgie') qui offre la possibilité, à une communauté internationale de scientifiques, de disposer de données de référence standardisées et donc intercomparables. Un effort particulier a été consacré à intégrer les métadonnées analytiques (phénomènes physiques utilisés, modèles des analyseurs, laboratoires, etc.) au système de gestion de données. En ce sens, les utilisateurs devraient être facilement en mesure d'examiner la qualité des données, et d'accéder à la documentation d'origine. Une première interface de visualisation et d'interrogation des données a été élaborée à partir de la plateforme web GIS GEO utilisée par le consortium 'Projets Time Machine', labellisé Huma-Num. Des développements sont en cours pour offrir des possibilités de requête plus élaborées, ainsi que des options d'export des données adaptées aux besoins propres des utilisateurs. Une communauté de recherche est actuellement en train de se structurer à l'échelle internationale autour de cet outil collaboratif. Plusieurs projets sont en cours de discussion, relatifs aussi bien à l'acquisition des données qu'à leur valorisation, ou la production de nouvelles synthèses scientifiques que seuls des bases de données de grande envergure peuvent offrir.

Mots-Clés : web GIS, données chimiques, archéométallurgie, référentiel

*Intervenant

De l'harmonisation à la comparabilité des données archéologiques : l'expérience de Syslat sur près de 40 ans.

Sébastien Munos * ^{1,2}, Réjane Roure ^{2,3}, Hakima Manseri ^{2,4}, Yoann Pascal ^{5,6}

¹ INRAP Midi-Méditerranée – INRAP – France – sebastien.munos@inrap.fr

² Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM) – UMR 5140 – France

³ Université Paul-Valéry - Montpellier 3 – Université Paul Valéry - Montpellier III – France

⁴ CNRS – UMR 5140 – France

⁵ INRAP Midi-Méditerranée – INRAP – France

⁶ Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM) – UMR 5140 – France

Dès sa première conception dans le milieu des années 80 sur la fouille de Lattes (34), l'enregistrement dans Syslat s'appuie sur l'utilisation de listes de vocabulaires normalisés. Cette volonté d'harmonisation dès l'acquisition des données primaires s'est donc traduite par la constitution collective de référentiels, qui ont rapidement dépassé le cadre de ce système informatique pour être utilisés, plus largement, par de nombreux chercheurs extrarégionaux. Les évolutions de l'archéologie, et donc de Syslat, ont conduit à adapter, consolider et diversifier ces référentiels de façon constante, pour mieux couvrir la pluridisciplinarité de cette science.

Ainsi, en permettant de constituer plusieurs bases de données collectives ou individuelles, alimentées par des vocabulaires normalisés et qui partagent la même structuration, Syslat tente d'apporter certaines réponses aux enjeux de comparabilité, d'interactions, mais également de pérennité des données.

À travers une série d'exemples couvrant plusieurs échelles, cette communication propose un retour d'expérience sur l'harmonisation, la remobilisation et la disponibilité de données sur le temps long. Elle s'attachera également à illustrer les possibilités de Syslat en termes de comparaisons de données entre plusieurs jeux d'enregistrements, que ce soit au niveau d'une étude, d'un site ou de plusieurs opérations archéologiques. Enfin, la présentation sera l'occasion d'évoquer les limites à dépasser pour tendre vers davantage d'interopérabilité.

Mots-Clés : base de données, référentiels, vocabulaire, enregistrement, comparabilité des données

*Intervenant

Session 4.1. Interopérabilité au sein du cycle de vie des données & science ouverte en contexte interdisciplinaire

Posters

Le web-sig du PCR TeRAPOTS, une base de données conçue comme un outil de partage, d'interopérabilité de la donnée dans un contexte de recherche pluri-disciplinaire.

Alexy Duvaut-Robine * 1,2

¹ Service régional de l'archéologie - Hauts-de-France – Ministère de la Culture et de la Communication – France

² Institut de Recherches Historiques du Septentrion (IRHiS) - UMR 8529 – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – France

Fin 2022, le projet collectif de recherche « TeRAPOTS », pour Travaux et Recherches sur les Ateliers de Production d'Objets en Terre cuite Septentrionaux sur les territoires Belges et des Hauts-de-France entre le haut Moyen Âge et l'époque moderne a été créé sous l'initiative de Sandrine Mouny (UPJV) et Vaiana Vincent (Inrap). Le projet regroupe une équipe de plus d'une trentaine de chercheurs : Inrap, services d'archéologie départementaux et municipaux, collectivités territoriales, entreprises privées, service publics de Wallonie et des Flandres, universités françaises et belges. Cette diversité géographique, institutionnelle et de compétences, a permis de prendre en compte dès la création du projet de l'urgence de créer un outil fiable et facile d'accès, qui assure l'intégrité et l'interaction entre les données. En 2023, le service Régional de l'archéologie des Hauts-de-France (Alexy Duvaut-Robine) a été sollicité pour la mise en place d'un web-sig collaboratif répondant aux attentes du PCR. La présente communication vise à présenter cette base de données comme un outil de partage et d'interopérabilité de la donnée, dans un contexte de recherche très varié. L'accent sera mis sur les notions d'harmonisation, avec la présentation de la structuration de la base et de son modèle conceptuel. Le choix de l'architecture logicielle reposant intégralement sur des logiciels libres (le système de gestion de base de données postgres/postgis, un serveur cartographique qgis serveur et le web client lizmap) permet d'avoir un outil de partage sécurisé. Une rapide présentation de l'interface de l'outil web sera d'ailleurs envisagée. La structuration même de la base de données et les choix logiciels ont été envisagés dès le départ, afin de favoriser l'interopérabilité avec d'autres sources de données, soit directement au sein même du système de gestion de base de données, soit à partir de la lecture de données au sein du client SIG bureautique qgis. Le PCR venant d'achever sa première année, l'ensemble de l'équipe est dans une dynamique d'alimentation de la base. Il faut cependant d'ores et déjà entamer une réflexion concernant les problématiques liées à la pérennisation des données qui sera indispensable une fois le programme collectif de recherche achevé.

Mots-Clés : base de données, harmonisation, interopérabilité, partage

*Intervenant

Des méthodes et des outils pour caractériser, analyser et partager les données sur les formations et les gîtes à silicites

Christophe Tufféry * ^{1,2}, Thomas Andre , Jérémy Garniaux , Louis Marguet , Stéphane Renault , Erwan Vaissié , Pierre Allard , Raphaël Angevin , Pierre-Antoine Beauvais , Didier Bonder , Françoise Bostyn , Céline Bressy-Léandri , Jean-Philippe Collin , Elsa Defranould , Paul Fernandes , Alix Gibaud , Mikael Guiavar'ch , François-Xavier Le Bourdonnec , Harold Lethrosne , Ludovic Mevel , André Morala , Antoine Pasqualini , Michel Piboule , Jean-Paul Raynal , Antonin Tomasso , Vincent Delvigne

¹ Ministère de la Culture – “Ministère de la culture ” – France

² UMR 8068 Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques – CNRS, Université Paris Nanterre, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – France

Depuis le milieu des années 1970, des travaux interdisciplinaires ont été réalisés en France visant à l'inventaire et la caractérisation des matériaux siliceux - hors roches dites « tenaces » - communément appelés « silicites ». Ces matériaux ont été très largement utilisés depuis la Préhistoire dans certaines régions du monde où ils constituent souvent l'essentiel des vestiges parvenus jusqu'à nous. Au début des années 2000, la méthode d'inventaire et de caractérisation de ces ressources a été élaborée dans une perspective dynamique en s'appuyant sur le concept de chaîne évolutive et développée, tant pour aider à des prospections harmonisées que pour rendre cohérentes plusieurs dizaines de collections de références (cf. lithothèques) antérieurement constituées. Ces travaux ont depuis été réalisés dans le cadre de plusieurs doctorats, prospections thématiques (PT) en Auvergne et Lozère et Projets Collectifs de Recherche (PCR) « Réseau de lithothèques » en Auvergne-Rhône-Alpes, Centre-Val de Loire, Nouvelle-Aquitaine, Ile-de-France et Occitanie. Depuis 2019, ils sont inscrits dans une démarche fédérative à l'échelle nationale, le Groupement De Recherche (GDR) « SILEX », sous l'égide de deux instituts du CNRS (Sciences humaines et sociales et Écologie & environnement), du ministère de la Culture, de l'Inrap et de la société Paléotime. Aujourd'hui, près de 80 chercheurs d'une quinzaine d'UMR en sont parties prenantes et des contacts ont été noués avec plusieurs chercheurs européens dans la perspective d'une coopération internationale.

Le GDR « SILEX » comporte quatre axes de recherche. Dans l'axe 1, on questionne la fiabilité des différentes méthodes d'analyse ; dans l'axe 2, on enrichit les données à l'aide d'outils harmonisés ; dans l'axe 3, on réfléchit aux implications archéologiques des transformations méthodologiques de la pétroarchéologie concrétisées ces 15 dernières années ; l'axe 4 est transversal et a pour but de rendre les données aussi accessibles que possible dans la mesure où ces recherches s'inscrivent résolument dans une démarche de science ouverte et il est le lieu de réflexions sur les stratégies de communication et de publication.

*Intervenant

Les données et métadonnées acquises dans le cadre de ce projet sont systématiquement publiées sous licence ouverte Etalab 2.0 sur la plateforme cartographique www.cartosilex.fr et sur l'entrepôt Nakala où sont accessibles les ressources documentaires associées aux différents points de collecte provenant de prospections (photos de gites et d'échantillons, extraits de cartes, fiches descriptives normalisées, etc.). Le site www.cartosilex.fr constitue la vitrine principale des résultats de l'avancement des recherches. Il permet un accès facile et rapide aux données et autorise en outre l'extraction et la réutilisation des données géoréférencées.

Les données ont été réutilisées pour développer des modèles d'itinéraires théoriques entre des sources d'approvisionnement en silicites et les sites archéologiques où ces matériaux ont été identifiés parmi le mobilier lithique mis au jour. Plusieurs extensions au logiciel de SIG QGIS ont été développées en utilisant divers modèles d'analyse de chemin de moindre coût (*least cost path analysis*). Ils seront prochainement publiés en code source ouvert afin de pouvoir servir pour des recherches similaires portant sur d'autres matériaux lithiques.

Mots-Clés : méthodes, outils, interopérabilité, lithothèques, chemin de moindre coût

Session 4.2. Construire et faire : l'archéologie computationnelle comme nouveau paradigme ?

Communications orales

Un outil d'enregistrement des données archéologiques spatiales et attributaires : du SQL du terrain au post-fouille

Collectif Ramen * ¹

¹ INRAP – Ministère de la Culture et de la Communication – France – collectif.ramen@inrap.fr

Au sein de l'archéologie préventive, les outils numériques se sont longtemps cantonnés aux travaux de post-fouille. L'enregistrement des données de terrain repose historiquement sur des formulaires papiers permettant d'établir un listing des faits, us, prélèvements, sondages, minutes, sous forme de fiches plus ou moins complexes, qui serviront, avec les relevés, d'archives de l'opération. À l'issue du terrain, la numérisation des données en vue de leur traitement et de leur analyse est engagée. Elle n'est pas sans poser un certain nombre de problèmes : transcription, fiabilité, temps.

Grâce aux smartphones ou tablettes, l'usage du numérique peut se déporter dès la phase terrain. Un simple tableur sur un terminal d'enregistrement peut constituer une première étape. L'utilisation de logiciels spécifiques peut également être envisagée. Mais la question de la pérennité de ces fichiers numériques se pose, tout comme les possibilités d'interopérabilité, voire d'accès. L'usage de solutions propriétaires rend en outre la donnée archéologique particulièrement vulnérable aux choix politiques ou commerciaux des éditeurs des logiciels, ou de l'administration. Et nombre de ces solutions ne gèrent pas la donnée spatiale, aujourd'hui indispensable pour répondre aux interrogations des archéologues.

Depuis 2020, « La Nécropole Numérique », projet de Recherche et Développement de l'Inrap, s'appuie sur la fouille programmée de la Nécropole médiévale des Mastrais à Noisy-Le-Grand (93) avec pour objectif la dématérialisation de la collecte des informations de terrain : descriptives, spatiales, relevé des sépultures par photogrammétrie.

Dans ce cadre, la Base Archéologique de Données Attributaire et SpatialeS (Badass) est destinée à la collecte et au traitement primaire de la donnée de terrain, ainsi qu'à l'analyse spatiale à l'échelle du site. Développée au format libre *sqlite/spatialite*, elle exploite les opportunités du SQL (Structured Query Language), langage normalisé dans les années 80, qui permet l'interrogation, la modification, la structuration des données conservées par le moteur de base de données.

S'appuyant sur un enregistrement en US, Badass fusionne l'enregistrement archéologique descriptif (attributaire) et l'enregistrement spatial issu de différentes sources : levés topographiques, relevés millimétrés, et aujourd'hui, de plus en plus, de sources issues d'acquisition en 3D (photogrammétrie, lasergrammétrie) de façon asynchrone. L'ajout des propriétés spatiales des entités archéologiques est mené au fur et à mesure des acquisitions, et mise en relation avec l'information attributaire préexistante au sein de tables uniques.

Sqlite/Spatialite ne dispose pas nativement d'interface, mais, s'agissant d'un format libre, de nombreux logiciels savent interagir avec. Un projet Qgis a ainsi été conçu pour le traitement des données spatiales et attributaires de la base, plutôt en post-fouille. Grâce au serveur libre et autonome *SQLPage*, développé par Ophir Lojkine, une interface web légère a pu être très rapidement développée. Plus intuitive, elle est essentiellement destinée à l'information descriptive mais peut afficher l'information spatiale. Elle peut être utilisée en réseau, sur tout terminal, sur le terrain et en phase d'étude par tous les acteurs de

*Intervenant

l'opération.

La communication présentera les principes et choix techniques opérés lors du développement de la base de données et de ses interfaces ainsi que les changements que l'usage de la base induit au quotidien.

Mots-Clés : base de données, interfaces, logiciel libre, Qgis

granulizeR & Fabryka : Deux applications « ouvertes » pour faciliter l'étude des processus de formation des sites préhistoriques

Marc Thomas * ¹

¹ Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES) –
Université Toulouse - Jean Jaurès, Centre National de la Recherche Scientifique – Maison de la
Recherche, 5 allée Antonio Machado 31058 TOULOUSE Cedex 9, France

Après l'abandon des vestiges sur les sites paléolithiques, de nombreux processus naturels (e.g. écoulements d'eau, solifluxion, bioturbation) sont susceptibles de les déplacer et de les trier. De ce fait, l'un des principaux enjeux de la géoarchéologie est d'identifier les processus naturels en jeu dans la formation des sites archéologiques et de caractériser leur impact sur les ensembles de vestiges.

Pour ce faire, l'analyse de la fabrique des vestiges archéologiques et l'étude de la granulométrie des vestiges lithiques sont deux méthodes quantitatives souvent privilégiées sur les sites paléolithiques. Ces analyses requièrent des compétences spécifiques dont la réalisation de nombreuses statistiques et l'utilisation de plusieurs logiciels. Ces derniers sont peu adaptés aux besoins des archéologues et sont parfois non libres. Afin de pallier ces problèmes, deux applications web « ouvertes » ont été développées en shiny sur la plateforme R : Fabryka et granulizeR. Elles seront présentées dans cette communication.

La première concerne l'analyse statistique de l'orientation et de l'inclinaison des vestiges archéologiques. L'analyse de la fabrique fournit des informations sur la source des sédiments constituant les dépôts, la nature des processus géologiques impliqués dans leur formation et l'impact de ces derniers sur la préservation des ensembles de vestiges. Fabryka permet la réalisation des statistiques classiquement réalisées dans les analyses de fabriques (diagrammes de Benn avec intégration possible des référentiels actualistes, diagrammes de Schmidt, roses des orientations et des inclinaisons et tests statistiques sur les orientations). L'application inclut également de nouvelles méthodes interactives d'exploration spatiales des données.

La seconde facilite l'étude de la distribution par classe de taille des vestiges lithiques. Les échantillons archéologiques sont confrontés à la variabilité de la distribution granulométrique de débitages expérimentaux. granulizeR inclut de nombreux référentiels expérimentaux de débitages et de façonnages réalisés sur plusieurs matières premières.

Ces applications ont pour objectif de démocratiser ces types d'analyses sur les sites en les rendant plus facilement accessibles à la communauté. Dans les applications, des tutoriels, des jeux de données exemples et des référentiels actualistes sont disponibles. Toutes les analyses spatiales et statistiques produites, les tableaux de données et les figures générées dans ces applications sont téléchargeables au format souhaité (.csv, .jpg, .png et .pdf). Fabryka et granulizeR sont disponibles via les liens suivants :

- <https://marchaeologist.shinyapps.io/granulizeR/>
- <https://marchaeologist.shinyapps.io/fabryka/>

*Intervenant

Mots-Clés : fabrique, granulométrie des vestiges lithiques, application R shiny, science ouverte, processus de formation des sites, Préhistoire

Petrographic data collection, processing and analysis : minimal computational architecture for ancient Sicilian inscriptions

Alessia Coccato ^{* 1}, Ryan Heuser ^{2,3}, Germana Barone ⁴, Arianna Ciula ⁵, Paolo Mazzoleni ⁶, Jonathan Prag ⁷

¹ University of Oxford, Faculty of Classics, Oxford – Royaume-Uni – alessia.coccato@classics.ox.ac.uk

² University of Cambridge [UK] – Royaume-Uni

³ King's Digital Lab, King's College London – Royaume-Uni

⁴ Università di Catania – Italie

⁵ King's Digital Lab, King's College London – Royaume-Uni

⁶ Università di Catania – Italie

⁷ Faculty of Classics, University of Oxford [Oxford] – Royaume-Uni

Within the interdisciplinary project « Crossreads : Text, materiality, and multiculturalism at the crossroads of the ancient Mediterranean » (<https://crossreads.web.ox.ac.uk/>), a full work package is dedicated to materials of ancient Sicilian inscriptions, alongside palaeography and linguistics, for the study of the epigraphic culture of the island (c. 6000 inscriptions). Within the project, the ongoing characterization of the stone supports (including marble provenance), will provide the first systematic account of the material aspects of this epigraphic culture. Pioneering results are being obtained on the precise characterization of lithotypes which were available, either in Sicily or through maritime transport across the Mediterranean, as is the case for crystalline marbles, between the 8th c. BC and the 8th c. CE.

To undertake the materials characterization, a multi-analytical approach is deployed, which includes a systematic acquisition of digital microscopy images and of X-rays fluorescence (pXRF) spectra directly in situ, as well as the collection of a limited number of samples for laboratory micro-destructive analyses, such as X-rays diffractometry (XRD) on powders, minero-petrographic observation of thin sections (OM), and isotopic analyses for marbles.

So far, ca. 700 inscriptions have been subjected to fully non-destructive analyses, and ca. 200 to a micro-destructive, sample-requiring characterization. Due to the variety of rock types, and to the multitude of different types of information being collected (ranging from numeric values, such as isotopic composition of ¹³C and ¹⁸O, and maximum grain size MGS, to percentages of mineralogical species derived from refinement of XRD patterns, standardized elemental compositions for a set of elements derived from processing of pXRF spectra, descriptive values inferred from the macroscopic and microscopic appearance), a set of digital tools – with associated code repository in evolution at the time of writing (<https://github.com/kingsdigitallab/crossreads-petrography>) - has been developed to provide some degree of automation and verification throughout the process. While manual intervention is minimized for repetitive tasks, it is still necessary for the description of minero-petrographic features. All these different data are currently stored in a flat table. Simple filtering supports the identification of rock types, while numeric data can easily be extracted for further analysis, such as chemometrics on the semi-quantitative data from pXRF, or the generation of interactive visualization of isotopic values on the published graphs. This contribution will present the data workflows designed and developed in collaboration with King's Digital Lab for the CROSSREADS project and associated efforts to make its flexible solution architecture of Colab and Jupiter notebooks written in Python minimalist and sustainable. While the data are currently stored by the project, the resulting interconnected dynamic notebooks are being documented

*Intervenant

as they evolve and will be released under an open license to make the analysis reproducible but also re-usable by other researchers dealing with similar types of petrographic data collection, processing and analysis.

Mots-Clés : petrography, multianalytical approach, provenance studies, data processing, digital humanities

Session 4.2. Construire et faire : l'archéologie computationnelle comme nouveau paradigme ?

Poster

Multidisciplinarité et accessibilité des données archéologiques : La micromorphologie comme cas d'étude à travers des bases de données en ligne et visualisation 3D

Elena De Rosa * ¹

¹ Archéorient – Université Lumière - Lyon II – France

Les fouilles archéologiques produisent de grandes quantités de données issues de plusieurs approches disciplinaires différentes, mais l'accessibilité de ces ensembles de données par un public archéologique plus large reste un défi important. Traditionnellement, les données collectées par des spécialistes sont souvent confinées aux cercles professionnels, limitant ainsi leur utilisation potentielle dans la recherche interdisciplinaire et les initiatives plus larges de science ouverte. Cet article prend comme cas d'étude la micromorphologie des sols archéologiques et explore la création d'une base de données en ligne dédiée à la diffusion des données spécifiques. Le projet poursuit deux objectifs principaux : (1) créer une collection de microphotographies de lames minces micromorphologiques accessible au public, afin qu'elles puissent servir de référence à d'autres chercheurs, et (2) fournir un support visuel pour aider les non-spécialistes à mieux comprendre les dynamiques spatiales et la valeur interprétative de la micromorphologie dans les sites de fouilles. Pour atteindre ces objectifs, le projet intègre la photogrammétrie portable via l'application Scaniverse pour produire rapidement des modèles 3D des zones de fouilles où des échantillons micromorphologiques sont prélevés. Ces modèles 3D offrent non seulement une meilleure visualisation du contexte de la fouille, mais facilitent également la compréhension des lames minces micromorphologiques, en illustrant leur emplacement au sein de la fouille et leur rôle dans la compréhension des dynamiques et des activités spatialisées sur les sites archéologiques. En combinant des outils numériques avancés avec le partage des données en accès libre, ce projet vise à rendre la micromorphologie plus compréhensible, accessible et utilisable à la fois pour les professionnels et le grand public.

Mots-Clés : Micromorphologie, database, 3D

*Intervenant

L'analyse computationnelle au service de l'archéologie du bâti : pour des pistes de méthode pour l'étude des fenêtres romaines (II^eme siècle av. n. è. - I^{er} siècle de n. è.)

Romane Desarbre * ¹

¹ Department of Cultural Heritage [Padova] – Italie

Si la sériation et la comparaison ont longtemps été des bases de l'analyse archéologique (Cleuziou et Demoule 1980), que faire en cas d'éléments dont on n'a que peu d'exemplaires, dont presque aucun complet ? La question se pose notamment en archéologie de la construction pour laquelle une partie des vestiges n'a pas pu être conservée ou dont une partie a été réutilisée ou est issue du réemploi (Bizri et al. 2022). Dans ces cas particuliers, comment créer une méthodologie d'étude et comment proposer des pistes interprétatives ? La proposition de ce poster est de montrer comment une approche computationnelle peut apporter des éléments de réponse pour cette catégorie d'objets.

Le cas d'étude proposé ici concerne les fenêtres de l'habitat domestique romain et notamment en Campanie. De manière générale, l'architecture romaine en Campanie connaît des transformations majeures au I^{er} siècle av. n. è. : lassée de la ville de Rome, une partie de l'élite romaine décide de s'établir le long des côtes campaniennes et y fait construire de somptueuses *villae*. Ces nouvelles installations deviennent rapidement un mode d'autoreprésentation entraînant avec elles une féroce compétition constructive et un développement galopant de nouvelles techniques architecturales (Gros 2001). Bouleversée par le tremblement de terre de 62-63 de n. è., la région est finalement engloutie sous les cendres au moment de l'éruption du Vésuve en 79 de n. è.

Longtemps laissées de côté des études architecturales et de construction romaines, l'étude des ouvertures et plus particulièrement des fenêtres connaît depuis quelques années un regain d'intérêt, notamment grâce à la thèse de Lucia Michielin (Michielin 2021). Il faut également noter la multiplication des études ponctuelles sur les systèmes de fermeture comme la synthèse de Danièle Foy et Souen Fontaine sur le verre à vitre (Foy et Fontaine 2008).

Dans le cadre de ce cas d'archéologie de la construction, l'objectif de ce poster est de présenter quelques pistes ouvertes par l'analyse computationnelle :

- Détecter et dégager des grandes tendances à des échelles locales et régionales : existe-t-il des logiques chronologiques ? fonctionnelles ?
- Réfléchir à des logiques notamment constructives et productives : dans une logique de chantier, comment parvenir à estimer les volumes de matériaux utiles et utilisés.
- Déterminer une première méthode de référence pour l'étude de tels objets : afin de pouvoir mener des comparaisons à plus grandes échelles, comment normaliser et réguler l'analyse dans un souci de reproductibilité.

Bibliographie indicative

*Intervenant

Bizri, Mélinda, Sébastien Bully, Fabrice Henrion, et Christian Sapin, éd. 2022. *Archéologie du bâti. Aujourd'hui et demain. Archéologie du bâti. Aujourd'hui et demain*. Monographies et Actes de colloques. Dijon : ARTEHIS Éditions.

Cleuziou, Serge, et Jean-Paul Demoule. 1980. « Enregistrer, Gérer, Traiter des Données archéologiques ». In *L'Archéologie aujourd'hui : Ouvrage collectif*, Bibliothèque d'Archéologie, 87-132. Paris : Hachette.

Foy, Danièle, et Souenn Fontaine. 2008. « Diversité et évolution du vitrage de l'Antiquité et du haut Moyen Âge : un état de la question ». *Gallia* 65 (1) : 405-59.

Gros, Pierre. 2001. *L'architecture romaine du début du III^e siècle av. J.-C. à la fin du Haut-Empire*. Paris : Picard.

Michielin, Lucia. 2021. « Fores et Fenestrae : A Computational Study of Doors and Windows in Roman Domestic Space ». Edinburgh : University of Edinburgh.

Mots-Clés : Architecture romaine, statistiques, construction, archéologie computationnelle, Pompéi

Le projet « UNIR ». Une aide à la création de figures pour l'archéozoologie grâce au système d'information géographique (SIG)./ UNIR project : Geographic Information System (GIS) support for the creation of archaeozoological figures

Emeline Le Goff ^{*}, Céline Bemilli ^{1,2}, Carine Carpentier, Michel Coutureau

¹ Institut National de Recherches Archeologiques Preventives (INRAP) – INRAP – France – emeline.le-goff@inrap.fr, carine.carpentier@inrap.fr, michel.coutureau@inrap.fr

² UMR 7209 AASPE – Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) – France

Le projet UNIR, lancé en 2018 (Bemilli *et al.*, 2020) et développé dans le cadre du GDR BioArchéodat (<https://bioarcheodat.hypotheses.org/>) a pour but de proposer à la communauté un outil qui permette la création automatique de figures en archéozoologie via l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG). Il repose sur le corpus des profils squelettiques d'animaux vectorisés, crée et mis à disposition de la communauté scientifique depuis près de trois décennies via la plateforme *ArchéoZoo.org* (<https://www.archeozoo.org/archeozootheque>). Les fonctions initiales du SIG sont détournées puisque ce n'est pas la fonctionnalité de géolocalisation qui nous intéresse ici mais la possibilité d'introduire un lien dynamique avec des systèmes d'enregistrement de type tableurs ou bases de données et des images vectorisées (ici les profils squelettiques). Dans ce projet développé sous QGIS (logiciel *open source*), chaque partie squelettique est convertie en entité graphique dans le logiciel de SIG, ce qui permet de créer des relations (jointures) avec les tables de données et générer automatiquement leur remplissage. De plus, le recours aux outils statistiques intégrés à ce logiciel permet de calculer directement les classes de valeur à appliquer, en fonction du jeu de données en présence. Ce projet d'utilisation d'un SIG au moyen de QGIS (logiciel *open source*) offre l'opportunité de simplifier et de systématiser l'ensemble de ces étapes de travail. La mise en ligne des premiers projets concernant les profils de squelette « éclatés », ainsi que de plusieurs supports tutoriels (vidéo et manuel) sont en cours. Nous espérons finaliser au plus vite celle de l'ensemble des profils squelettiques existants et appelons d'ores et déjà tout utilisateur à contribuer, augmenter et élargir le projet dans l'esprit collaboratif dans lequel il a été initié.

The aim of the UNIR project, launched in 2018 (Bemilli *et al.*, 2020) and developed as part of the GDR BioArchéodat (<https://bioarcheodat.hypotheses.org/>), is to offer the community a tool for the automatic creation of archaeozoological figures using a geographic information system (GIS). This is based on the corpus of vector-based animal skeletal profiles which has been created and shared with the scientific community for nearly three decades on the *ArchéoZoo.org* platform (<https://www.archeozoo.org/archeozootheque>). The basic functions of GIS are being diverted, as we are not interested in the geolocation functionality here but by the possibility of introducing a dynamic link with spreadsheet or database-type recording systems and images (in this case skeletal profiles). In this project, developed using QGIS (*open source* software), each skeletal part is converted into a graphical entity in the GIS software, making it possible to create relationships (joins) with the data tables and automatically generate their filling. In addition, by using

*Intervenant

the statistical tools built into the software, the value classes to be applied can be calculated directly, depending on the data set involved. This GIS project using QGIS (*open source* software) presents an opportunity to simplify and systematize all of these work stages. The first project concerning the ‘flattened’ skeleton profiles, as well as several tutorials (video and manual) are currently being put online. We hope to finalize that of all the existing skeletal profiles as soon as possible, and we are already calling on all users to contribute to, increase and expand the project in the collaborative spirit in which it was initiated.

Mots-Clés : Archéozoologie, DAO, squelettes vectorisés, représentation graphique, quantification automatique, logiciel QGIS, analyses statistiques, modeleur graphique.

Classification et analyse des séries lithiques en quartz : comment réconcilier l'analyse qualitative et l'exploration statistique ?

Océane Spinelli Sanchez * ^{1,2}, Michel Brenet ^{3,4}, Anne Delagnes ⁵,
François-Xavier Le Bourdonnec ⁶

¹ Archéosciences Bordeaux : Matériaux, Temps, Images, Sociétés – Université de Bordeaux Montaigne, CNRS : UMR6034, EPHE, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

² PACEA De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie – Université de Bordeaux (Bordeaux, France), CNRS UMR 5199 – France

³ Institut national de recherches archéologiques préventives – INRAP – France

⁴ PACEA De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement, et Anthropologie – CNRS UMR 5199, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

⁵ PACEA De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie – Université de Bordeaux (Bordeaux, France), CNRS UMR 5199 – France

⁶ Archéosciences Bordeaux : Matériaux, Temps, Images, Sociétés – Université de Bordeaux Montaigne, CNRS : UMR6034, EPHE, Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

Le quartz, matière première couramment utilisée pour la production d'outils pendant la préhistoire, se caractérise par une forte tendance à la fragmentation lors de la taille. Elle se distingue en cela nettement de roches telles que le silex, en ne permettant pas la production de morphologies standardisées provenant d'une adéquation entre l'action du tailleur sur la matière et la réponse mécanique de la roche. Il en résulte un assemblage de produit très diversifié et parfois difficilement prédictibles, se caractérisant par un ensemble de caractéristiques morphologiques uniques. Si l'analyse technologique est régulièrement employée, le caractère unique des produits rend leur analyse morphologique complexe tant d'un point de vue qualitatif, entendu au sens de l'étude manuelle des pièces, que quantitatif, lors de l'exploration statistique des données. Elle emmène tout particulièrement à interroger la pertinence d'une approche quantitative globale et de sa représentation graphique de la donnée, dont les résultats dans le cas du quartz viennent souvent difficilement appuyer le discours qualitatif. La méthode d'analyse statistique développée dans le cadre du présent projet vise à interroger la similarité entre les assemblages pour mieux faire émerger la part de disparité, et se veut comme un « point d'étape » ayant pour but de mieux orienter l'analyse qualitative des séries lithiques. Testée sur une série expérimentale de quartz, elle a permis de faire émerger des pistes d'étude liées aux propriétés mécaniques de la roche et à son aptitude à la taille. La méthode se base sur une double classification, mathématique via des classifications ascendantes hiérarchiques, et discursive, visant à la synthèse des catégorisations mathématiques par l'analyste, et permet ainsi de contrôler la variabilité du quartz lors de l'exploration des données. L'analyse se veut aisément réemployable par le collectif de par sa pratique et la possibilité de réaliser intuitivement l'aller-retour entre l'analyse quantitative et qualitative des pièces. La démarche amène enfin à réfléchir à la possibilité de bâtir des grilles d'étude quantitatives à partir d'objets d'études, comme le quartz, dont la matérialité et la nature très diversifiée complexifient l'analyse qualitative.

Mots-Clés : quartz, statistique, classification, technologie lithique, exploration de données

*Intervenant

Session 4.3 : Modélisation et simulation de phénomènes spatialisés

Communications orales

ROMPIRE-CLIM : un modèle multi-agents pour étudier l'impact des changements climatiques sur la production et le commerce des denrées agricoles dans l'Empire romain

Nicolas Bernigaud * ¹, Joel Guiot ², Frédérique Bertoncello ³,
Marie-Jeanne Ouriachi ⁴, Alberte Bondeau ⁵, Laurent Bouby ⁶

¹ Archéologie des Sociétés Méditerranéennes – CNRS – France

² Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – CNRS – France

³ Culture et Environnements, Préhistoire, Antiquité, Moyen-Age – CNRS – France

⁴ Université côte d'azur – Université de Nice Sophia-Antipolis – France

⁵ Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale – CNRS – France

⁶ Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier – CNRS – France

Un réchauffement climatique s'est amorcé vers le milieu du III^e s. av. J.-C. pour atteindre son maximum dans les premiers siècles de notre ère. Cette période chaude et humide qualifiée d'« Optimum Climatique Romain » (OCR) s'est achevée à la fin de l'Antiquité avec une nouvelle pulsation froide qui a atteint son paroxysme aux VI^e s.-VII^e s. ap. J.-C. : le Petit Âge Glaciaire de l'Antiquité tardive (LALIA). Si des effets particulièrement bénéfiques de l'OCR sur le développement économique du Haut-Empire ont récemment été envisagés, de même qu'un rôle déterminant de LALIA sur la fin de l'Empire romain d'Occident (Harper, 2017), nous nous interrogeons aujourd'hui plus précisément sur l'impact de ces variations climatiques sur les rendements agricoles et la géographie -fluctuante- des grandes cultures commerciales dans l'Empire romain. Après un fort développement aux premiers siècles de notre ère, les grandes régions viticoles et oléicoles de Méditerranée occidentale (Narbonnaise, Tarraconaise, Bétique,...) semblent en effet avoir décliné au III^e s. ap. J.-C., en contrepoint de l'émergence d'autres régions productrices en Afrique du Nord et du Levant, qui a connu un formidable boom agricole durant la période byzantine (VI^e-VII^e s. ap. J.-C.). Les différentes causes historiques, socio-économiques et environnementales à l'origine de ce basculement d'ouest en est des grandes régions productrices de l'Empire romain restent aujourd'hui à discriminer et à pondérer. Nous nous interrogeons aujourd'hui plus particulièrement sur le rôle potentiel de l'OCR et de LALIA dans ces dynamiques, alors que de récents travaux agronomiques ont mis en évidence la sensibilité des grandes cultures aux changements climatiques.

Pour évaluer l'impact de ces variations du climat sur l'agriculture antique, nous développons actuellement le modèle multi-agents ROMPIRE-CLIM qui simule les variations climatiques et leurs effets sur les rendements des principales cultures (vigne, olivier, céréales). Le modèle intègre des données paléoclimatiques à partir desquelles sont générées des valeurs de rendements potentiels, grâce à la programmation d'une fonction émulative du modèle agro-écosystémique Lund-Potsdam-Jena-managed-Land (LPJmL). Les agents de production agricole sont les cités romaines qui effectuent annuellement une récolte dans un rayon (variable) de plusieurs dizaines de kilomètres autour de la capitale. Les villes consomment une partie de leur propre production et exportent leurs surplus vers d'autres cités. Pour simuler ces échanges commerciaux, le modèle intègre aussi une cartographie des voies maritimes et terrestres reconnues par

*Intervenant

les données textuelles et archéologiques. Entre autres questions, les multiples simulations (réalisées avec différentes hypothèses) doivent nous permettre de vérifier si le refroidissement climatique de la fin de l'Antiquité ne pourrait pas avoir eu un impact négatif sur les rendements, la production et le commerce des denrées agricoles en Méditerranée occidentale, et avoir au contraire favorisé l'agriculture dans les régions chaudes et semi-désertiques d'Afrique et de Méditerranée orientale.

Dans cette communication, nous discuterons des principales difficultés conceptuelles et méthodologiques, inhérentes à un tel type de modélisation où les inconnues restent nombreuses. Nous présenterons en détail le modèle conceptuel de données (protocole ODD), une analyse de sensibilité du modèle, ainsi que les premiers résultats des simulations.

Mots-Clés : Modélisation multi, agents, changements climatiques, agriculture, Empire romain

Modéliser pour explorer la dynamique du peuplement gallo-romain : retour d'expérience sur le Système Multi-Agents ModelAnSet

Frédérique Bertoncello ^{*} ¹, Marie-Jeanne Ouriachi ¹, Nicolas Bernigaud ²,
Basile Lenormand ¹, Alberte Bondeau ³, Joël Guiot ⁴

¹ CEPAM-Culture et Environnements, Préhistoire, Antiquité, Moyen-Age, CNRS-Université Côte d'Azur, Nice – CNRS : UMR7264 – France – frederique.bertoncello@cepam.cnrs.fr,
marie-jeanne.ouriachi@univ-cotedazur.fr

² Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, UMR 5140 – CNRS, Université Paul Valéry - Montpellier III, Ministère de la Culture et de la Communication – France

³ Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE) – Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université – France

⁴ Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (CEREGE) – Institut de Recherche pour le Développement, Aix Marseille Université, Collège de France, Institut National des Sciences de l'Univers, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement – Europôle Méditerranéen de l'Arbois – Avenue Louis Philibert - BP 80 - 13545 Aix-en-Provence cedex 4, France

Les vestiges étudiés par l'archéologie sont le résultat de processus qui ne sont plus observables, ni même reproductibles, sauf à de rares exceptions (archéologie expérimentale). L'archéologue en est donc réduit à restituer les dynamiques (processus, comportements) à partir de données qui sont par essence statiques. Dans ce contexte, les modèles dynamiques sont précieux pour simuler les processus et tester nos hypothèses les concernant. Parce qu'ils permettent de simuler à la fois les interactions entre les composantes élémentaires du système (les agents) au niveau micro et leurs effets sur le comportement du système au niveau macro, ainsi que les interactions entre ces deux niveaux de fonctionnement du système, les Systèmes Multi-Agents (SMA) sont particulièrement pertinents pour étudier les relations complexes entre processus sociaux et phénomènes naturels dans la transformation des systèmes de peuplement anciens. Tel est l'objectif du SMA ModelAnSet « Modelling the role of socio-environmental interactions on Ancient Settlement Dynamics » développé par une équipe pluridisciplinaire alliant archéologues, historiens, agronomes, paléoclimatologues et informaticiens. Il s'agit d'appréhender les impacts respectifs des facteurs environnementaux et sociaux sur la dynamique du peuplement à l'époque romaine dans le sud-est de la France. Les recherches conduites depuis une vingtaine d'années montrent en effet que la conquête romaine, loin d'avoir eu un effet homogénéisateur sur les modes d'occupation dans les provinces conquises, s'est au contraire traduite par une grande variabilité de la densité, de la forme et de l'organisation du peuplement dans le temps et dans l'espace (Van der Leeuw *et al.* 2003, Bertoncello *et al.* 2012, Ouriachi et Bertoncello 2015). Pour les sociétés préindustrielles, la configuration et la dynamique du peuplement résultent de l'imbrication de facteurs environnementaux (climat, qualité des sols, topographie, hydrologie) qui définissent les potentialités offertes et les contraintes opposées à l'occupation et à l'exploitation d'un espace, et de facteurs sociaux (structuration sociale, degré de technicité, intensité des échanges, pouvoir économique, etc.) qui permettent d'augmenter la capacité d'exploitation des ressources tout en réduisant l'impact des contraintes environnementales. En partant du cas de la cité romaine de *Forum Iulii*, Fréjus (Var), ModelAnSet vise à explorer les interactions entre ces différents facteurs en simulant le

*Intervenant

comportement de propriétaires fonciers gallo-romains vis-à-vis de leurs exploitations agricoles, qui sont des composantes fondamentales du système de peuplement dans l'Antiquité. Le SMA intègre un modèle agro-systémique et un modèle paléoclimatique permettant d'évaluer la rentabilité des exploitations agricoles en fonction de l'évolution du climat. Tout en présentant le fonctionnement du modèle et ses premiers résultats, nous reviendrons sur les différents enjeux posés par la construction du modèle, sa calibration et la validation de ses sorties et les choix opérés pour y répondre.

Mots-Clés : Modélisation multi agents, Dynamique du peuplement, Paléoclimat, Rendement agricole, époque romaine

Provisioning the city, exploiting the hinterland ? Assessing the economic role of the transport system around Forum Hadriani through multiplex network analysis

Philip Verhagen ^{*† 1}, Mark R. Groenhuijzen

¹ Faculty of Humanities, Vrije Universiteit Amsterdam – Pays-Bas

The Roman military and urban settlement system in the border province of Germania Inferior is thought to have relied on local provisioning for at least some of its subsistence needs. In particular, it seems plausible that military and urban settlements relied on the proximity of hubs that may have acted as collection points for storage and transport of cereals (Vos 2009). Groenhuijzen (2018) applied least-cost modelling and network analysis to show that the positioning of settlements in the local transport network is largely consistent with this hypothesis. In this study, transport of cereals to the market was considered as a one-way system. However, transport of goods and people in the region served many more purposes, including the oft-cited military ones, using a multitude of transport means (pedestrian, on horseback or using pack animals, wheeled, by ship) and infrastructures (paths, roads, waterways and supporting facilities such as bridges and way stations).

In order to study what other roles the transport infrastructure played it is not sufficient to look at settlements and their connections as static isolated systems, as is often done in e.g. least-cost path analysis. Layered (aggregated) networks, also known as multiplex networks, allow to switch from one mode of transport to another, and thus to analyse the potential and relative efficiency of transport mode combinations. However, analyzing these networks is a complex task, since the intralayer and interlayer interactions represent different kinds of relations (Sánchez-García, Cozzo and Moreno 2014).

In our paper, we will further explore these aspects for the hinterland of the town of Forum Hadriani (current Voorburg near The Hague), a small Roman *civitas* capital on the northwestern border of the Roman Empire. Both the town, its hinterland and its relations to the outside world have been the subject of intensive archaeological research over the past decades (Bloemers 1978; Van Londen 2001; Buijten-dorp 2010; de Bruin 2012; Driessen 2018), but the economic interactions with and through the local transport network have only been marginally studied. We reconstructed multiple plausible transport networks in the region, using a combination of archaeological evidence, least-cost path modelling and network construction techniques, building on the work of Groenhuijzen and Verhagen (2015; 2017), to create input layers for a multiplex network of transport infrastructures. These are then used to model the potential movement of goods and people in the area, based on different assumptions about the purposes and requirements of transport. For example, bulk goods like building stone were much cheaper to transport over water than over land, so proximity to a waterway is essential to have access to these goods. Perishable goods, such as cereals, on the other hand, would need to be transported quickly to the market after harvesting, and required access to appropriate storage facilities in order to be traded profitably. In our paper, we will present both the methodology to arrive at our models as well as the first results, and confront these with the archaeological theories that have been proposed over the past decades on the economic function of town and hinterland.

*Intervenant

†Auteur correspondant : j.w.h.p.verhagen@vu.nl

Mots-Clés : Roman archaeology, Netherlands, transport and mobility, urban rural relationships, network analysis, simulation modelling

Revealing the Dynamics of Desert Kites : An Agent-Based Modeling Approach Enhanced by OpenMole

Maria Elena Castiello ^{* 1}, Arnaud Banos ², Hélène Mathian ³, Sébastien Rey-Coyrehourcq ², Olivier Barge ⁴, Jwana Chahoud ⁴, Guillaume Charloux ⁴, Rémy Crassard ⁵, Emmanuelle Vila ⁴

¹ Université de Lausanne – Suisse – MariaElena.Castiello@unil.ch

² CNRS – CNRS UMR IDEES – France

³ CNRS – CNRS UMR 5600 EVS, University of Lyon/Site ENS, Lyon, France – France

⁴ CNRS – Université de Lyon, CNRS, Archeorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, France – France

⁵ CNRS – CNRS-UMR 5133, Maison de L'Orient et de La Mediterranee, University of Lyon II, 7 Rue Raulin, 69007 Lyon, – France

Desert kites are monumental structures used to trap wild animals, dating from the Neolithic period to more recent times. High-resolution satellite imagery has identified over 6,300 kites distributed across the Aralo-Caspian zone and western Arabia, sparking renewed research interest. While their role as large-scale hunting traps is well established, significant gaps remain regarding their operational mechanisms, the behaviors of human and animal agents, and their long-term ecological impacts. The incomplete paleoenvironmental record, scarcity of artifacts and faunal remains, and limited data on targeted species and population sizes challenge efforts to reconstruct their functioning and associated activities. To address these complexities, we propose a modular and incremental Agent-Based Modeling (ABM) approach (Cottineau et al., 2020), developed in NetLogo and coupled with the OpenMole platform (Romain et al., 2013) for comprehensive parameter exploration. The ABM simulates hunting dynamics within desert kites by incorporating variables such as structural morphology, topographical context, hunter strategies, and species-specific ethological traits. To consider space like a real parameter to explore subjects to controlled specification we take our inspiration from PCG (Procedure Generation PCG) and Neutral Landscape methodologies used both in field of ecology and geography (Raimbault et al. 2019; Sciaini et al. 2018). The OpenMole platform is pivotal to this study, facilitating the systematic exploration of model parameters through its integration with high-performance computing (HPC) environments. This platform automates the execution of large-scale simulations, enabling the simultaneous testing of diverse scenarios and hypotheses. By leveraging its procedural workflows, OpenMole ensures reproducible and reusable experiment designs, crucial for investigating complex hypotheses. This research underscores the potential of combining agent-based modeling with OpenMole's advanced computational tools in archaeology. The integrated approach not only deepens insights into the « kite system » but also provides a scalable framework for investigating other large-scale human-environment systems in the archaeological record.

References

Clémentine Cottineau, Paul Chapron, Marion Le Texier, Sébastien Rey-Coyrehourcq. Chapter 4 : Incremental Territorial Modelling. In Pumain D., 2020, Geographical Modelling, ISTE.. 2019. ffhals02314965f.

*Intervenant

Juste Rimbault, Clémentine Cottineau, Marion Le Texier, Florent Le Néchet, Romain Reuillon. Space Matters : Extending Sensitivity Analysis to Initial Spatial Conditions in Geosimulation Models. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2019, 22 (4), [10.18564/jasss.4136](https://doi.org/10.18564/jasss.4136) .

Sciaini M, Fritsch M, Scherer C, Simpkins CE. NLMR and landscapetools : An integrated environment for simulating and modifying neutral landscape models in R. Methods Ecol Evol. 2018 ; 9 : 2240–2248. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13076>

Crassard, Rémy, Abu Azizeh Wael, Barge Olivier, Brochier Jacques Elie, Chahoud Jwana, Régagnon Emmanuelle. The Use of Desert Kites as Hunting Mega Traps : Functional Evidence and Potential Impacts on Socioeconomic and Ecological Spheres. Journal of World Prehistory 35, 1-44 (2022). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10963-022-09165-z>.

Reuillon, Romain, Mathieu Leclaire and Sebastien Rey-Coyrehourcq. OpenMOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models. Future Gener. Comput. Syst. 29 (2013) : 1981-1990.

Mots-Clés : Desert kites, Archaeological modelling, OpenMole, Agent Based Model (ABM)

La reconstruction archéologique du passé : problèmes fondamentaux et perspectives nouvelles depuis l'analyse de fragmentation et la modélisation des processus de formation des dépôts archéologiques

Sébastien Plutniak * ¹

¹ Institut des Sciences Humaines et Sociales - CNRS Sciences humaines et sociales – Université François Rabelais - Tours – France – sebastien.plutniak@posteo.net

Que l'archéologie concerne la reconstruction du passé est une idée courante. Déterminer ce qui peut être reconstruit à partir d'observations archéologiques et comment ces reconstructions doivent être opérées comptent aussi parmi les problèmes fondamentaux de la théorie et de la méthodologie archéologiques. Les états du passé à reconstruire concernent des analyses d'entités et de processus variés et plus ou moins complexes. L'analyse de la fragmentation et des « remontages » est alors particulièrement intéressante, du fait de leur caractère élémentaire et fondamental. En effet, affirmer que deux fragments faisaient partie de la même chose, à un moment donné dans le passé, constitue l'énoncé archéologique à la fois le plus simple et le plus robuste qui soit. Ce cas apparaît ainsi particulièrement pertinent pour aborder les problèmes généraux relatifs à la reconstruction archéologique du passé. Des travaux récents dans ce domaine ont conduit à des améliorations conceptuelles et de méthode. La méthode TSAR (Topological Study of Archaeological Refitting), en particulier, utilise la théorie des graphes pour représenter et analyser des relations de « remontages » distribuées dans des unités spatiales archéologiques (par ex. des couches stratigraphiques, des fosses). Elle est implémentée dans le package R « archeofrag » (<https://CRAN.R-project.org/package=archeofrag>), complété par une déclinaison à interface graphique, « archeofrag.gui » (<https://analytics.huma-num.fr/Sebastien.Plutniak/archeofrag/>), rendant plus aisée et moins technique son utilisation. Néanmoins, le manque de données de référence pour comparer les résultats obtenus à partir de données de terrain pose toujours de sérieux problèmes dans ce domaine. Une solution consisterait à accroître les jeux de données publiés (archeofrag y contribue modestement) ; la simulation informatique constitue une autre solution. Ainsi, archeofrag intègre un simulateur permettant, comme un modèle multi-agents, de générer des scénarios dépositionnels pouvant être comparés aux observations empiriques. Les capacités de ce type de modèle sont néanmoins limitées par l'étendue de nos ignorances lorsqu'il s'agit de définir les paramètres initiaux d'une simulation. Les hypothèses sur, par exemple, le nombre initial d'unités spatiales et d'objets, leur distribution initiale dans ces unités, etc., admettent des combinaisons de valeurs possibles trop nombreuses, conduisant à des explosions combinatoires. On présentera de premières tentatives de solution à partir de méthodes « d'exploration de modèles » fondées sur des algorithmes évolutionnaires et le calcul haute performance. La méthode « Origin Search Exploration », implémentée dans la plate-forme OpenMOLE est ici particulièrement intéressante. À partir d'un état final du modèle, elle permet de contourner l'explosion combinatoire en estimant les possibles combinaisons de paramètres initiaux du modèle. De premiers résultats seront présentés à propos de différents sites archéologiques pour lesquels des jeux de données de remontage sont disponibles. On illustrera ainsi comment des approches computationnelles bénéficient aux archéologues de deux manières : 1) par la résolution de problèmes spécifiques, relatifs à l'analyse spatiale, aux processus de formation des sites, ou aux activités humaines ;

*Intervenant

2) en abordant, sans se départir des aspects pratiques, des questions de philosophie de l'archéologie relatives à la définition de ses entités et opérations argumentatives élémentaires.

Mots-Clés : modélisation, R langage, package, remontages, taphonomie, formation des sites

Session 4.3 : Modélisation et simulation de phénomènes spatialisés

Posters

Modélisation hydraulique unidimensionnelle des aqueducs romains d'Arles

Hugo Delile * ¹, Batiste Chrétien , Jérôme Le Coz , Théophile Terraz ,
Mickaël Lagouy ², Robert Fabre , Christophe Richit , Guel Surmelihindi ,
Cees Passchier ³, Philippe Leveau

¹ University of Lyon, CNRS, Archéorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon –
Université de Lyon, CNRS, Archeorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, France –
France

² Irstea – Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
- IRSTEA (FRANCE) – IRSTEA, UR RIVERLY, 5 rue de la Doua 69625 Villeurbanne Cedex, France

³ Department of Earth Sciences, University of Mainz – Allemagne

Au cours de la période augustéenne, la colonie romaine d'Arelate (Arles) est dotée d'un aqueduc qui capte des sources sur le versant sud des Alpilles. Son débit est renforcé par l'apport de nouvelles sources captées sur le versant nord des Alpilles. Le bassin qui assurait la régulation de l'aqueduc à l'amont du franchissement de la Vallée des Baux assure alors la convergence de deux branches de l'aqueduc et la dissipation de l'énergie de la chute de l'eau de celle de la branche nord. Au début du II^e siècle, la branche originelle est affectée aux moulins de Barbegal. Au III^e siècle, les moulins perdent leur fonction industrielle. Leur site reste occupé pour un usage indéterminé. Le bassin est alors modifié. Une partie des eaux de l'aqueduc d'Arles est dérivée pour l'alimenter en eau, le bassin est modifié. L'archéologie et la géochimie des dépôts carbonatés qui en recouvrent les parois permettent de reconstituer les trois fonctionnements successifs du bassin : régulation, convergence et absorption de l'énergie de la chute de l'eau de la branche nord, dérivation.

L'objectif de la présente étude est donc de tester des hypothèses de fonctionnement via une modélisation unidimensionnelle et de rendre compte des modifications apportées par les hydrauliciens romains à un ouvrage qui n'avait pas été conçu à l'origine pour assurer la convergence de deux canaux et la dissipation de l'énergie d'une chute d'eau.

L'évaluation du débit de l'aqueduc d'Arles à l'aval du bassin a montré que l'aqueduc a délivré un minimum de 300 l./s. à la ville durant les cinq à six siècles de son fonctionnement. Celui-ci a nécessité un entretien régulier pour éliminer les dépôts laissés par les eaux carbonatées issues du karst du massif. Si celui-ci a été assuré sur la branche venue du nord, il en va autrement de celle du sud à partir du moment où elle a été affectée aux moulins de Barbegal. L'importance des dépôts montre que le débit simulé de 250 l./s. sur un canal « neuf » (lisse et sans réduction de section) a été divisés par six en fin de vie.

Mots-Clés : Aqueduc, Arles, flux d'eau, modélisation unidimensionnelle, concrétions carbonatées

*Intervenant

L'anthropisation, facteur d'instabilité des sols ? Modélisation diachronique appliquée au vignoble de Mercurey (Bourgogne, France)

Brian Chaize * ¹, Mathieu Fressard ², Aurélien Christol ³, Etienne Cossart ³

¹ UMR 6266 IDEES - Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – Université de Rouen Normandie – France – brian.chaize@univ-rouen.fr

² UMR 6266 IDEES - Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés – Université de Caen Normandie – France

³ UMR 5600 EVS - Environnement Ville Société – Université Jean Moulin - Lyon 3, Université Jean Moulin Lyon 3 – France

Les études archéologiques et paléoenvironnementales menées jusqu'alors n'offrent qu'une vision lacunaire de l'évolution du paysage viticole bourguignon. La Côte Chalonnaise en général et le vignoble de Mercurey en particulier restent peu documentés, alors qu'ils sont situés au croisement de nombreux sites archéologiques connus pour avoir livré des indices de viticulture (amphores vinaires, outillage viticole, écofacts, etc.), dont les plus anciens remontent à la fin du Haut-Empire romain (Ier-IIe s. ap. J.-C.). Cette recherche a pour objectif de proposer une reconstitution spatialisée des changements d'occupation du sol à Mercurey et de l'érosion des sols associée. La confrontation des deux permettra de discuter si l'emprise de la viticulture se marque nécessairement par un relèvement de l'ablation sédimentaire ou si, a contrario, des stratégies empiriques ont été mises en œuvre par les sociétés passées pour préserver la ressource en sol. En complément, il s'agit de développer un protocole reproductible permettant d'intégrer une dimension spatiale fine aux interprétations issues des archives sédimentaires collectées en contexte intra ou extra-site archéologique.

La méthodologie s'articule autour de trois axes majeurs : (i) reconstitution de l'occupation du sol à différentes périodes de l'Holocène à partir d'une approche multi-sources (cartes historiques, données textuelles et archéologiques, spectres anthracologiques, etc.) ; (ii) quantification de la susceptibilité à l'érosion pour ces mêmes périodes, en calibrant le modèle RUSLE aux conditions socio-environnementales passées (climat, occupation du sol et techniques culturelles) ; (iii) validation des valeurs modélisées par confrontation avec les signaux géomorphologiques et archéobotaniques enregistrés dans des archives sédimentaires. Les résultats soulignent que la susceptibilité à l'érosion a augmenté d'un facteur 10 entre le stade de référence pré-anthropisation (Mésolithique) et la période actuelle. Le caractère irrégulier de cette augmentation est mis en relation avec l'évolution de l'intensité et de la spatialité de l'anthropisation. Les changements dans la localisation des modes d'occupation des sols (e.g., concentration du vignoble dans la plaine pour des raisons agronomiques à la période romaine) et dans les techniques culturelles (e.g., disposition des pieds de vigne en foule jusqu'à la fin du XIXe siècle) modifient la capacité du paysage à entraver les processus érosifs. Par ailleurs, la volonté de gérer la ressource en sol apparaît précocement dans le vignoble de Mercurey, témoignant du fait que les viticulteurs locaux ont souvent perçu leur activité agricole non pas comme un facteur de dégradation du sol, mais comme un facteur pouvant, par le jeu d'interactions, être source d'équilibre pour cette ressource.

*Intervenant

Mots-Clés : Anthropisation, Erosion, Paysage, Viticulture, Modélisation, Holocène, Bourgogne

Liste des participants

Arhan Damien	Coccato Alessia
Bachelier Julie	Colange Céline
Baivier Clara	Costa Kévin
Bauvais Sylvain	Crochat Jessy
Bejarano Ingrid	Crowch Aurélie
Bellot-Gurlet Ludovic	Daire Marie-Yvane
Bertoncello Frederique	De Rosa Elena
Beyrie Carmen	Delile Hugo
Bilbao Zubiri Irene	Delqué-Kolic Emmanuelle
Blanchet Guillaume	Derbilova Daria
Bocquet-Liénard Anne	Desarbre Romane
Bonaventure Bertrand	Deschodt Laurent
Bossavit Camille	Di Giusto Marina
Brocas Flora	Di Liberto Aurore
Brot Nicolas	Dillmann Philippe
Cadapeaud Auriane	Dupont Hélène
Caffy Ingrid	Dupre Juliette
Cantin Nadia	Durlach Arnaud
Cantwell Christiane-Marie	Duvaut-Robine Alexy
Casanova Emmanuelle	Fernandez Marie
Chanal Léa	Ferrant Marie
Chane-Kouo Chloé	Finco Cécile
Chantreau Yoann	Frère Dominique
Chapkanski Stoil	Frerebeau Nicolas
Chergui Martin	Frugier Camille
Chigwende Welcome Takunda	Gandini Cristina
Choplin Aménaïs	Gauthier Joseph
Chourio-Camacho Diana Nathaly	Gay-Ovejero Isabelle
Cicolani Veronica	Gehres Benjamin
Cloquier Christophe	Girard Juliette
Clouin Etienne	Glais Arthur
	Goemaere Eric
	Gorczynska Aneta
	Gorin Camille

Gouge Patrick	Mauran Guilhem
Goyon Amber	Mazet Sylvain
Gravier Julien	Menbrivès Clément
Gravier Julie	Moreau Gwénaëlle
Grouhel Salomé	Morel Mélissa
Grousset Marie	Mouralis Damase
Gutierrez Eléa	Musseau Anaïs
Heal Tobias	Merle Valérie
Herreyre Nicolas	Nehme Carole
Holé Clément	Ouriachi Marie-Jeanne
Hulin Guillaume	Pagnoux Loïc
Hunot Thomas	Papot Mathilde
Iaconi Clémence	Paredes Caroline
Jaillet Stéphane	Passerieux Noléa
Jean Mathilde	Perret Sébastien
Jeannot Remy	Perron Marion
Justiniany Lisa	Peschaux Caroline
Lagane Cécile	Pesquet Baptiste
Larrieu Marie	Pianet Isabelle
Laurent-Dehecq Amélie	Plutniak Sébastien
Le Bourdonnec François-Xavier	Pollet Océane
Le Bras Gwen	Puaud Simon
Le Diagon Mathieu	Rami Eve
Le Guirriec Julien	Rassat Sylvain
Le Turnier Marianne	Réaud Amandine
Lebreton Loic	Regert Martine
Lefevre Jean-Claude	Rigot Jean-Baptiste
Legendre Jessica	Robert Mallaury
Lemaitre Séverine	Rodier Jean
Leroy Chantal	Rué Mathieu
Lessard Nicolas	Salvador Pierre-Gil
Lévêque François	Sarah Guillaume
Li Weidong	Schmitt Anne
Ligouis Bertrand	Sicard-Delage Zoé
Liu Yu	Simon François-Xavier
Looten Julien	Simonelli Alix
Lopez Montalvo Esther	Spinelli Sanchez Océane
Mairaville Léa	Taguay Bernot Nicolas
Manya Sibylle	Tempère Audrey
Marguet Louis	Thuillier Sarah
	Todorov Bozhidar
	Tomczyk Céline

Touron Stephanie

Van Ruymbeke Muriel

Vandeveldé Ségolène

Vautier Emilie

Verdin Florence

Verhagen Philip

Verheyden Sophie

Vermot Lia

West Theodore

Zink Antoine

Zinn Alexandra

Index

- Abdelgawad, Mai, 125
Albarède, Francis, 43
Allard, Pierre, 306
Alligri, Aurélia, 12
Allison, Mike, 77
Ambrosi, Jean-Paul, 262
Anastasiadou, Archontoula, 148
Anchisi, Anthony, 229
Andre, Thomas, 306
Androuin, Loïc, 112
Angelin, Alexandre, 12
Angevin, Raphaël, 306
Aoustin, David, 21, 65
Arbogast, Rose-Marie, 79
Ard, Vincent, 146
Argant, Jacqueline, 15
Arhan, Damien, 19
Arias, Pablo, 288
Ash, Jeremy, 77, 291
Aubertin, Marie-Liesse, 243
Ayache, Laïla, 102
Azéma, Aurélia, 106
- Bachelierie, François, 284
Bachelierie, Julie, 177
Badens, Elisabeth, 258
Bader, Gregor, 282
Balasse, Marie, 79
Banos, Arnaud, 329
Barataud, Laura, 85
Barberena, Ramiro, 147
Bard, Edouard, 258, 286
Barge, Olivier, 329
Baron, Cécile, 251
Baron, Sandrine, 129
Barone, Germana, 313
Bataille, Thierry, 100
Baud, Anne, 91
Beauvais, Pierre-Antoine, 306
Beauval, Cédric, 202, 284
Becam, Gaël, 286
Beck, Lucile, 106, 233
Bejarano, Ingrid, 290
Bellot-Gurlet, Ludovic, 142
Belmabrouk, Nabil, 262
- Bemilli, Céline, 319
Bentaleb, Ilham, 71
Berger, Jean-François, 15
Bernard, Mathilde, 106
Bernigaud, Nicolas, 323, 325
Bernot, emmanuel, 294
Berranger, Marion, 111, 156
Bertoncello, Frédérique, 323, 325
Bertrand, Loïc, 277
Bessin, Paul, 269
Betard, François, 209
Bichet, Vincent, 33
Bignon-Lau, Olivier, 63
Bilbao Zubiri, Irene, 142
Binder, Didier, 79
Bivolaru, Alexandra, 38
Blanchet, Guillaume, 102
Blet-Lemarquand, Maryse, 102, 121
Blichert-Toft, Janne, 43
Blondel, François, 53
Bocquet-Liénard, Anne, 84, 112
Bodu, Pierre, 63
Bomou, Brahimsamba, 36
Bonaventure, Bertrand, 211
Bondeau, Alberte, 323, 325
Bonder, Didier, 306
Bonjean, Dominique, 292
Bonjour, Erik, 229
Bonneau, Adeline, 108
Bordet, Pierre, 265
Borel, Antony, 179
Bossavit, Camille, 102
Bostyn, Françoise, 306
Bouby, Laurent, 323
Bouchard, Kevin, 295
Bouchon, Richard, 148
Bouffard, Loïc, 12
Bouits, Wafaa, 77
Boulbes, Nicolas, 286
Boulén, Muriel, 45
Bourdier, Camille, 61, 167
Bourgarit, David, 252
Bourgeon, Oriane, 89
Bourguignon, Emma, 79
Bouvard-Mor, Emma, 53

- Branchu, Malo, 294
Branchu, Philippe, 294
Braucher, Régis, 291
Braun, Jean-Jacques, 243
Bray, Fabrice, 286
Brenet, Michel, 321
Bressy-Léandri, Céline, 306
Brevet, Lucille, 94
Brigand, Robin, 52
Brocard, Gilles, 36, 43, 294
Brochard, Émilie, 205
Brot, Nicolas, 271
Bruel, Quentin, 231
Brugal, Jean-Philip, 251
Brunel Duverger, Lucile, 149
Brunet, Magali, 245
Bruxelles, Laurent, 183
Bréhard, Stéphanie, 79
Bushozi, Pastory Magayane, 282
Buttner, stephane, 192
- Caffy, Ingrid, 241, 294
Canal, Sandrine, 71
Cancès, Benjamin, 223
Cantin, Nadia, 125
Capelli, Claudio, 262
Carbonera, Mirian, 271
Caron, Benoit, 218
Caron-Laviolette, Elisa, 63
Carpentier, Carine, 319
Carrignon, Simon, 194, 298
Carrive, Mathilde, 250
Casanova, Emmanuelle, 144, 268
Castex, Jean-Gérald, 149
Castiello, Maria Elena, 329
Cawthra, Hayley, 82
Chabot, Yohan, 19, 24
Chahoud, Jwana, 329
Chaize, Brian, 335
Chalmin, Emilie, 63, 77, 233, 265
Chanal, Léa, 69
Chane-Kouo, Chloé, 282
Chantreau, Yoann, 21, 87
Chapkanski, Stoil, 31, 47, 56, 202, 238, 290
Charloux, Guillaume, 329
Charretier, Pierre, 21
Chase, Brian, 82
Chassin de Kergommeaux, Aurélie, 63
Chigwende, Welcome Takunda, 167
Choplin, Aménaïs, 207
Chourio-Camacho, Diana Nathaly, 269
Christol, Aurélien, 335
Christophe, Colliou, 30, 192
Chrétien, Batiste, 334
Cicolani, Veronica, 117
Ciula, Arianna, 313
Claud, Émilie, 177
Clavel, Benoit, 73
Clivet, Laurence, 149
- Cloquier, Christophe, 73
Clouin, Etienne, 113
Clyburn, Angela, 77
Coccato, Alessia, 313
Collin, Jean-Philippe, 306
Colomban, Philippe, 239
Colombo, Antony, 158
Comby-Zerbino, Clothilde, 247, 254
Company, Evan, 265
Conard, Nicholas, 282
Cortell-Nicolau, Alfredo, 194
Cossart, Etienne, 335
Costa, Kévin, 129
Costa, Laurent, 302
Costamagno, Sandrine, 177
Cotte, Marine, 231
Couderc, Clarisse, 91
Couillet, Armelle, 31
COutureau, Michel, 319
Crampon, Christelle, 258
Crassard, Rémy, 329
Crevecoeur, Isabelle, 202, 284
Criaco, Camilla, 172
Crochat, Jessy, 211
Crowch, Aurélie, 21
Culioli, Gérald, 248, 275
Cécile, Le Carlier de Veslud, 65
- D'Espinose de Lacaille, Jean-Baptiste, 100
Daire, Marie-Yvane, 51
Darrigrand, Eric, 87
Davoudi, Hossein, 268
De Rosa, Elena, 316
De Saulieu, Geoffroy, 227, 243
De Viguerie, Laurence, 149
Debret, Maxime, 290
Decrée, Sophie, 292
Defranould, Elsa, 306
Defrasne, Claudia, 233, 265
Delagnes, Anne, 321
Delannoy, Jean-Jacques, 77, 288, 291
Delarue, Frédéric, 227, 243
Delbey, Thomas, 67
Deldicque, Damien, 295
Delencre, Florent, 91
Delfino, Davide, 172
DELILE, HUGO, 43
Delile, Hugo, 334
Delqué-Kolic, Emmanuelle, 106, 229, 241, 279
Delvigne, Vincent, 39, 306
Dendievel, André-Marie, 53
Derbilova, Daria, 227, 243
Desachy, Bruno, 295
Desarbre, Romane, 317
Deschodt, Laurent, 45, 185
Desoutter, Samuel, 45, 185
Desplanques, Elsa, 142, 277
Develle-Vincent, Anne-Lise, 77
Deviese, Thibaut, 248, 275, 286

- Devrière, Thibaut, 258
Di Giusto, Marina, 145
Di Liberto, Aurore, 23
Didier, Aurore, 144
Dillmann, Philippe, 106, 156
Disser, Alexandre, 104, 302
Djamali, Morteza, 144
Douville, Eric, 294
Drost, Vincent, 102
Drouet, Christophe, 292
Dubroca, Théo, 273
Duclos, Agathe, 245
Dufour, Elise, 136
Dugast, Fabienne, 209
Dumont, Emmanuel, 294
Dumoulin, Jean-Pascal, 241, 294
Duployer, Benjamin, 177
Dupont, Hélène, 212
Dupré, Juliette, 112
Durlach, Arnaud, 162
Dutour, Olivier, 158
Duttine, Mathieu, 282
Duval, Mélanie, 218
Duvaut-Robine, Alexy, 305
- Efrain, Kaarina, 218
Ehrhold, Axel, 41
Engelbrecht, Lenishwa, 218
Ephrem, Brice, 136
- Fabre, Jean-Marc, 129
Fabre, Robert, 334
Fagault, Yoann, 258, 286
Faisandier, Claire, 67
Faith, Tyler J., 82
Farcage, Daniel, 279
Fauchard, Cyrille, 201
Favennec, Benoît, 67
Fernandes, Paul, 306
Fernandez, Marie, 258
Fernandez, Victoria, 149
Ferrant, Marie, 229, 241
Ferrari, Mathilde, 215
Ferrier, Catherine, 174, 205
Finco, Cécile, 31, 56, 201, 202
Fiorillo, Denis, 79, 136
Flament, Stéphanie, 286
Flas, Damien, 284, 286
Florsch, Nicolas, 175
Font, Caroline, 209
Fores, Benjamin, 185
Forestier, Hubert, 260
Frere, Dominique, 165
Fressard, Mathieu, 335
Frugier, Camille, 125
Fucito, Zoe, 250
Fuentes, Oscar, 205
Fuller, Benjamin, 135
- Gaballah, Sanaa, 241
Gabert, Inès, 11
Gaillot, Stéphane, 294
Gallardo Díaz, Tzetzangari, 149
Galletti, Florian, 91
Gandini, Cristina, 65
Garfinkel, Yosef, 127
Garniaux, Jérémy, 306
Gasc, Sébastien, 71, 132
Gauthier, Emilie, 33
Gay-Ovejero, Isabelle, 28
Gaël, Léon, 212
Geffray, Eloane, 177
Gehres, Benjamin, 84, 146
Genuite, Kim, 205
Gerken, Mareike, 239
Gibaud, Alix, 306
Gibert Rebull, Jordi, 71
Gillet, Olivier, 238
Gillet, Valérie, 24
Giorgi, Cyril, 215
Giovannacci, David, 217
Gironda, Michele, 239
Glais, Arthur, 26
Goemaere, Eric, 292
Goiran, Jean-Philippe, 36, 43
González Tobar, Iván, 89
Goovaerts, Thomas, 292
Gorczyńska, Aneta, 41
Gorin, Camille, 52, 53
Goude, Gwenaëlle, 286
Gouge, Patrick, 11
Gould, Brenda, 77, 291
Gourichon, Lionel, 79
Goyon, Amber, 36
Grall, Morgan, 113
Gratuze, Bernard, 151
Gravier, Julien, 115
Gravina, Brad, 284
Greene, Elizabeth, 43
Grimaud, Jean-Louis, 31, 269
Groenhuijzen, Mark R., 327
Grout, Armand, 192
Guiavar'ch, Mikael, 306
Guiavarc'h, Mikaël, 81, 235
Guihard, Pierre-Marie, 102
Guilaine, Jean, 79
Guiot, Joel, 323
Guiot, Joël, 325
Gunnell, Yanni, 36
Gustavo Fernando, Lucero Ferreyra, 147
Gutierrez, Eléa, 79
Guyon, Marc, 156
- Haghipour, Negar, 277
Harris, Megan, 77, 291
Hatté, Christine, 268, 271
Heal, Tobias, 104
Hendriks, Laura, 277

- Henrion, Elise, 142
Hermelin, Sylvain, 254
Herreyre, Nicolas, 247, 254
Hervé, Gwenaél, 144, 273
Heuser, Ryan, 313
Hinschberger, Florent, 28
Hochart, Charlotte, 149
Hodgskiss, Tammy, 82, 118, 167
Hoerlé, Stéphane, 218
Holé, Clément, 231
Horváth, Eszter, 133
Hošek, Jiří, 104
Hrabák, Zita, 179
Huard, Olivier, 205
Huber, Barbara, 248
Huet, Thomas, 302
Hulin, Guillaume, 185, 187
Hulot, Olivia, 197, 199
Humbert, Floris, 148
Hunot, Thomas, 81
Hupont, Stéphane, 229
Huyseune, Hélène, 142

Iacconi, Clémence, 277
Intxaurbe, Iñaki, 174
Iuliano, Adriana, 250

Jacob, Jérémy, 144
Jacq, Kevin, 290
Jacquet, Julien, 291
Jaillet, Stéphane, 218, 288
Jame, Patrick, 229, 241
Jaouen, Klervia, 135, 145
Jaubert, Jacques, 219
Jean-Frédéric, Terral, 89
Jean-Louis, Grimaud, 11
Jeannot, Remy, 163
Jeanson, Loïc, 218
Joliot, Céline, 248, 275
Joly, Antoine, 258
Jose, Catherine, 229, 241
Justiniany, Lisa, 251

Kemper, Jules, 288
Kisena, Felix, 118

L'Héritier, Maxime, 106
Lachenal, Thibault, 129
Laclavetine, Kilian, 149
Lacrampe-Cuyaubère, François, 202
Laforge, Marine, 39
Lagane, Christelle, 135
Lagane, Cécile, 56
Lagos, Maria Olga, 264
Lagouy, Mickaël, 334
Lahaye, Christelle, 271
Laloo, Raphaël, 177
Lambert, Elsa, 117
Lamotte, Agnès, 219
Lamotte, Pierre, 99
Lanos, Philippe, 273
Lançon, Mathieu, 45, 185
Laratte, Sébastien, 223
Laroche, Marie, 129
Laroulandie, Véronique, 284
Larrieu, Marie, 71
Laruaz, Jean-Marie, 121
Lasaygues, Philippe, 251
Laubé, Sylvain, 300
Laurent-Dehecq, Amélie, 187
Laval, Eric, 149
Le Bourdonnec, François-Xavier, 151, 225, 235, 306, 321
Le Bras, Gwen, 135
Le Coz, Jérôme, 334
Le Diagon, Mathieu, 21
Le Gall, Bernard, 41
Le Goff, Emeline, 319
Le Guirriec, Julien, 225
Le Jeune, Yann, 12
Le Pollès, Laurent, 100
Le Quellec, Vincent, 223
Le Roy, Pascal, 41
Le Turnier, Marianne, 233
Leber, Louis, 231
Leblanc, Jean, 174
Lebreton, Loïc, 284
Lebrun, Anaïs, 12
Leck, Arthur, 235
Leduc, Thierry, 292
Lefaucher, Fanny, 233
Lefevre, Jean-Claude, 229
Lefevre, Vincent, 19
Lefrais, Yannick, 158
Lefrancq, Coline, 19, 24
Legendre, Jessica, 117, 252
Leidwanger, Justin, 43
Lemaître, Séverine, 125
Lenormand, Basile, 325
Lepert, Thierry, 47
Lepère, Cédric, 79
Leroy, Marc, 111
Leroy, Stéphanie, 279
Leroyer, Chantal, 21
Lessard, Nicolas, 108
Lesvignes, Emilie, 63
Lethrosne, Harold, 306
Leuzinger, Urs, 79
Leveau, Philippe, 334
Lhommel, Pauline, 45
Lhoste, Isaline, 258
Ligouis, Bertrand, 226
Liu, Yu, 197
Looten, Julien, 219
Lopez Montalvo, Esther, 97
Lopez Rodriguez, Antonio, 205
Lopez Romero, Elias, 51

- Louman, Laura, 205
Lourdeau, Antoine, 271
LUCAS, Joël, 30
Lusson, Dorothée, 121
Lévêque, François, 196, 197, 199
- Magniez, Pierre, 251
Mahé, Fabrice, 87
Maillé, Michel, 129
Mairaville, Léa, 47, 56, 238
Malard, Benoît, 245
Malnar, Daniella, 294
Malou, Oscar Pascal, 243
Manen, Claire, 79
Manseri, Hakima, 303
Maintenant, Julien, 129
Many, Sibylle, 100, 117
Maqueda, Florence, 175, 223
Marguet, Louis, 39, 306
Marguin, Audrey, 49
Marot, Josserand, 284
Marsan, Olivier, 292
Martignac, Louise, 127
Martinetto, Pauline, 265
María Ángeles, Medina Alcaide, 205
Mas-Normand, Lindsay, 248
Mashkour, Marjan, 144, 268
Massa, Charly, 15
Mathian, Hélène, 329
Mathias, Cyrielle, 295
Mathé, Vivien, 199
Mauné, Stéphane, 89
Mauran, Guilhem, 82, 97, 118
Mauvieux, Clément, 268
Mayor, Anne, 99
Mazet, Sylvain, 212
Mazille, Pierre, 102
Mazzoleni, Paolo, 313
Meaucourt, Jeanne, 85
Medina-Alcaide, M^a Ángeles, 174
Menbrivès, Clément, 17, 33
Mengyán, Ákos, 120
Merluzzo, Paul, 111
Mesa Saborido, Miriam, 177
Meunier, Emmanuelle, 65, 129
Mevel, Ludovic, 306
Michel, Alexandre, 284
Mikaël, Guiavarc'h, 84, 113
Mike, Allison, 291
Mille, Benoît, 117, 252
Mille, Benoît, 100
Minvielle Larousse, Nicolas, 94
Mitton, Claire, 53
Moigne, Anne-Marie, 286
Mongiatti, Aude, 108
Monney, Julien, 218
Morala, André, 306
Morel, Mélissa, 99
Morin, Eugène, 284
- Motto-Ros, Vincent, 254
Mouahid, Adil, 258
Mounir, Nadine, 241
Mouralis, Damase, 31, 47, 238, 290
Mourer, Roland, 260
Mourer-Chauviré, Cécile, 260
Munos, Sébastien, 303
Munoz Soto, Camila, 205
Munteanu, Gabriel, 129
MUSSEAU, Anaïs, 189
Mutin, Benjamin, 144, 268
Mélin, Muriel, 21
- Naudinot, Nicolas, 39, 256
Nectoux, Elise, 53
Nehme, Carole, 31, 290
Neoricic Maclot, Lana, 254
Niane, Abdou, 295
Nieto-Pelletier, Sylvia, 102, 121
Noble, Mark, 269
Notter-Truxa, Françoise, 91
Numan, Tuna, 43
- Oberlin, Christine, 229, 241, 247, 254
Oliva, Priscia, 243
Ontañón, Roberto, 288
Orange, Marie, 151
Oslisly, Richard, 243
Ouriachi, Marie-Jeanne, 323, 325
- Pages, Christophe, 229
Pagnoux, Clémence, 89
Pagès, Gaspard, 156
Pailler, Yvan, 41
Paillet, Elena, 256
Paillès, Christine, 47
Papot, Mathilde, 151
Pardoen, Mylène, 300
Paredes, Caroline, 256
Paredes-González, Beatriz, 264
Pargeter, Justin, 82, 118
Parétias, Jonas, 47
Pascal, Yoann, 303
Pasqualini, Antoine, 306
Passchier, Cees, 334
Percot, Aline, 142
Perrenoud, Christian, 286
Perrette, Yves, 295
Perrin, Thomas, 151
Perron, Marion, 279
Peschaux, Caroline, 63, 226
Pesquet, Baptiste, 84
Petit, Christophe, 11, 17, 33, 181
Pianet, Isabelle, 136, 158, 250
Pianet, isabelle, 85
Piau, Théophile, 209
Piboule, Michel, 306
Piccardo, Paolo, 172
Pignaut, Pierre, 79

- Pilon, Fabien, 112
Pirson, Stéphane, 292
Pleurdeau, David, 218
Plutniak, Sébastien, 331
Point, David, 135
Pollet, Océane, 248, 258, 275
Ponce Laval, María Andrea, 264
Pons-Branchu, Edwige, 241, 282, 288, 294, 295
Portmann, Cyril, 277
Prag, Jonathan, 313
Pryce, Thomas, 140
Puaud, Simon, 65, 87, 113, 260
Pustoc'h, François, 87
Păun, Mirel, 194
- Queffelec, Alain, 118
Querenet, Iris, 171
Quiers, Marine, 290
Quiles, Anita, 77, 229, 241, 291
- Rademakers, Frederik W., 223
Radloff, Lana, 43
Rajad, Asma, 153
Ramen, Collectif, 309
Rassat, Sylvain, 209
Raynal, Jean-Paul, 306
Regert, Martine, 127
Renard, Caroline, 177
Renault, Stéphane, 306
Rey-Coyrehourcq, Sébastien, 329
Reynaud, Corentin, 277
Reynaud, Jean-Yves, 45
Richard, Hervé, 33
Richard, Maïlys, 282
Richit, Christophe, 334
Rigot, Jean-Baptiste, 28
Rius, Damien, 33
Robbiola, Luc, 277
Robert, Mallaury, 238
Rochat, Alexis, 199
Rodier, Jean, 155
Rodriguez Castro, Eva, 205
Ros, Jérôme, 71
Rossi, Magali, 63
Rougier, Hélène, 284
Roure, Réjane, 303
Rousseau, Gaëlle, 174, 205
Rouzeau, Benoit, 30
Rowley, Susan, 77, 291
Royet, Elvyre, 15
Royet, Robert, 15
Rupin, Gwendoline, 65
Rué, Mathieu, 12
Réaud, Amandine, 121
Rêve, Rémi, 262
- Sabatier, Laurent, 251
Sacchi, Mariana, 147, 264
Salomon, Hélène, 63, 171
- Salvaya, Florie, 112
Santos, Catia, 194
Santos, Marcos César Pereira, 271
Sarah, Guillaume, 69, 132
Sardelli, Giorgia, 171
Savard, Dany, 295
Savin, Marie-Claire, 85
Schmidt, Patrick, 177
Schmitt, Anne, 91, 247, 254
Schmitt, Bernard, 233
Schulting, Rick, 135
Schwab, Roland, 102
Sciau, Philippe, 231, 245
Seaudeau-Pirouley, Karine, 258
Sebag, David, 227, 243
Semerok, Alexandre, 279
Sepamo, Malesetla, 82, 118
Serneels, Vincent, 99, 155
Sheehan, Gabrielle, 185
Sicard-Delage, Zoé, 31, 205
Siklósi, Zsuzsanna, 179
Simon, Francois-Xavier, 191
Simon, François-Xavier, 185, 187
Simon, Laurent, 136
Simonelli, Alix, 33
Slimak, Ludovic, 295
Solnay, Eszter, 179
Sophady, Henh, 260
Soulier, Marie-Cécile, 177
Souvignet, Claude, 33
Spanneut, Lou, 248, 258, 275, 286
Spinelli Sanchez, Océane, 321
Spitalier, Bela, 191
Spotorno, Roberto, 172
Stock, Friederike, 43
Stéphan, Pierre, 41
Surmelihindi, Guel, 334
Sánchez de la Torre, Marta, 225
Sénac, Philippe, 71
- Tangeni, Petrus Alfeus, 82, 118
Tartar, Elise, 284
Taylor, Alexis, 12
Tempère, Audrey, 199
Tenailleau, Christophe, 177
Tengberg, Margareta, 144
Tereygeol, Florian, 59, 223
Terraz, Théophile, 334
Testas, Juliette, 89
Testu, Agnès, 286
Theodoropoulou, Tatiana, 38
Thiesson, Julien, 187, 243
Thil, Francois, 268
Thirion-Merle, Valérie, 91, 247
Thomann, Aminte, 158
Thomas, Marc, 311
Thonniet, Pauline, 14
Thuillier, Sarah, 201
Théron, Coline, 265

- Tissoux, Hélène, 269
Tissoux, Hélène, 31
Todisco, Dominique, 47, 202, 238, 284
Todorov, Bozhidar, 93
Tomasso, Antonin, 306
Tomczyk, Celine, 94, 131, 181
Toriti, Magali, 71
Touren, Stéphanie, 61, 167
Travers, Cécile, 192
Tribolo, Chantal, 282
Trin-Lacombe, Lola, 84
Tufféry, Christophe, 306
Tuna, Thibaut, 286
Turq, Viviane, 177
Téreygeol, Florian, 69, 175

Urbanová, Petra, 273

Vaissié, Erwan, 306
Valentina, Figueroa Larre, 100
Valet, Jean-Marc, 192
Van Heems, Gilles, 36
Vandenbergh, Yannick, 149
Vandeveld, Ségolène, 295
Vaschalde, Christophe, 71
Vasco, Giovanna, 149
Vautier, Emilie, 209
Vega, Enrique, 156

Verhagen, Philip, 327
Verly, Georges, 223
Vermot, Lia, 15
Viel, Vincent, 209
Vieugué, Julien, 127
Vila, Emmanuelle, 329
Vincent, Motto-Ros, 247
Vittori, Cécile, 36
Voinchet, Pierre, 31, 269
Vosges, Jérémie, 177
Vézian, Régis, 286

Waksman, Sylvie Yona, 148
Wang, Tian, 231
Weber, Andrzej, 135
Wesolowski, Veronica, 145
West, Theodore, 136
Wilk, Klaudia, 258

Yon, Jean Baptiste, 294

Zazzo, Antoine, 268
Zeitoun, Valery, 260
Zgajnar, Manon, 275
Zink, Antoine, 280
Zinn, Alexandra, 158

Émilie, Gauthier, 9

Table des matières

Mots des organisateurs	2
Comité scientifique	4
Comité d'organisation	6
Elles/ils nous soutiennent	7
Thème 1. Les paysages d'eau : des interactions Homme-Milieu aux dynamiques socio-environnementales	9
Paysages d'eau et de glace : vivre au pied de l'Inlandsis groenlandais (Keynote 1), Gauthier, Emilie	10
Session 1.1. Crises et résilience des sociétés en contexte fluvial et lacustre (communications orales)	11
Les enceintes néolithiques dans leur contexte alluvial, nouveaux éléments dans la vallée de la haute Seine, Grimaud Jean-Louis [et al.]	12
La séquence stratigraphique début holocène du site du Chemin Herbu à Persan (Val d'Oise) : récurrence d'occupations mésolithiques en amont d'un barrage de tuf calcaire ?, Mathieu Rué [et al.]	13
Cohabiter avec l'aléa hydrologique dans la longue durée : la résilience des sociétés du val de Cisse en Loire moyenne (région Centre-Val de Loire), Pauline Thonniet	15
Une villa dans les marais, étude des interactions socio-environnementales entre le site du Vernai (Isère) et son environnement, Lia Vermot [et al.]	16
L'écobuage des terres argileuses : une technique agricole méconnue à forte visibilité archéologique, Clément Menbrivès [et al.]	18

Evolution of the fluvial landscape in the Mahasthangarh region (Bangladesh) over the last 2000 years : contribution of satellite images and geomorphological studies to the history of paleoenvironment, Yohan Chabot [et al.]	20
Session 1.1. Crises et résilience des sociétés en contexte fluvial et lacustre (posters)	21
La séquence organique de la vallée de l'Evel à Siviac (Evellys, Morbihan). Un jalon pour la compréhension des hydrosystèmes du Massif armoricain au début de l'Holocène., Yoann Chantreau [et al.]	22
Les documents planimétriques modernes au service de la compréhension des sociétés antiques, Aurore Di Liberto	24
Vers une étude historico-géo-archéologique de l'occupation du site de Narttamalai (Tamil Nadu, Inde) au cours des trois derniers millénaires, Valérie Gillet [et al.]	25
« La place avant la Place » : résultats de l'approche géoarchéologique menée lors de la fouille archéologique de la Place de la République de Caen (Calvados, France), Arthur Glais	27
Inondations dans la plaine alluviale de Tours à la fin du Moyen Âge et au début de l'époque moderne : à la recherche des zones de stockage sédimentaire et de marqueurs de crue., Jean-Baptiste Rigot [et al.]	29
Prospecter un réseau hydraulique souterrain au moyen de scanner fixe et SLAM, d'après les exemples des abbayes cisterciennes de Morimond (Haute-Marne) et d'Ourscamp (Oise), Benoit Rouzeau [et al.]	31
Genèse, mobilisation et transferts sédimentaires dans le méandre d'Anneville-Ambourville (Seine-Maritime, France) : une étude des paléo environnements, processus de dépôts et sources d'apports sédimentaires dans la vallée de la Seine, Zoé Sicard-Delage [et al.]	32
Analyse du signal incendie sur une séquence profonde du lac de Chalain (Jura, France) : quels apports pour la connaissance des rythmes de l'anthropisation du milieu au Néolithique ?, Alix Simonelli [et al.]	34
Session 1.2. La trajectoire des socio-systèmes environnementaux à l'interface terre-mer (communications orales)	36
Reconstruire le paysage littoral de la cité étrusque de Populonia au cours de l'Holocène par la géoarchéologie, Amber Goyon [et al.]	37
Colonising the water : a diachronic eco-anthropological perspective on the Greek colonisation of the Danube delta (Western Black Sea coast, Romania), Alexandra Bivolaru [et al.]	39
Enquête sur les relations terre-mer des communautés du Tardiglaciaire et du début l'Holocène dans le Massif armoricain : l'apport de la pétroarchéologie des galets marins de silex., Louis Marguet [et al.]	40

Quelles approches méthodologiques pour reconstituer les changements paléogéographiques holocènes sur les littoraux du Nord-Ouest de la France ? Exemple de la Baie d'Audierne (Finistère, Bretagne), Aneta Gorczynska [et al.]	42
Session 1.2. La trajectoire des socio-systèmes environnementaux à l'interface terre-mer (posters)	43
Géoarchéologie du bassin portuaire primitif de l'Ancienne-Knidos (péninsule de Datça, sud-ouest de la Turquie), Hugo Delile [et al.]	44
Exploration géoarchéologique d'ombilics de brèches de digues aux trajectoires ultérieures contrastées (estuaire de l'Aa, nord de la France), Laurent Deschodt [et al.]	46
Juliobona, chef-lieu de la civitas des Calètes bénéficie-t-elle d'un accès direct à la Seine ?, Léa Mairaville [et al.]	48
Trophic indicators in relation to human activities and application to historical samples, Audrey Marguin	50
Session 1.3. Les sites archéologiques à l'heure de l'Anthropocène : Vulnérabilité, gestion et défis sociétaux (communications orales)	51
Vulnérabilité du patrimoine littoral et changements climatiques : bilan du projet ALERT dans l'Ouest de la France., Marie-Yvane Daire [et al.]	52
Les palafittes de Savoie à l'épreuve de l'anthropocène. Enjeux, solutions et perspectives., Robin Brigand [et al.]	53
Identifier et dater les vestiges conservés dans les cours d'eau de moyenne montagne du Puy-de-Dôme (projet ACIS) et évaluer leurs vulnérabilités, Camille Gorin [et al.]	54
Session 1.3. Les sites archéologiques à l'heure de l'Anthropocène : Vulnérabilité, gestion et défis sociétaux (poster)	56
Recherches pluridisciplinaires sur des îles de la basse vallée de la Seine : les prospections autour de l'île aux Bœufs et de l'île Sainte-Catherine (Oissel / Tourville-la-Rivière, Seine-Maritime), Cécile Lagane [et al.]	57
Thème 2. Identifier, analyser et reproduire les gestes des interactions humains-ressources-objets	59
L'expérimentation en archéologie des périodes historiques : évolution sémantique et réalités des pratiques (Keynote 2), Tereygeol Florian	60
Session 2.1. Acquérir et gérer des ressources (communications orales)	61
Diversité de matières, de sources et de pratiques dans le Later Stone Age : les peintures blanches de Pomongwe cave, Stéphanie Tournon [et al.]	62

Le rouge et le jaune dans le Bassin parisien : Stratégie d’approvisionnement au Paléolithique supérieur, Aurélie Chassin De Kergommeaux [et al.]	64
Minières et bas fourneaux du Premier âge du Fer dans les Monts d’Arrée : approches archéologiques, archéométriques et paléoenvironnementales, Cristina Gandini [et al.]	66
Approche archéométrique de la chaîne opératoire des dérivées de sigillée paléo-chrétiennes (DSP), catégorie emblématique de l’Antiquité tardive : structures et productions du site de Las Cravieiros (Fanjeaux, Aude)., Thomas Delbey [et al.] . .	68
Retracer les aires de circulation du cuivre et de ses alliages dans les Pyrénées françaises à la fin du Moyen Âge, Léa Chanal [et al.]	70
Approche archéobotanique, archéoentomologique et isotopiques de la production agroalimentaire et combustible en Al-Andalus : le cas de Las Sillas (Aragon), Marie Larrieu [et al.]	72
De la haute mer aux ruisseaux : les lieux de pêche dans la Picardie médiévale et moderne, Christophe Cloquier [et al.]	74
Session 2.1. Acquérir et gérer des ressources (posters)	76
De la paroi à la source d’approvisionnement : stratégie d’étude de la matière colorante dans le cas de site orné de la vallée de la Similkameen (Colombie Britannique, Canada), Emilie Chalmin [et al.]	78
Agnelage d’automne dans le Sud de la France : implications pour l’acquisition et la gestion des ressources au Néolithique, Eléa Gutierrez [et al.]	80
Caractéristiques pétrographiques et géochimiques de briques du haut Moyen Âge de la région d’Angers : implications pour l’origine des terres argileuses., Thomas Hunot [et al.]	82
Territoire des chasseurs-collecteurs du Later Stone Age : Étude préliminaire des gisements de matières colorantes ferriques dans la vallée de Congo (Cap-Occidental, Afrique du Sud), Guilhem Mauraun [et al.]	83
Caractérisation des ateliers de production de terra nigra dans les Pays-de-la-Loire et du Morbihan par analyses pétrographiques et chimiques (ICP-AES)., Baptiste Pesquet [et al.]	85
Provenances des décors en marbre de la villa du Gleyzia d’Augreilh à Saint-Sever, Landes., Jeanne Meaucourt [et al.]	86
Les formations superficielles, matériaux et ressources pour l’édification du bâti rural en Bretagne administrative du XVI ^e au XX ^e siècle, François Pustoc’h [et al.] . . .	88
Diversité de l’olivier en Bétique romaine et au delà : nouveaux apports de la morphométrie géométrique, Juliette Testas [et al.]	90

Les carreaux de pavement médiévaux de l'abbaye de Cluny (Saône et Loire) : changement de matière première argileuse au fil des siècles ?, Valérie Thirion-Merle [et al.]	92
Earthen constructions studies from the Early Bronze Age settlement « Himiliyata » (Nova Zagora, Bulgaria), Bozhidar Todorov	94
Trier le minerai au Moyen Âge central ? Étude géochimique d'un ensemble d'ateliers, Celine Tomczyk [et al.]	95
Session 2.2. Transformer (communications orales)	96
Traditions techniques et séquence stylistique dans l'art rupestre levantin : une étude comparée entre le geste et la forme à travers la caractérisation des pigments de l'abri de Cova Remigia (Ares del Maestrat, Castellón, Espagne), Esther Lopez Montalvo [et al.]	98
Evolution de l'efficacité de la production du fer dans la Falémé, Sénégal (IV ^e s. av. J.-C. -VII ^e s. apr. J.-C.), Mélissa Morel [et al.]	100
De la chrysocolle au cuivre : retracer les savoir-faire des métallurgistes préhispaniques, Sibylle Manya [et al.]	101
L'archéométrie au sein du projet ANR Celtic Brass Coins : enjeux, méthodologie et premiers résultats, Camille Bossavit [et al.]	103
Eðg wæs iren, átertánun fáh : Le damas d'assemblage en Alsace et l'Europe Centrale, Tobias Heal [et al.]	105
Notre-Dame de Paris, une cathédrale de seconde main ? Etude du recyclage et de la mise en forme des agrafes des murs gouttereaux, Mathilde Bernard [et al.] . . .	107
L'exploitation et l'utilisation des métaux du site Cartier-Roberval (CeEu-4) (XVI ^e siècle), Nicolas Lessard [et al.]	109
Session 2.2. Transformer (posters)	111
Les scories de réduction directe en Puisaye (Yonne) : évolution et changements techniques de l'âge du Fer au Moyen Âge, Marion Berranger [et al.]	112
Analyses de productions de figurines en terre cuite antiques par p-XRF/LIBS : une complémentarité des techniques pour discriminer les ateliers ?, Anne Bocquet-Liénard [et al.]	113
Du bleu à Mauves, Etienne Clouin [et al.]	114
La métallurgie du fer en Grèce ancienne à travers l'exemple de la cité d'Érétrie. Méthodes et perspectives, Julien Gravier	116

Des traces aux gestes : étude des techniques artisanales des éléments de parures en bronze du Nord de l'Italie au premier âge du fer., Veronica Cicolani [et al.]	118
Art rupestre et réorganisation sociale des chasseurs-collecteurs d'Afrique australe : Étude expérimentale des techniques de production des poudres colorées, Guilhem Mauran [et al.]	119
Investigation of graphite-coated pottery from the Northern Carpathian Basin (Maklár, Northeastern Hungary), Ákos Mengyán	121
Analyse fonctionnelle des moules à alvéoles découverts sur l'oppidum d'Amboise (Indre-et-Loire) : l'apport de l'archéométrie, Amandine Réaud [et al.]	122
Session 2.3. Utiliser, consommer, échanger et circuler (communications orales)	124
Commerce des vins grecs en Méditerranée orientale : apports de l'étude des amphores égéennes retrouvées à Kition, Chypre, Camille Frugier [et al.]	126
Fonction des premières poteries du Levant sud (VIIe-Ier millénaire cal. BC) : état de l'art, potentiel et limites des approches lipidiques, Martine Regert [et al.]	128
Élaboration d'un référentiel géochimique de la métallurgie du cuivre du Néolithique et des âges des Métaux en Occitanie (projet COPPER)., Kévin Costa [et al.]	130
Caractérisation des réseaux d'échanges du cuivre de l'âge du Bronze à l'échelle européenne, Celine Tomczyk	132
Recyclage, importation, exploitation ? Les sources de l'argent monnayé en al Andalus aux VIII ^e -IX ^e siècles, Guillaume Sarah [et al.]	133
Garnet supply in the late 5th and 6th century Carpathian Basin based on the polychrome jewellery from the Gepidic and Langobardic Kingdoms, Eszter Horváth	134
$\delta^{66}\text{Zn}$, $\delta^{15}\text{N}$, and Compound-Specific Isotope Analysis of Amino Acids (CSIA-AA), Multi-Isotopic Insights into Mobility and Dietary Patterns in the Cis-Baikal Region, Gwen Le Bras [et al.]	136
Approvisionnement de Bordeaux en poisson marin frais durant le Haut-Empire : approche isotopique des zones de pêche et des réseaux commerciaux, Theodore West [et al.]	137
Session 2.3. Utiliser, consommer, échanger et circuler (posters)	139
Reconstructing the Maritime and Southwest Silk Roads, by Metallurgical Means/Reconstruire les routes de la soie maritime et du sud-ouest par des moyens métallurgiques, Thomas Pryce	141
Identification des colorants dans les textiles archéologiques médiévaux par spectroscopie vibrationnelle : le site funéraire des Hauts de la Chapelle (Manosque, France), Irene Bilbao Zubiri [et al.]	143

Projet ERC AGROCHRONO : Un projet de pointe en archéométrie pour l'étude du développement de l'agropastoralisme dans les zones frontalières Indo-Iranienne, Emmanuelle Casanova [et al.]	145
Insights on diet and possible mobility in a Brazilian shell mound (Moraes site, 6791-4971 BP) through stable isotopes analysis., Marina Di Giusto [et al.]	146
Les enceintes fossoyées néolithiques de Charmé (Charente, France) : études pétro-céramiques au sein d'un espace micro territorial, Benjamin Gehres [et al.]	147
Interregional integration models in the Andean Araucania : first approximations from the use of geographic information systems, Lucero Ferreyra Gustavo Fernando [et al.]	148
Larissa et le grand commerce maritime médiéval : le témoignage des ateliers de potiers des fouilles urbaines, Floris Humbert [et al.]	149
Étude de la fabrication de cartes de tarot italiennes du XV ^e siècle via une méthodologie non invasive, Kilian Laclavetine [et al.]	150
De l'approvisionnement à l'usage, une étude de la chaîne opératoire des obsidiennes du Néolithique récent du site de Basì (Serra-di-Ferro, Corse-du-Sud), Mathilde Papot [et al.]	152
Du Vestige au Paysage Numérique : Apport des SIG dans l'Exploration Archéologique du Bassin du Loukkos, Asma Rajad	154
From Decentralization to Centralization : Implications of Iron Production Models in Early European Societies, Jean Rodier [et al.]	156
La production des clous en fer du chaland LSG4 au II ^e s. (Lyon Rhône) : questions de qualité et d'approvisionnement à l'époque romaine, Enrique Vega [et al.]	157
Evolution et identification des thérapeutiques du rachitisme et du scorbut aux XVII ^e -XIX ^e siècles : approches archéo- et paléopharmacologiques., Alexandra Zinn [et al.]	159
Session 2.4. Reproduire pour comprendre les gestes de la chaîne opératoire (axe transversal) (communications orales)	161
Goudrons antiques dans les Landes de Gascogne, au carrefour de l'archéologie, de la chimie et de l'expérimentation., Arnaud Durlach	163
Déterminer l'impact économique, les contraintes techniques et les déchets caractéristiques du recyclage du fer par l'expérimentation, Remy Jeannot	164
Reconstituer les chaînes opératoires de la paléofromagerie, pour une meilleure compréhension du matériel archéologique et des résultats des analyses biomoléculaires de contenus (ORA)., Dominique Frere	166

Investigating the Late Stone Age Painting Technology Gestures : An Experimental Approach at Pomongwe Cave, Zimbabwe, Welcome Takunda Chigwende [et al.] . . .	168
Session 2.4. Reproduire pour comprendre les gestes de la chaîne opératoire (axe transversal) (posters)	170
Nouvelles perspectives sur une technique de traitement mécanique des matières colorantes : référentiel tracéologique pour étudier l'abrasion des roches riches en oxydes de fer, Iris Querenet [et al.]	172
Replicating ancient alloys and corrosion patinas : understanding manufacturing techniques and corrosion processes for conservation, restoration and educational applications, Camilla Criaco [et al.]	173
Analyse quantitative et spatiale des résidus de combustion issus de torches expérimentales : application aux grottes ornées paléolithiques., Catherine Ferrier [et al.]	175
Modélisation thermique par éléments finis d'un abattage au feu dans une galerie de mine, Florence Maqueda [et al.]	176
Nouvelles données expérimentales sur l'usage et la fonction des feuilles de laurier solutréennes, Julie Bachellerie [et al.]	178
Experimental reference database for the technological study of Copper Age vessels from the Carpathian Basin, Eszter Solnay [et al.]	180
Rythmes d'exploitation des mines par abattage par le feu, déduits de l'évaluation des distances de progression, Celine Tomczyk [et al.]	182
Thème 3. Objets, matière, milieux externes ou souterrains : des outils innovants pour caractériser, imager et dater	183
Des géoarchéologues sur la piste des premiers hominines en Afrique australe. Méthodes et outils pour la recherche d'un nouveau morceau du berceau de l'humanité, Laurent Bruxelles	184
Session 3.1. Méthodes géophysiques et de télédétection appliquées à la géoarchéologie (communications orales)	185
De l'intérêt immédiat pour les diagnostics (géo)archéologiques d'une cartographie géophysique : l'exemple de l'extension du port autonome de Dunkerque, Laurent Deschodt [et al.]	186
Contribution des prospections géophysiques et géotechniques à l'étude géomorphologique de la motte de Nids à Tournais (45)., Amélie Laurent-Dehecq [et al.] . . .	188
Imagerie LiDAR en forêt domaniale de Brotonne (Seine-Maritime) : mieux appréhender l'implantation et l'adaptation des sociétés anciennes à leur environnement et l'évolution des paysages sur le temps long., Anaïs Musseau	190

Réflexions et développements autour des systèmes EMI multi-fréquences pour la cartographie des paléo-paysages., Francois-Xavier Simon [et al.]	192
Une approche géophysique globale pour éclairer l'histoire de l'abbaye de Jumièges (76), Stephane Buttner [et al.]	193
Session 3.1. Méthodes géophysiques et de télédétection appliquées à la géoarchéologie(posters)	194
Low cost and open source ground-penetrating radar to assist archaeological excavation in caves and complex stratigraphic environments, Alfredo Cortell-Nicolau [et al.]	195
Qui veut acquérir un sixième sens pendant de la fouille ?, Francois Lévêque	197
Prospection géomagnétique en 3D, Inversion par recuit simulé et Épaves en domaine littoral, Yu Liu [et al.]	198
Potentiel des méthodes de prospection géomagnétique et électromagnétique pour la recherche d'épaves de bateau sur les estrans sableux., Audrey Tempère [et al.]	200
Étude de cas : prospection géophysique et simulations sur un site archéologique côtier en Normandie, Sarah Thuillier [et al.]	202
L'apport des prospections géophysiques à la géoarchéologie d'un site majeur du Paléolithique moyen et supérieur en France : La Roche-à-Pierrot, Saint-Césaire., Dominique Todisco [et al.]	203
Session 3.2. Numérisations 3D et exploitations multiscalaires(communications orales)	205
Exploitation multiscalaire des ressources numériques 3D pour l'étude de la grotte ornée de Commarque (Dordogne, France) : pour une chaîne opératoire de la connaissance scientifique, Oscar Fuentes [et al.]	206
La modélisation numérique, un outil à la réflexion et à l'interprétation des architectures néolithiques de l'Ouest de la France, Aménaïs Choplin	208
Mobiliser les données LiDAR HD (IGN) dans une perspective archéologique et géoarchéologique : retour d'expérience en vallée de l'Eure (Bassin de Paris, France), Emilie Vautier [et al.]	210
La numérisation 3D chez Archeodunum : adaptation et perspectives d'une entreprise face à la donnée 3D, Jessy Crochat [et al.]	212
Caractériser les vestiges du passé grâce aux données LiDAR : l'exemple du diagnostic archéologique préventif de la côte Sainte-Catherine à Rouen, Hélène Dupont [et al.]	213
Session 3.2. Numérisations 3D et exploitations multiscalaires(posters)	215

Les chapelles osiriennes de Karnak (Egypte) : 3D, MNE et Photogrammétrie dédiée à l'archéologie et à la conservation numérique du patrimoine., Cyril Giorgi [et al.] .	216
Caractérisation multi-instrumentale des vestiges de polychromie sur des fragments de l'anneau de compressions de la croisée du transept de Notre Dame de Paris, David Giovannacci [et al.]	218
Modèles 3D multi-scalaires, lasergrammétriques et photogrammétriques, de sites ornés du massif de l'Erongo (Namibie, Afrique australe), Stéphane Jaillet [et al.] .	219
Artefacts du passé, outils de demain. Variabilité techno-morphologique des bifaces à la transition entre Paléolithique ancien et moyen, en Europe occidentale : l'apport de la morphométrie géométrique 3D., Julien Looten [et al.]	220
Session 3.3. Approches nouvelles pour documenter la matière et l'objet archéologique (communications orales)	222
Bilan sur l'usage couplé du pXRF comme outil en archéologie expérimentale prédictive au regard des données de fouilles, Florian Tereygeol [et al.]	224
Du laboratoire au terrain : la LIBS portable pour la caractérisation géochimique des silex, Julien Le Guirriec [et al.]	226
Quelles roches noires pour les objets de parure magdaléniens ? L'apport de la pétrologie organique., Caroline Peschaux [et al.]	227
Influence des Essences de Bois sur la Thermométrie Raman des Charbons Archéologiques, Daria Derbilova [et al.]	228
Développement d'un couplage innovant pour la mesure du rapport ¹³ C/ ¹² C dans le CO ₂ issu d'échantillons archéologiques solides, Marie Ferrant [et al.]	230
Les gradients d'oxydation du fer dans des glaçures « sauces » fabriquées en Chine du Nord sous la dynastie Song : un nouvel éclairage par les micro-faisceaux synchrotron, Clément Holé [et al.]	232
Caractériser, cartographier et sourcer le cinabre, ou faire parler des visages de pierre, Marianne Le Turnier [et al.]	234
Rhyolites de Saint-Pierre-et-Miquelon. Une nouvelle clé pour l'étude du nomadisme côtier nord-américain ?, Arthur Leck [et al.]	236
Session 3.3. Approches nouvelles pour documenter la matière et l'objet archéologique (posters)	238
Automatisation des analyses géochimiques sur carottes pédo-sédimentaires par XRF portable, Stoil Chapkanski [et al.]	239
Imagerie sur-site de la composition élémentaire. Application aux décors émaillés, Philippe Colomban [et al.]	240

Le projet iSOPALIN « Approche multi-isotopique pour la reconstitution des milieux de croissance des fibres de lin utilisées en Égypte ancienne » - premiers résultats et perspectives, Emmanuelle Delqué-Kolic [et al.]	242
La matière organique du sol fournit des informations sur les scénarios de construction des champs surélevés en Afrique centrale., Daria Derbilova [et al.]	244
Etude du comportement thermo-mécanique d'alliages d'aluminium à durcissement structural issus du patrimoine aéronautique de la Seconde Guerre mondiale, Agathe Duclos [et al.]	246
Imagerie μ -LIBS et céramiques : apports et limites d'une méthode « couteau-suisse », Nicolas Herreyre [et al.]	248
A metabolomics-guided approach to identify ancient tars in archaeological contexts : Differentiating plant products and production processes, Barbara Huber [et al.] . .	249
A multi-analytical approach for the characterisation of painted plasters from Rue des Caillons in Poitiers, Adriana Iuliano [et al.]	251
Multiphysical study of bone' breakage and insights for in archaeology., Lisa Justiny [et al.]	252
L'analyse directe des œuvres de musée de grande taille par LA-ICP-MS au C2RMF, David Bourgarit [et al.]	253
Imagerie μ -LIBS pour la datation de mortiers de chaux, Lana Neoricic Maclot [et al.]	255
Objectiver les données métriques 3D des gravures sur support mobilier : pour une meilleure compréhension de la variabilité des registres géométriques de l'Azilien récent du Grand Ouest de la France, Caroline Paredes [et al.]	257
Développement de nouvelles méthodes pour l'étude des biomarqueurs dans les sédiments - vers une analyse durable des archives archéologiques et climatiques, Océane Pollet [et al.]	259
Incursion ancienne de l'Homme dans le karst khmer contemporaine de son évolution morphogénétique (Grotte de Laang, Spean, Province de Battambang, Cambodge), Simon Puaud [et al.]	261
Caractérisations croisées des céramiques antiques africaines : étude pétrographique et chimique préliminaire sur les productions de céramiques culinaires découvertes à Thaenae (Tunisie), Rémi Rêve [et al.]	263
Human bone diagenesis in terrestrial sedimentary deposits through elemental analysis by portable XRF, Mariana Sacchi [et al.]	265
À la recherche de la matière colorante, l'instrumentation portable et les grands instruments sont sur la piste., Coline Théron [et al.]	266

Session 3.4. Datations et traitement des données chronologiques en milieu extérieur (communications orales)	268
De nouvelles dates 14C pour résoudre la chronologie des populations agropastorales en Iran, Emmanuelle Casanova [et al.]	269
Valley bottom geometry withing the Seine catchment (France) : constraining ages of the depositional alluvial infills based on ESR and OSL dating methods, Diana Nathaly Chourio-Camacho [et al.]	270
Apports de la géochronologie (OSL et 14C) dans l'étude d'inversions chronostratigraphiques du site préhistorique Ilha Redonda (Rio Grande do Sul, Brésil), Nicolas Brot [et al.]	272
Histoire de la construction du Pont-aqueduc d'Ansignan : croisement des méthodes de datation par archéomagnétisme et luminescence., Théo Dubroca [et al.]	274
Session 3.4. Datations et traitement des données chronologiques en milieu extérieur (posters) 275	
Pyrolyse-GC/MS & Métabolomique – Développement d'une approche intégrée pour l'analyse d'ossements archéologiques et implications pour la datation au radiocarbone, Gérald Culioli [et al.]	276
Analyse radiocarbone de textiles minéralisés du site de Creney-le-Paradis (1er âge du fer), Clémence Iacconi [et al.]	278
Extraction du carbone d'alliages ferreux anciens par ablation laser pour leur datation par le carbone 14, Marion Perron [et al.]	280
Testis unus, testis nullus – l'analyse de survie et la datation des contextes, Antoine Zink	281
Session 3.5. Approches géochronologiques et marqueurs anthropiques en milieu souterrain (communications orales)	282
Le Middle Stone Age de Mumba rockshelter, Tanzanie : approche chronologique du Bed V par résonance de spin électronique et séries de l'uranium., Chloé Chane-Kouo [et al.]	283
Le potentiel des micromammifères pour la biostratigraphie et la chronologie des occupations humaines à La Roche-à-Pierrot (Saint-Césaire, France), Loïc Lebreton [et al.]	285
Une chronologie révisée de la séquence de la grotte du Portel-Ouest (Ariège, France) : implications pour les occupations néandertaliennes tardives dans la région des Pyrénées, Lou Spanneut [et al.]	287
Aménager le milieu souterrain à des périodes anciennes : déceler les incohérences morphologiques fines par la géomorphologie, Jules Kemper [et al.]	289

Session 3.5. Approches géochronologiques et marqueurs anthropiques en milieu souterrain (posters) 290

A multi-proxy stalagmite-based record reconstruction of climatic changes and human use of the quarry in the 20th century, Normandy, France, Ingrid Bejarano [et al.] 291

Landscape Archeology of the Chuchuwayha Sacred Site (British Colombia, Canada)
A 3D geomorphological approach to reconstructing the physical landscapes of past societies, Jean-Jacques Delannoy [et al.] 292

Dégradation osseuse par néoformation phosphatée exceptionnelle au sein de la série sédimentaire de remplissage de la grotte Sous-Saint-Paul (Sclayn, Andenne, Belgique, Eric Goemaere [et al.] 293

Les carbonates secondaires des aqueducs souterrains et systèmes de captage souterrains : des témoins des changements de l'occupation des sols en surface. Cas d'étude de la période romaine à la période actuelle., Edwige Pons-Branchu [et al.] 295

Documenter la récurrence de l'usage du feu à la transition Paléolithique inférieur – Paléolithique moyen grâce à l'analyse multiméthodes d'un spéléothème, Ségolène Vandeveld [et al.] 296

Thème 4. Du vestige au paysage numérique : Articuler modélisations, analyses computationnelles, simulations et (géo)visualisations dans un cadre interdisciplinaire et de science reproductible **298**

Keynote 4 : Computational modelling to infer demographic processes and cultural interactions from archaeological evidence : challenge and perspectives, Simon Carrignon 299

Session 4.1. Interopérabilité au sein du cycle de vie des données & science ouverte en contexte interdisciplinaire (communications orales) 300

Méthodes de modélisation et de restitution des paysages culturels pour l'archéologie et l'histoire sensorielles., Sylvain Laubé [et al.] 301

CHIPS : l'élaboration d'un référentiel de données pour les recherches en archéométallurgie du fer (voire plus), Alexandre Disser [et al.] 303

De l'harmonisation à la comparabilité des données archéologiques : l'expérience de Syslat sur près de 40 ans., Sébastien Munos [et al.] 304

Session 4.1. Interopérabilité au sein du cycle de vie des données & science ouverte en contexte interdisciplinaire (posters) 305

Le web-sig du PCR TeRAPOTS, une base de données conçue comme un outil de partage, d'interopérabilité de la donnée dans un contexte de recherche pluridisciplinaire., Alexy Duvaut-Robine 306

Des méthodes et des outils pour caractériser, analyser et partager les données sur les formations et les gîtes à silicites, Christophe Tufféry [et al.]	307
Session 4.2. Construire et faire : l'archéologie computationnelle comme nouveau paradigme ? (communications orales)	309
Un outil d'enregistrement des données archéologiques spatiales et attributaires : du SQL du terrain au post-fouille, Collectif Ramen	310
granulizeR & Fabryka : Deux applications « ouvertes » pour faciliter l'étude des processus de formation des sites préhistoriques, Marc Thomas	312
Petrographic data collection, processing and analysis : minimal computational architecture for ancient Sicilian inscriptions, Alessia Coccato [et al.]	314
Session 4.2. Construire et faire : l'archéologie computationnelle comme nouveau paradigme ? (posters)	316
Multidisciplinarité et accessibilité des données archéologiques : La micromorphologie comme cas d'étude à travers des bases de données en ligne et visualisation 3D, Elena De Rosa	317
L'analyse computationnelle au service de l'archéologie du bâti : pour des pistes de méthode pour l'étude des fenêtres romaines (II ^{ème} siècle av. n. è. - I ^{er} siècle de n. è.), Romane Desarbre	318
Le projet « UNIR ». Une aide à la création de figures pour l'archéozoologie grâce au système d'information géographique (SIG)./ UNIR project : Geographic Information System (GIS) support for the creation of archaeozoological figures, Emeline Le Goff [et al.]	320
Classification et analyse des séries lithiques en quartz : comment réconcilier l'analyse qualitative et l'exploration statistique ?, Océane Spinelli Sanchez [et al.]	322
Session 4.3 : Modélisation et simulation de phénomènes spatialisés (communications orales)	323
ROMPIRE-CLIM : un modèle multi-agents pour étudier l'impact des changements climatiques sur la production et le commerce des denrées agricoles dans l'Empire romain, Nicolas Bernigaud [et al.]	324
Modéliser pour explorer la dynamique du peuplement gallo-romain : retour d'expérience sur le Système Multi-Agents ModelAnSet, Frédérique Bertoncello [et al.]	326
Provisioning the city, exploiting the hinterland ? Assessing the economic role of the transport system around Forum Hadriani through multiplex network analysis, Philip Verhagen [et al.]	328
Revealing the Dynamics of Desert Kites : An Agent-Based Modeling Approach Enhanced by OpenMole, Maria Elena Castiello [et al.]	330

La reconstruction archéologique du passé : problèmes fondamentaux et perspectives nouvelles depuis l'analyse de fragmentation et la modélisation des processus de formation des dépôts archéologiques, Sébastien Plutniak	332
Session 4.3 : Modélisation et simulation de phénomènes spatialisés(posters)	334
Modélisation hydraulique unidimensionnelle des aqueducs romains d'Arles, Hugo Delile [et al.]	335
L'anthropisation, facteur d'instabilité des sols ? Modélisation diachronique appliquée au vignoble de Mercurey (Bourgogne, France), Brian Chaize [et al.]	336
Liste des participants	337
Liste des auteurs	340
Table des matières	349