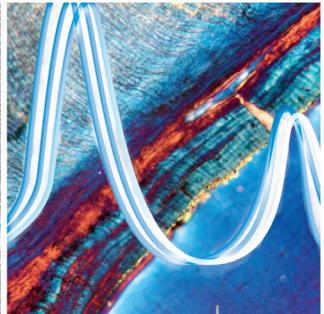
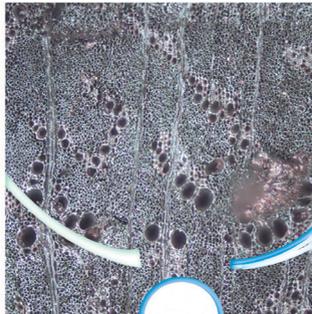
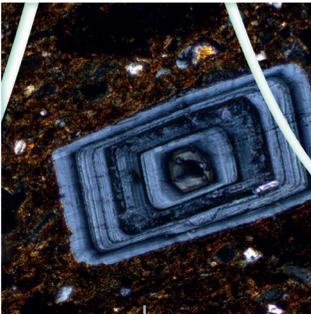
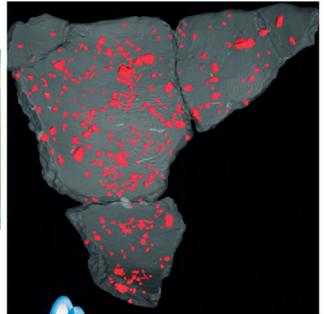
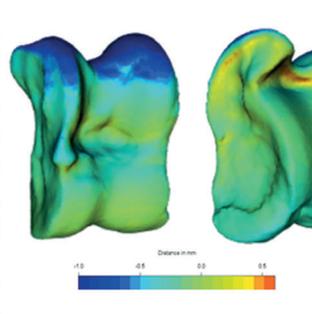
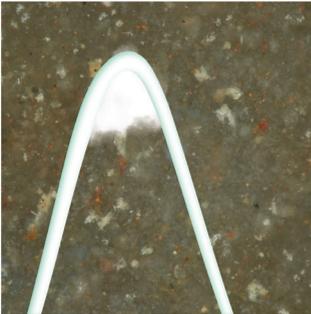
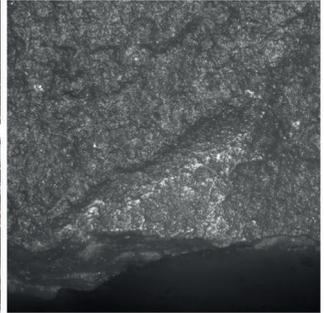
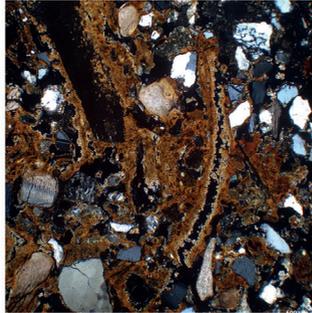
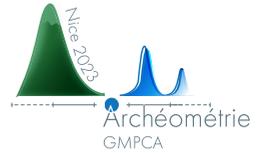


XXIV^e

COLLOQUE

DU GMPCA



Archéométrie
GMPCA 2023

Campus Saint Jean d'Angély, Nice
17-21 avril 2023



De gauche à droite et de haut en bas :

Tesson du site protohistorique du site de Cucurpula, réparé avec un adhésif (brai de bouleau déterminé par analyse GC-MS) – CEPAM

Lame mince de niveau d'occupation archéologique du site de Huaca Grande (Pérou) – Valentina Villa

Détail du tranchant d'un outil en silex portant un poli et des stries associés à des activités de boucherie, Paléolithique inférieur, Valle Giumentina (Abruzzes, Italie) – Juliette Guibert–Cardin

Matrice de silex bédoulien du site du Baratin – Elsa Defranould

Etude des variations morphologiques des talus de moutons en GMM (projet ANR Ewoosheep). Talus en 3D de la race Awassi (Liban, resp. J. Chahoud) – Manon Vuillien

Acquisition en micro-tomographie d'un vase Impresso-Cardial de l'Abri Pendimoun (projet ANR CIMO) – Louise Gomar

Lame mince de céramique néolithique du site des Bréguères – Gilles Durrenmath

Charbon de Fabaceae, site de Monti di a Torra (Cutuli è Curtichjatu, Corse-du-Sud), âge du Bronze – Thomas Camagny

Analyse cémentochronologique d'une molaire de cerf du site de Mandrin – Audrey Roussel

XXIV^e Colloque du GMPCA
Archéométrie 2023

17-21 avril 2023, Nice

SOMMAIRE

COMITÉS.....	7
PROGRAMME DÉTAILLÉ	9
RÉSUMÉS	23
Thème 1	
TRAJECTOIRES SOCIO-ÉCONOMIQUES ET INTERACTIONS.....	23
SESSION 1.1 : APPROCHES MULTI-PROXY, MULTI-ÉCHELLE, MULTI-INSTRUMENT... :	
DÉCLOISONNER L'ÉTUDE DES CHAÎNES OPÉRATOIRES DE PRODUCTION ET D'UTILISATION	
DES OBJETS POUR RESTITUER LES GESTES DU PASSÉ.	24
[ORAUX]	25
[POSTERS]	33
SESSION 1.2 : DE L'ACQUISITION À LA CONSOMMATION : EXPLORER LES FACETTES	
DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES.....	60
[ORAUX]	61
[POSTERS]	67
SESSION 1.3 : TRACES BIOLOGIQUES, CHIMIQUES ET MATÉRIELLES DES MOBILITÉS	
ET INTERACTIONS HUMAINES : QUI, QUOI, COMMENT ?.....	69
[ORAUX]	70
[POSTERS]	82
Thème 2	
SOCIO-ÉCOSYSTÈMES :	
BIODIVERSITÉ, ADAPTATIONS ET TRAJECTOIRES	96
SESSION 2.1 : ÉVOLUTIONS, FLUCTUATIONS ET BASCULEMENTS DES ÉCOSYSTÈMES	
PASSÉS : SUCCESSIONS ÉCOLOGIQUES, FORÇAGES CLIMATIQUES ET ANTHROPIQUES	97
[ORAUX]	98
[POSTERS]	106
SESSION 2.2 : EXPLOITATION ET GESTION DES RESSOURCES VÉGÉTALES ET ANIMALES.....	112
[ORAUX]	113
[POSTERS]	124
Thème 3	
DÉVELOPPEMENTS ET RENOUVELLEMENTS MÉTHODOLOGIQUES	134
SESSION 3.1 : GESTION DE JEU DE DONNÉES	135
[ORAUX]	136
[POSTER]	141
SESSION 3.2 : DÉVELOPPEMENTS ET NOUVELLES APPROCHES ANALYTIQUES	
PEU/NON INVASIVES	142
[ORAUX]	143

[POSTERS]	157
SESSION 3.3 : FAIRE, VOIR FAIRE, ANALYSER : LES EXPÉRIMENTATIONS ET	
LES ENQUÊTES ETHNOGRAPHIQUES EN ARCHÉOLOGIE	174
[ORAUX]	175
[POSTERS]	187
SESSION 3.4 : MÉTHODES DE DATATION ET CHRONOLOGIES	196
[ORAUX]	197
[POSTERS]	213
Thème 4	
ARCHÉOLOGIE ET ARCHÉOMÉTRIE EN TEMPS DE CRISES	227
[ORAUX]	228
[POSTERS]	234

COMITÉ SCIENTIFIQUE – ARCHÉOMÉTRIE 2023

Hala Alarashi : Post-doctorante, IMF-CSIC, Barcelone, Espagne

Yann Ardagna : Assistant Ingénieur CNRS, ADES, Aix Marseille Université

Stéphane Azoulay : Professeur, Institut de Chimie de Nice, Université Côte d'Azur

Lucile Beck : Directrice de Recherche CEA, LMC14, CEA, Université Paris-Saclay

Annelise Binois-Roman : Maîtresse de Conférences, ARSCAN, Université Paris 1

Aude Civetta : Direction des Patrimoines, Service Archéologie, Métropole Nice Côte d'Azur

Marie-Yvane Daire : Directrice de Recherche CNRS, CReAAH, Université de Rennes 1

Pauline Debels : Post-doctorante, Département de Génétique et Evolution, Université de Genève, Suisse

Elsa Defranould : Post-doctorante, CEPAM, Université Côte d'Azur

Claire Delhon : Chargée de Recherche CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Emmanuel Desclaux : Archéologue départemental, Département 06, Chercheur associé CEPAM, Université Côte d'Azur

Thibaut Devière : Maître de Conférences, CEREGE, Aix Marseille Université

Léa Drieu : Docteure, CEPAM, Université Côte d'Azur

Lydie Dussol : Maîtresse de Conférences, CEPAM, Université Côte d'Azur

Xavier Fernandez : Professeur, Institut de Chimie de Nice, Université Côte d'Azur

Louise Gomart : Chargée de Recherche CNRS, Trajectoires, Université Paris 1

Lionel Gourichon : Chargé de Recherche CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Juliette Guibert-Cardin : Post-doctorante, Université de Tübingen, Allemagne

Caroline Hamon : Chargée de Recherche CNRS, Trajectoires, Université Paris 1

Auréade Henry : Chargée de Recherche CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Estelle Herrscher : Directrice de Recherche CNRS, LAMPEA, Aix Marseille Université

Thomas Huet : Post-doctorant, Université d'Oxford, Royaume-Uni

Lamyia Khalidi : Chargée de Recherche CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Maxime L'Héritier : Maître de Conférences, ARSCAN, Université Paris 8

Matthieu Lebon : Maître de Conférences, HNHP, MNHN, CNRS, Paris

Cédric Lepère : Responsable d'opération Eveha, Chercheur associé CEPAM, Université Côte d'Azur

Sophie Martin : INRAP Méditerranée

Véronique Michel : Chargée de Recherche CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Gaspard Pagès : Chargé de Recherche CNRS, ArScAn, Université Paris Nanterre

Antoine Pasqualini : Ingénieur d'étude CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Sidonie Preiss : Chercheuse, Unité d'Archéosciences, Direction Opérationnelle Terre et Histoire de la Vie, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Belgique

Louise Purdue : Chargée de Recherche CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Maxime Rageot : Post-doctorant, CEPAM et Université de Tübingen, Allemagne

Martine Regert : Directrice de Recherche CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Maité Rivolat : Post-doctorante, Université de Ghent, Belgique

Caroline Robion-Brunner: Directrice de Recherche CNRS, Centre français d'études éthiopiennes, Addis Abeba, Ethiopie

Tatiana Theodoropoulou: Chargée de Recherche CNRS, CEPAM, Université Côte d'Azur

Chrystèle Vérati: Maîtresse de Conférences, GeoAzur, Université Côte d'Azur

Julien Vieugué: Chargé de Recherche CNRS, TEMPS, Université Paris 1 & Université Paris Nanterre

Valentina Villa: Docteure, CEPAM, Université Côte d'Azur

Manon Vuillien: Post-doctorante, CEPAM, Université Côte d'Azur

COMITÉ D'ORGANISATION – ARCHÉOMÉTRIE 2023

Fabien Blanc, Service Archéologie, Métropole Nice Côte d'Azur

Ingrid Bertin, CEPAM et Université Autonome de Barcelone

Thomas Camagny, CEPAM

Delphine Chetiveaux, CEPAM

Claire Delhon, CEPAM

Léa Drieu, CEPAM

Gilles Durrenmath, CEPAM

Lucile Fleuriot, IPMC

Anne-Marie Gomez, CEPAM

Juliette Guibert-Cardin, Université de Tübingen

Leïla Hoareau, CEPAM

Aurélie Liard, CEPAM

Alex Malergue, CEPAM

Antoine Pasqualini, CEPAM

Martine Regert, CEPAM

Mailys Turini, CEPAM

Valentina Villa, CEPAM

Manon Vuillien, CEPAM

PROGRAMME DÉTAILLÉ

LUNDI 17 AVRIL

- 9h Accueil – Welcome
10h Discours d'ouverture – Opening Speech
Stéphane AZOULAY, Fabien BLANC,
Lionel GOURICHON, Ludovic BELLOT-
GURLET, Organisatrices

SESSION 3.2 : DÉVELOPPEMENTS ET NOUVELLES APPROCHES ANALYTIQUES PEU/NON INVASIVES

- 10h45 Inter-comparaison en spectrométrie p-XRF: approches méthodologiques pour l'étude des céramiques
ABDELGAWAD *et al.*
- 11h00 L'analyse par fluorescence des rayons X portable est-elle applicable à la céramique grossière préhistorique? Recherches méthodologiques.
GOTTARDI *et al.*
- 11h15 Les analyses pXRF (fluorescence X portable): premiers résultats et comparaisons de séries céramiques préhistoriques (3400-2700 av. J.-C.)
SCHIESS
- 11h30 *Pause – Break*
- 11h50 Identification rapide et automatique des agrégats et du liant pour la caractérisation des mortiers de chaux: traitement des données spectrales d'imagerie LIBS par réseau de neurones artificiels.
COMBY-ZERBINO *et al.*
- 12h05 Approches géophysiques multi-méthodes pour la connaissance des sanctuaires gallo-romains dans l'ouest de la Gaule.
CARAIRE *et al.*
- 12h20 A multispectral imaging approach integrated into the study of an ancient Egyptian decorated wooden artifacts
ABDRABOU
- 12h35 *Déjeuner – Lunch*

SESSION 1.1 : APPROCHES MULTI-PROXY, MULTI-ÉCHELLE, MULTI-INSTRUMENT... :

DÉCLOISONNER LES ANALYSES FONCTIONNELLES POUR RESTITUER DES GESTES DU PASSÉ

- 14h00 Investigating and recreating ancient Egyptian mummies black coatings using their ion-metal impurities as internal probes: a study by Electron Paramagnetic Resonance spectroscopy and Ion beam techniques
ANDUZE *et al.*
- 14h15 Approches multi-analytiques et multi-échelles du cercueil de Neskafaâ: vers une meilleure compréhension des cercueils funéraires à fond jaune de la XXI^e dynastie
CHASSOUANT *et al.*
- 14h30 Etude multiproxy d'une mosaïque pariétale en verre de la villa gallo-romaine de la Grande Boussue à Nouvelles (Mons, Belgique).
GOEMAERE *et al.*
- 14h45 Couches picturales des céramiques précolombiennes au Costa Rica: étude des techniques de fabrication et des échanges régionaux
MÉNAGER *et al.*
- 15h00 « La Grande Bouffe »? Investigating the evidence of feasting during the Late Neolithic in Orkney, Scotland
BECHER *et al.*
- 15h15 Traces of fire and residues of food. A functional approach of cooking vessels from Bronze Age Crete.
TSAFOU
- 15h30 Eclairer les pratiques alimentaires au Néolithique: apport combiné de la tracéologie et des microrésidus botaniques appliqués aux outils de broyage des premiers agriculteurs en Bassin parisien.
HAMON *et al.*
- 15h45 *Pause – Break / Posters 1*

SESSION 1.2 : DE L'ACQUISITION À LA
CONSOMMATION : EXPLORER LES FACETTES
DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES

- 17h15 Prehistoric production of broom-corn millet in northern Germany: charting environmental affordances and constraints
FILIPOVIC *et al.*
- 17h30 Approche diachronique des pratiques alimentaires et de la mobilité au cours de la Préhistoire en Auvergne : une étude bioarchéologique et multi-isotopique
CHEVALLIER *et al.*
- 17h45 Did subsistence changes in early medieval Jauntal/Podjuna, Austria affect metabolic health?
SRIENC-SCIESIEK *et al.*
- 18h Exploiter le signal triglycérides préservé dans les céramiques archéologiques : développement méthodologiques et premiers résultats archéologiques
MALERGUE *et al.*
- 18h15 Définir les termes du partage : indices archéozoologiques de la hiérarchisation et du partage des viandes dans l'Est du Massif central et le Languedoc entre Antiquité tardive et haut Moyen Âge
MUREAU
- 18h30 Une préhistoire de l'invisible. A l'origine de la production du sel
WELLER
- 18h45 *Fin de journée – End of the day*

MARDI 18 AVRIL

SESSION 3.4 : MÉTHODES DE
DATATION ET CHRONOLOGIES

- 9h La datation ¹⁴C des carbonates de plomb, un nouvel outil chronologique pour l'archéologie. Exemple des ampoules de Grandmont (Haute-Vienne)
BECK *et al.*

- 9h15 Caractérisation Interdisciplinaire et Datation Radiocarbone des Mortiers de Chaux de l'Abbatiale Sainte-Marie de Floreffé (Belgique)
WOJCIESZAK *et al.*
- 9h30 Datation ¹⁴C de biomarqueurs moléculaires. Récents développements au LSCE et application à des beurres archéologiques
JACOB *et al.*
- 9h45 Apport de nouvelles données radiocarbones à la chronologie des derniers Néandertaliens dans la région pyrénéenne par l'utilisation de méthodologies radiocarbones avancées - le cas du Portel-ouest
SPANNEUT *et al.*
- 10h Préciser la courbe de calibration radiocarbone pour l'Égypte ancienne : apport de l'Herbier National pour la construction d'une chronologie absolue
FERRANT *et al.*
- 10h15 Datation par le carbone 14 - Etude chronologique des pratiques de momification des oiseaux en Egypte ancienne
RICHARDIN *et al.*
- 10h30 Datation radiocarbone de l'art pariétal - exemple des grottes de Nerja (Espagne) et d'Ebbou (France)
TISNÉRAT-LABORDE *et al.*
- 10h45 *Pause – Break*

SESSION 2.2 : EXPLOITATION ET GESTION
DES RESSOURCES VÉGÉTALES ET ANIMALES

- 11h05 «Vous reprendrez bien du gigot?» L'exploitation du renne sur le site magdalénien moyen de Solutré "Route de la Roche", Saône-et-Loire
BEMILLI *et al.*
- 11h20 Investigating the cultural control of animals by sedentarising communities: a microcontextual biomolecular approach
GARCÍA-SUÁREZ *et al.*

- 11h35 Constraining the animals: looking for subsistence adaptations in regard to climatic events in Jordan and Sudan
LE MEILLOUR *et al.*
- 11h50 Le projet CENTAURO: Introduction des équidés, hybridation et intensification agricole dans la vallée de l'Èbre du Néolithique final à époque romaine
NIETO-ESPINET *et al.*
- 12h05 Caprinés et Porcins entre le Rhône et l'Èbre durant l'Âge de Fer et l'Antiquité: Lien, Echange et Homogénéisation
JEANJEAN *et al.*
- 12h20 Adieu veaux, vaches: vêlages dystociques et mortalité foeto-maternelle en archéozoologie
BINOIS-ROMAN
- 12h35 *Déjeuner – Lunch*
- 14h Diversité de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans le Nord-Ouest du Bassin Méditerranéen occidental depuis 8 millénaires d'après l'analyse morphométrique des caryopses archéologiques
JEANTY *et al.*
- 14h15 Were different varieties of pulses farmed? Methodological approach and first results of observing possible intraspecific differences in archaeological legumes
TARONGI
- 14h30 La fertilisation des champs en Gaule durant le second âge du Fer et la période romaine, abordée par la biogéochimie des restes céréaliers
BEN MAKHAD *et al.*
- 14h45 New data on Iron Age adhesives document continuous production and wide-ranging use of birch tar in north-eastern France
KOCH *et al.*
- 15h Les sapins du plafond à saisons du complexe culturel gallo-romain de Saint-Martin-au-Val, Autricum-Chartres (Eure-et-Loir): projet d'approches interdisciplinaires pour la caractérisation des boisements, de la provenance, du choix et du travail du bois.
TORITI *et al.*
- 15h15 *Pause – Break – Posters 1*

SESSION 4 : ARCHÉOLOGIE ET
ARCHÉOMÉTRIE EN TEMPS DE CRISES

- 16h45 Le climat médiéval et la charpente de Notre-Dame de Paris: impact de la carbonisation sur les valeurs $\delta^{18}O$ du bois de chêne et premières données issues de monuments contemporains
DU BOISGUEHENEUC *et al.*
- 17h Une approche multi-proxy pour étudier la provenance des bois médiévaux carbonisés de la charpente de Notre-Dame de Paris
IMBERT STULC *et al.*
- 17h15 Retracer l'histoire du plomb dans la construction d'un édifice. Une approche interdisciplinaire appliquée au cas de Notre-Dame de Paris.
L'HÉRITIER *et al.*
- 17h30 Les signes lapidaires, une autre lecture de Notre-Dame
SYVILAY *et al.*
- 17h45 Archaeology and Archaeometry in Ukraine
WAKSMAN *et al.*
- 18h00 *Pause – Break*
- 18h15 AG GMPCA - GMPCA GENERAL ASSEMBLY
- 19h45 *Fin de journée – End of the day*

MERCREDI 19 AVRIL

SESSION 1.3 : TRACES BIOLOGIQUES, CHIMIQUES
ET MATÉRIELLES DES MOBILITÉS ET INTERACTIONS
HUMAINES: QUI, QUOI, COMMENT ?

- 9h Espaces de production et conditions de circulation des produits ferreux en Bourgogne Franche-Comté durant les âges du Fer et l'Antiquité: études

physico-chimiques de la provenance des matériaux ferreux anciens.

VALBI *et al.*

- 9h15 Déchiffrer l'approvisionnement en fer d'un atelier de forge : L'utilisation des battitures.
RODIER *et al.*
- 9h30 Du négoce viking à la mise en place d'un système commercial pérenne au Moyen Âge : identification de pierres à aiguiser norvégiennes dans le nord de la France et en Belgique
PICAUVET *et al.*
- 9h45 Biographies de l'Empire. Une approche multidisciplinaire pour reconstituer l'histoire de vie de soldats de la bataille d'Orthez (27 février 1814)
SOUQUET *et al.*

SESSION 3.2 : DÉVELOPPEMENTS ET NOUVELLES APPROCHES ANALYTIQUES PEU/NON INVASIVES

- 10h00 *Pause – Break*
- 10h20 Utilisation d'une approche métabolomique par GC-MS pour la recherche de chimiomarqueurs de résines naturelles issues d'espèces méditerranéennes de Pinacées et de Cupressacées utilisées dans le domaine du patrimoine
CULIOLI *et al.*
- 10h35 Non-destructive proteomics of archaeological and palaeontological bones based on tape strip sampling
BRAY *et al.*
- 10h50 Analyses protéomiques des archives de l'abbaye de Morimond (XII^e - XV^e s.) : apport de la technique de l'eZooMS sur l'étude du parchemin
ARTIZZU *et al.*
- 11h05 Évaluation de propriétés physico-mécaniques d'os d'ongulés par interférométrie ultrasonore
LASAYGUES *et al.*
- 11h20 Développement d'une méthodologie pour l'étude de la stratigraphie

des dépôts présents sur les vitraux de Notre-Dame

TAZZIOLI *et al.*

- 11h35 Imagerie chimique à la ligne PUMA, synchrotron SOLEIL, d'échantillons de pigment rouge provenant l'art pariétal polychrome de plusieurs grottes paléolithiques du nord de l'Espagne
TAPIA REGUERA *et al.*
- 11h50 Nouvelles approches analytiques par diffraction des rayons X sous rayonnement synchrotron pour l'étude des techniques d'élaboration de l'armement
BÉRARD *et al.*
- 12h05 PRIX DE THÈSE – PHD THESIS AWARD
- 12h20 *Déjeuner – Lunch*
- 14h *Posters 2*
- 15h30 DÉPART POUR LES VISITES – DEPARTURE OF THE VISITS
- 16h30 DÉBUT DES VISITES – START OF THE VISITS
- 19h30 *Dîner de Gala – Gala Dinner*

JEUDI 20 AVRIL

SESSION 3.3 : FAIRE, VOIR FAIRE, ANALYSER : LES EXPÉRIMENTATIONS ET LES ENQUÊTES ETHNOGRAPHIQUES EN ARCHÉOLOGIE

- 9h Regards croisés sur l'architecture de terre : genèse et développement d'un programme ethnoarchéologique à Djibouti, province de Dikhil
BAUDOQUIN *et al.*
- 9h15 The puppet knapper method : experimentally disentangling knapping know-how to test the ability to impose form in knapping-naïve humans
FERAR *et al.*
- 9h30 Anthropologie des techniques et tracéologies du quotidien : « lire » un outil avec les Évènes éleveurs de rennes de Iakoutie (Sibérie Orientale)
BUREAU

- 9h45 La fabrication des vitriols au Moyen-Age: entre laboratoire et archéologie expérimentale
VUILLARD *et al.*
- 10h Identifier le contenu des céramiques: une expérimentation tracéologique sur des poteries actuelles de tradition bedik (Sénégal)
DEBELS *et al.*
- 10h15 Expérimenter en contexte ethnographique: limites et apports de cette double approche. L'exemple de la reproduction d'une larnax minoenne en collaboration avec des artisans potiers crétois
GEORGEL-DEBEDDE
- 10h30 *Pause – Break*
- 10h50 Ten years after: New experiments in anthracology aimed at discriminating the combustion of dry vs. green wood
LIARD *et al.*
- 11h05 Origine géologique et gîtologique des quartz: quelles influences sur les propriétés mécaniques et l'aptitude à la taille?
SPINELLI SANCHEZ *et al.*
- 11h20 Le charbonnage en fosse: approche d'une pratique méconnue et impacts environnementaux dans le Rif marocain
DURAND *et al.*
- 11h35 Peut-on parler de « socioarchéologie »? Réflexion menée à partir d'un programme expérimental sur la chaîne opératoire du bois de construction protohistorique dans le sud des Balkans
BACOU
- 11h50 Mesurer et cartographier la propagation du son des cloches d'églises médiévales du Danemark: de l'archéologie expérimentale au paysage sonore
BARANES *et al.*
- 12h05 *Déjeuner – Lunch*

SESSION 3.1 : GESTION DE JEUX DE DONNÉES

- 13h30 *Posters 2*
- 15h Gestion des jeux de données et Science Ouverte: l'implication des unités d'appui à la recherche
HENON *et al.*
- 15h15 Déterminer l'oiseau à partir de l'œuf, le point sur les recherches alsaciennes
GUIDEZ
- 15h30 Euphrosyne: la plateforme numérique de gestion des données de New AGLAE en vue de leur « patrimonialisation »
PACHÉCO *et al.*
- 15h45 Vers une base de données collaborative sur l'exploitation du minerai de fer dans les Pyrénées: les prolongements du programme FEDER FERMAPYR
COSTA *et al.*
- 16h00 A combined database of anatomical features and micrographs for selected Southern African woods and charcoals: a perspective on an identification key for anthracological study
PUECH *et al.*
- 16h15 EAMENA, a massive and open data information system for endangered archaeology and cultural heritage
HUET *et al.*
- 16h30 *Pause – Break*

SESSION 1.3 : TRACES BIOLOGIQUES, CHIMIQUES ET MATÉRIELLES DES MOBILITÉS ET INTERACTIONS HUMAINES: QUI, QUOI, COMMENT ?

- 16h50 Ça chauffe au Solutréen! Apports de l'étude du traitement thermique du silex à la connaissance des systèmes de mobilité des groupes Solutréen récent du sud-ouest de la France
BACHELLERIE
- 17h05 Tradition, réseaux et circulation de biens matériels chez les premières communautés potières du Levant Sud (seconde moitié du 7^e millénaire av.

n. è.): apport de l'étude techno-péetrographique des assemblages céramiques
HARIVEL *et al.*

17h20 The potential of multi-lithic resource management analyses: The case study of Kalba in the UAE
BRANDL *et al.*

17h35 De l'obsidienne dans les Antilles? Circulation des roches magmatiques à l'Âge Céramique
LECK *et al.*

17h50 An interdisciplinary approach to Recent/Final Neolithic coastal gallery graves in Brittany, France. The 3D-structure, origin of rock material, and paleoenvironmental setting of the Kernic and Lerret monuments
GORCZYNSKA *et al.*

18h05 *Fin de journée – End of the day*

VENDREDI 21 AVRIL

SESSION 2.1 : ÉVOLUTIONS, FLUCTUATIONS ET BASCULEMENTS DES ÉCOSYSTÈMES PASSÉS : SUCCESSIONS ÉCOLOGIQUES, FORÇAGES CLIMATIQUES ET ANTHROPIQUES

9h Évolutions des écosystèmes oasiens à partir du bioindicateur malacologique: le cas de l'oasis d'AlUla (Arabie Saoudite)
DJERBI *et al.*

9h15 Analyse des isotopes stables du Lithium des invertébrés marins (*Bittium* sp.) du Pléistocène moyen final (MIS 7 et 6) de la grotte du Lazaret à Nice (Alpes-Maritimes, France)
WEPPE *et al.*

9h30 Human-environment interactions through a high-resolution archaeomalacological archive
THEODORAKI

9h45 Le gisement paléolithique des Bossats à Ormesson (Seine-et-Marne, France), un paléo-incendie OIS 5

comme jalon paléo-environnemental dans l'archéo-séquence
BODU *et al.*

10h Contribution of isotopic analysis ($\delta^{13}C$) of charcoal from Palaeolithic hearths to the improvement of environmental and climatic reconstructions: a local and high temporal resolution signal
AUDIARD *et al.*

10h15 Evolution géohistorique de la forêt d'Écouves (Orne, France): apport de l'étude palynologique des tourbières
BLANCHARD *et al.*

10h30 Les bouquetins maralpins: écomorphologie des bouquetins des Alpes (*Capra ibex*) présents dans l'arc liguro-provençal entre la fin du Pléistocène moyen final supérieur et le début de l'Holocène
VUILLIEN *et al.*

10h45 *Pause – Break*

11h05 PRIX POSTER – POSTER AWARD

SESSION 3.4 : MÉTHODES DE DATATION ET CHRONOLOGIES

11h25 Approches croisées sur les restitutions des occupations animales à la grotte Chauvet et sur les dynamiques biologiques d'une espèce disparue: l'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*)
FREREBAU *et al.*

11h40 Représenter le temps sur modèle 3D. Une analyse 4D de l'entrée de la grotte Chauvet (Ardèche, France)
JAILLET *et al.*

11h55 Développement méthodologique et apports récents de l'anthraco-chronologie à l'étude des charbons de bois archéologiques
BROSSIET *et al.*

12h10 Datation archéomagnétique des bas-fourneaux du pays Bassar (Togo): une étude de faisabilité

RICCI *et al.*

12h25 *Déjeuner – Lunch*

13h45 Apport des datations par les séries de l'uranium par imagerie FsLA ICP-MS à l'étude des dynamiques de peuplement du Levant au Pléistocène moyen et supérieur
GALY *et al.*

14h00 40Ar/39Ar dating applied to archaeology: what is new?
NOMADE *et al.*

14h15 Le site de Toca dos Coqueiros (Piauí, Brésil): un défi pour la géochronologie?
BROT *et al.*

14h30 Evolutions physiques d'un site à peintures rupestres. Interroger l'accessibilité de la paroi par la chronologie relative
JACQUET *et al.*

14h45 Approche pluri-disciplinaire pour la datation des mines de cuivre néolithiques de Roua (Alpes-Maritimes)
BUSSONE *et al.*

15h00 *Fin du colloque – End of the conference*

SESSION POSTER 1

SESSION 1.1 : APPROCHES MULTI-PROXY, MULTI-ÉCHELLE, MULTI-INSTRUMENT... : DÉCOISONNER LES ANALYSES FONCTIONNELLES POUR RESTITUER DES GESTES DU PASSÉ

Poster n°1 : Du métal à la Fabrique : approche multi-indicateur pour caractériser les productions métalliques protohistoriques des Alpes méridionales
BUSSONE *et al.*

Poster n°2 : Set in stone : exploring the materials and techniques of funerary inscriptions from the Siracusa catacombs
COCCATO *et al.*

Poster n°3 : Bacterial corrosion of cast bronzes in anaerobic sea water
GHIARA *et al.*

Poster n°4 : Métallurgie des haches du Bronze Moyen : les premiers résultats de l'étude sur le mobilier métallique de Bény-sur-mer
PICCARDO *et al.*

Poster n°5 : Multi-analytical investigation of ceramic productions from Formative Mesoamerica to reassess the influence of Chupicuaro culture in the Basin of Mexico
ALLOTEAU *et al.*

Poster n°6 : The first insights into the function of stone tools and food preparation techniques in FBC northern Germany- multiple evidence from micro-botanical remains
AN *et al.*

Poster n°7 : La redécouverte d'une sculpture monumentale réalisée par galvanoplastie: Apollon sortant du zodiaque ou Génie de la science de l'Observatoire de la Côte d'Azur, Nice
AZÉMA *et al.*

Poster n°8 : Une caractérisation multi-échelle d'une « intrigante masse de fer » retrouvée au sommet du puy de Dôme, sur le site du Temple de Mercure
BERRANGER *et al.*

Poster n°9 : Use of organic container and other plant-based artefacts during the Early Neolithic of Spain
BERTIN *et al.*

Poster n°10 : Support et instruments : les média de la gravure dans la grotte de Cussac (Dordogne, France)
BROCHARD *et al.*

Poster n°11 : Exploring the Early Neolithic food system through the chemical analysis of cooking stones
CANTELLI *et al.*

Poster n°12 : Between the tradition and the innovation : an approach to the introduction of the potter's wheel in the Western Catalan Plain (Catalonia, Spain) during the Early Iberian period (VIth century BC)
CASTELLANO ARAGONÉS

Poster n°13 : De la sélection des ressources à la production d'art rupestre : liens entre feuilles

et parois ornées à la grotte aux Points (Aiguèze, Gard, France)

CHANTERAUD *et al.*

Poster n°14: Datation et analyses de matériaux appliquées aux revêtements des hippomobiles européens du début du XVIII^e siècle

DURIER *et al.*

Poster n°15: A multi-proxy approach to pottery function in Early and Middle Neolithic sites of Sardinia (Italy)

FANTI *et al.*

Poster n°16: L'analyse isotopique et moléculaire des matières organiques au sein de la plateforme mutualisée PANOPLY

GAUTHIER *et al.*

Poster n°17: Towards a multi-analytical methodology based on molecular spectroscopy techniques for the detection and characterization of organic residues in archaeological findings

KONSTANTINOOU *et al.*

Poster n°18: Production de céramique Ychsma durant la période Intermédiaire Récent à l'Horizon Récent (1250 - 1532 AD): une unité technologique sur la côte centrale?

PAREJA *et al.*

Poster n°19: Caractériser l'oxyde de manganèse de Beg-er-Vil (Quiberon, Morbihan). Quand les mésolithiques bretons broyaient du noir...

PUAUD *et al.*

Poster n°20: Regard multiple sous les voiles de visage

SYVILAY *et al.*

Poster n°21: Approche multi-échelle et multi-technique pour une compréhension plus fine de l'expression schématique du néolithique, le cas du site Otello dans les Alpilles

THÉRON *et al.*

Poster n°22: L'industrie osseuse au Paléolithique moyen dans la moitié septentrionale de la France: approche multi-proxy (archéozoologie, taphonomie, tracéologie, protéomique)

VIGNES *et al.*

Poster n°23: The impact of the environmental change on the selection of clay deposits: An

experimental study for evaluating the pottery production in the Mareotic Region between the Ptolemaic and Early-Roman Periods

BAHNASY

Poster n°24: La terre cuite architecturale dans les Alpes-Maritimes: Premiers essais de caractérisation

LARRAT *et al.*

SESSION 1.2 : DE L'ACQUISITION À LA CONSOMMATION : EXPLORER LES FACETTES DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES

Poster n°25: Une histoire sans faim de quelques emballages qui voyagent, économie du vin en territoire picton aux I^{er} et II^e s. de notre ère

FRUGIER *et al.*

Poster n°26: Pêcher et échanger le poisson en Aquitaine durant l'Antiquité: que dit la composition des os?

WEST *et al.*

SESSION 2.2 : EXPLOITATION ET GESTION DES RESSOURCES VÉGÉTALES ET ANIMALES

Poster n°27: Etude palynologique du sanctuaire antique de Saint-Martin-au-Val (Autricum/Chartres, 28)

HERPIN *et al.*

Poster n°28: L'exploitation des substances naturelles en Corse durant les âges des métaux: approche biomoléculaire

TURINI *et al.*

Poster n°29: King Khufu's second boat: scientific identification of wood species used for deckbeams, Hull, and ribs

ABDRABOU *et al.*

Poster n°30: Anthraco-chronologie de la forêt métallurgique de la Montagne Noire durant l'Antiquité. Le cas de Laprade-Basse (I^{er} - III^e s. ap. J.-C.)

CHARDONNEAU-HENNEUSE *et al.*

Poster n°31 : Combustible d'un atelier de fondeurs de cloche XVIII^e siècle – Côte d'or – France

GILLOT *et al.*

Poster n°32 : Biological resources in the economy of the medieval urban settlement of Târgu Neamț (Neamț County, Romania)

STANC MARGARETA *et al.*

Poster n°33 : Exploitation et gestion des ressources animales chez les Magdaléniens du Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin, Vienne, France)

VALENSI *et al.*

Poster n°34 : Brucellose et populations corses anciennes

BIAGINI *et al.*

Poster n°35 : Traités comme des chiens – un épisode médiéval d'élimination canine à Fosses-Saint-Ursin (Calvados)

BINOIS-ROMAN *et al.*

Poster n°36 : Identifier le dimorphisme sexuel chez le chien (*Canis familiaris*, Linnaeus, 1758) : réflexions et perspectives en archéologie

LAMARQUE

SESSION 3.2 : DÉVELOPPEMENTS ET NOUVELLES APPROCHES ANALYTIQUES PEU/NON INVASIVES

Poster n°37 : Reconnaissance et quantification du traitement thermique du silex : les analyses de surface comme nouvel outil analytique

BACHELLERIE *et al.*

Poster n°38 : Non-invasive approaches for the screening of stone supports in Sicilian epigraphy

COCCATO *et al.*

Poster n°39 : Le manganèse : un marqueur interprétatif précisé ?

LAENGER *et al.*

Poster n°40 : Le couvent des châtelliers (Neufchâtel-en-Saosnois, 72) : l'apport de la prospection géochimique

LAENGER *et al.*

Poster n°41 : Contrôle non destructif ultrasonore d'urnes cinéraires antiques

LASAYGUES *et al.*

Poster n°42 : Non-invasive analyses for ceramic building materials: are they worth it or should we 'hit the bricks'?

BOCCALON *et al.*

Poster n°43 : Identification Raman des pigments et des phases associées aux émaux peints jaunes et verts de porcelaines françaises et chinoises des 17^e et 18^e siècles : Intérêt et limitation de l'analyse multivariée par rapport à l'approche spectroscopique des solides

BURLLOT *et al.*

Poster n°44 : Les techniques supercritiques en archéologie

DEVIÈSE *et al.*

Poster n°45 : Building Archaeology and Earth Mortars Analysis in AlUla Old Town. A minimally invasive analytical approach to the study of the built heritage in northwest of Saudi Arabia

GILENTO *et al.*

Poster n°46 : La spectroscopie visible appliquée au mobilier en os de la Grotte du Diable

GOSSÉLIN *et al.*

Poster n°47 : Identifier et décrypter des aménagements anciens. Apports de la 3D et de la cartographie anthropo-géomorphologique à haute résolution. Application à la grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne)

KEMPER *et al.*

Poster n°48 : Caractérisation par microscopie optique et p-XRF de céramiques glaçurées d'époque contemporaine en Provence. Le cas de l'atelier du Collet du Bayle à Varages (83).

LACOMBE *et al.*

Poster n°49 : Non-destructive identification of prehistoric adhesives by HS-GCxGC-TOFMS : preliminary study

LOKKER *et al.*

Poster n°50 : Métabolomique non-ciblée et réseau moléculaire : deux outils complémentaires pour la discrimination chimique de

colorants jaunes naturels présents dans des objets patrimoniaux

MAS-NORMAND *et al.*

Poster n°51 : Monumental bronzes of the 11th-12-th century : documentation and analyses of bronze doors

MOEDLINGER *et al.*

Poster n°52 : Stratégies analytiques développées pour une contribution archéométrique de la ligne de lumière DiffAbs du synchrotron SOLEIL.

REGUER *et al.*

Poster n°53 : Caractérisation des éléments légers dans les alliages ferreux anciens par LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy)

RICHIERO *et al.*

Poster n°54 : Analyses ¹⁴C de micro-échantillons sur l'instrument ECHOMICADAS : les possibilités et limites

THIL *et al.*

SESSION 4 : ARCHÉOLOGIE ET

ARCHÉOMÉTRIE EN TEMPS DE CRISES

Poster n°55 : « Y a plus de saison ma bonne dame ! ». Entre contrainte météorologique et gestion des ressources sur une fouille : exemple du protocole de prélèvement des restes macrobotaniques de la grotte Bouyssonie, Brive-La-Gaillarde, Corrèze

PUECH *et al.*

Poster n°56 : L'évaluation de l'état sanitaire de la charpente de Notre-Dame de Paris

TORITI *et al.*

Poster n°57 : Le fer à Notre-Dame de Paris : nature des alliages, procédés techniques et études de provenance, le cas des fenêtres hautes

BERNARD *et al.*

Poster n°58 : Les charpentes de Notre-Dame de Paris, un questionnement plus ancien que la crise et les premiers apports de l'étude des bois

GIRARDCLOS *et al.*

SESSION POSTER 2

SESSION 1.3 : TRACES BIOLOGIQUES, CHIMIQUES ET MATÉRIELLES DES MOBILITÉS ET INTERACTIONS HUMAINES : QUI, QUOI, COMMENT ?

Poster n°59 : Les ferrures des portes romanes du Roussillon : qualité, technique et provenance.

Une première approche

L'HÉRITIER *et al.*

Poster n°60 : Apport de l'analyse métallographique des fers de construction à la connaissance du chantier de la cathédrale Saint-Gatien de Tours

L'HÉRITIER *et al.*

Poster n°61 : Etude interdisciplinaire des déchets métallurgiques du site de Bragny « Sous Moussières »

BELHADE *et al.*

Poster n°62 : Les disques perforés en roches du site magdalénien de Pincevent (La Grande-Paroisse, France) - Essais de provenance par étude pétrographique multi-échelle

CHASSIN DE KERGOMMEAUX *et al.*

Poster n°63 : Modelling ancient bronze craft techniques in Italy. From ore to object and back

CICOLANI *et al.*

Poster n°64 : Définition des sources géologiques dans le cadre des recherches de provenance des matières colorantes ferrugineuses : influence sur le résultat des analyses statistiques

DAYET

Poster n°65 : Production et commerce du fer au Levant sud, des guerres Arabo-byzantines à la fin des Croisades (7e-13e siècle)

HORNY *et al.*

Poster n°66 : Archaeometric study of the technical evolution of the painted decorations in the ancient city of Limonum

IULIANO *et al.*

Poster n°67 : De Nottingham à Lviv : Les carrières historiques d'albâtre en Europe et leurs zones d'influence au fil des siècles

KLOPPMANN *et al.*

Poster n°68: À travers les vallées et par-delà les montagnes : premiers regards sur les stratégies d'exploitation de l'obsidienne des pasteurs mobiles des piémonts du Petit Caucase
ORANGE *et al.*

Poster n°69: Aquitania ornata. Formes, matériaux et techniques du décor pariétal en Aquitaine romaine. Le cas des décors en marbre
PIANET *et al.*

Poster n°70: Les lingots en laiton de l'épave d'Agay (Saint-Raphaël) : de rares témoins du commerce de matières premières en Méditerranée médiévale (9^e-10^e siècles)
SAUSSUS *et al.*

Poster n°71: Regard sur le paysage chimique de la fourniture métallique dans le bâti bruxellois au XV^e siècle à travers l'étude de quatre édifices
VEGA *et al.*

Poster n°72: Reconsidering Garus ware in early Islamic Iran
WAKSMAN *et al.*

Poster n°73: Results of Organic Residue analyzes of Commercial Amphorae from Parion (Canakkale, Turkey)
AKKAS

SESSION 2.1 : ÉVOLUTIONS, FLUCTUATIONS ET BASCULEMENTS DES ÉCOSYSTÈMES PASSÉS : SUCCESSIONS ÉCOLOGIQUES, FORÇAGES CLIMATIQUES ET ANTHROPIQUES

Poster n°74: Éco-anatomie du bois d'arbusier (*Arbutus unedo*) : approche exploratoire pour une meilleure caractérisation des formations ligneuses holocènes à Ericacées en Corse
CAMAGNY *et al.*

Poster n°75: Contexte environnemental du nord du bassin morbihannais du Blavet (56, France)
CHARRETIER *et al.*

Poster n°76: Reconstruction des changements environnementaux et climatiques entre ca 50 - 35 ka et potentiel impact sur les changements culturels des Néandertaliens et des Hommes anatomiquement modernes dans le sud de la France
FOURCADE *et al.*

Poster n°77: Estimer l'impact réel des anciennes populations de montagne sur les forêts. Etude de cas interdisciplinaire en Haute Bléone (Alpes françaises du sud)
GAMBA *et al.*

Poster n°78: Hypothèses d'évolution morphodynamique de la Cadière sur les rives de l'étang de Berre au début de l'Holocène
LEBLÉ *et al.*

Poster n°79: Investigations archéobotaniques autour des sites romains dans l'est algérien
SMAILI

SESSION 3.1 : GESTION DE JEUX DE DONNÉES

Poster n°80: Vers l'élaboration et le partage d'un thésaurus et d'un schéma conceptuel de données de matériauthèque
LEBON *et al.*

SESSION 3.3 : FAIRE, VOIR FAIRE, ANALYSER : LES EXPÉRIMENTATIONS ET LES ENQUÊTES ETHNOGRAPHIQUES EN ARCHÉOLOGIE

Poster n°81: Approche croisée sur les flux d'énergie lors de la mouture du minerai : l'exemple du moulin de Castel-Minier (XV^e s.)
MAQUEDA *et al.*

Poster n°82: La préservation du signal isotopique des céréales archéologiques et mise en place de référentiels d'interprétations
BEN MAKHAD *et al.*

Poster n°83: Les traitements par enduction, une étape de la chaîne opératoire céramique méconnue. Cas d'étude dans le Sud du Sénégal par approches macro-, mésoscopique et moléculaire

TURINI *et al.*

Poster n°84: Frapper Monnaie pendant l'antiquité: Qu'en est-il du procédé de fabrication pour les monnaies en alliages cuivreux?

BODET

Poster n°85: Methodology to evaluate the function of an archaeological artefact as a throwing stick

BORDES

Poster n°86: Apport de l'ethnologie à l'étude des structures de combustion protohistoriques: aspects méthodologiques

HART

Poster n°87: Expérimenter le travail du métal aux périodes néolithique et chalcolithique: élaboration d'un référentiel tracéologique pour les objets métalliques égéens.

MARTIN

Poster n°88: Permanence and change: Technological and experimental analysis of Early and Middle Copper Age ceramic fabrication in Rákócziálfalva microregion (Hungary)

SOLNAY *et al.*

SESSION 3.4: MÉTHODES DE DATATION ET CHRONOLOGIES

Poster n°89: Identification des phases de cristallisation secondaires dans les mortiers de chaux archéologiques par imagerie LIBS et Photoluminescence sous UV en vue de datation par Carbone 14

HERREYRE *et al.*

Poster n°90: La datation 14C des sites du début du Néolithique céramique au Levant Sud: défis, apports et limites

BECK *et al.*

Poster n°91: Datation 40Ar/39Ar haute précision des tectites associées à une industrie bifaciale dans le bassin de Bose au sud de la Chine (sites de Xiaomei et

Fengshudao) et au Vietnam (sites de Go Da et Roc Tung 1)

JOURDAN *et al.*

Poster n°92: La séquence archéologique du Pléistocène moyen de la grotte du Lazaret, France: Nouvelles datations par U-Th et par le paléomagnétisme du plancher stalagmitique supérieur

CHOU *et al.*

Poster n°93: Développements méthodologiques autour de la datation par luminescence (TL/OSL) d'un prélèvement de grès provenant des mines de cuivre néolithiques de Roua (Alpes-Maritimes)

VARTANIAN *et al.*

Poster n°94: Les réseaux d'échanges inter-régionaux en Asie du Sud-Est au 1er millénaire avant notre ère: un cadre chronologique difficile à préciser

DELQUÉ-KOLIČ *et al.*

Poster n°95: Décomposition thermique de mortiers pour la datation au 14C: résultats de l'inter-comparaison internationale MODIS-2.

DUMOULIN

Poster n°96: Discussions chronologiques autour du baptistère de Brioude (Haute Loire). Apport de la modélisation bayésienne par Chronomodel

GAUTHIER *et al.*

Poster n°97: Combiner des âges, des informations stratigraphiques et paléomagnétiques par la modélisation hiérarchique bayésienne

GENUITE *et al.*

Poster n°98: Stratigraphie, Matériaux de construction et Datation de la Mosquée de Sidi Ghanem à Mila en Algérie

HAMIANE

Poster n°99: Comment estimer les temporalités de la métallurgie du fer en Afrique subsaharienne? datations radiocarbones et archéomagnétiques à Aplahoué (sud Bénin)

HERVÉ *et al.*

Poster n°100: Apports de l'approche intégrée dans la définition des temporalités d'un site archéologique Application au site de Chuchuwayha (Colombie britannique, Canada)

DELANNOY *et al.*

Poster n°101: Multiple-scan voltammetry: a successful tool for dating archaeological bronzes

MOEDLINGER *et al.*

Poster n°102: Plateforme nationale LMC14: des analyses C¹⁴ au contrôle qualité

MOREAU *et al.*

Poster n°103: Enquête autour de la sacralisation d'une statue en porcelaine représentant le Bodhisattva Guanyin

NGUYEN VAN *et al.*

Poster n°104: Datation ¹⁴C sur ECHOMICADAS, LSCE, Gif-sur-Yvette: actualisation des protocoles de chimie

PHOUYBANHDYT *et al.*

Thème 1

TRAJECTOIRES SOCIO-ÉCONOMIQUES ET INTERACTIONS

Coordination : Léa Drieu, Louise Gomart

Appréhender les structures sociales du passé implique de saisir les codes partagés et les comportements individuels ayant trait à l'exploitation et à la transformation des ressources naturelles, aux modes de production, de consommation et d'abandon de leurs artefacts ainsi qu'aux mécanismes d'échanges et de mobilité. En contexte archéologique, l'étude intégrée de ces paramètres constitue une clé d'entrée privilégiée pour restituer le périmètre de groupes sociaux et conduire leur analyse anthropologique fine.

Ce premier thème place ainsi les témoins matériels et biologiques des activités humaines au centre des questionnements afin d'appréhender les dynamiques socio-économiques des groupes, ainsi que leurs réseaux d'interactions. Faisant appel à des approches archéométriques multi-proxies et multi-échelles, les sessions proposées explorent les comportements techno-économiques des sociétés du passé : ressources exploitées (minérales, animales, végétales, ...), activités artisanales (traditions techniques, usages, réemplois, ...), modes de subsistance, réseaux de contact et d'échange, pour en révéler les trajectoires spatiales, mais aussi leur relation à l'environnement et son impact sur les modes de vie.

SESSION 1.1 : APPROCHES MULTI-PROXY, MULTI-ÉCHELLE, MULTI-INSTRUMENT... : DÉCLOISONNER L'ÉTUDE DES CHAÎNES OPÉRATOIRES DE PRODUCTION ET D'UTILISATION DES OBJETS POUR RESTITUER LES GESTES DU PASSÉ.

Coordination : Juliette Guibert-Cardin, Léa Drieu, Caroline Hamon

Les objets du passé gardent en mémoire des traces liées aux gestes et aux choix réalisés lors de leur fabrication, de leur usage et de leur devenir post-dépositionnel. Caractérisation des matériaux, étude des systèmes techniques, analyse des traces de fabrication et d'usage, renseignent ainsi sur le cycle de vie des objets, reflétant des choix culturels et les organisations sociales.

La caractérisation des matériaux utilisés et des traces de fabrication et d'usage nécessite le développement de méthodes et de référentiels adaptés aux spécificités des différents matériaux (céramique, lithique, os, métal...) et à la fonction des objets, qui peuvent amener au cloisonnement disciplinaire. Les études les plus fructueuses sont cependant souvent multi-approches. Approches multi-proxies, multi-échelles (macro-, méso-, micro-, moléculaire), multi-instruments d'analyse, permettent de produire des hypothèses complémentaires, de renforcer des interprétations, de nuancer des conclusions, indispensables pour restituer les choix et les gestes du passé. L'interprétation fait également appel à des connaissances complémentaires et indispensables sur les propriétés de la matière première, les processus taphonomiques et d'altération, etc.

Cette session a pour objectif de rassembler des travaux concourant au décroisement des études sur la production et la fonction des objets archéologiques et invite en particulier des présentations et des posters avec des approches multi-échelles, multi-instruments et/ou interdisciplinaires. Un accent sera mis en particulier sur les approches fonctionnelles permettant de documenter les gestes du passé.

Mots-clés : Traces, Résidus, Chaînes Opératoires, Production, Fonctions Et Usages

Investigating and recreating ancient Egyptian mummies black coatings using their ion-metal impurities as internal probes: a study by Electron Paramagnetic Resonance spectroscopy and Ion beam techniques

Océane Anduze^{1,2}, Charles-Emmanuel Dutoit¹, Laurent Binet^{1,2}, Agnès Lattuati-Derieux^{1,2}, Didier Gourier^{1,2}, Hervé Vezin³

¹ IRCP – Chimie-ParisTech, PSL University, CNRS – France

² C2RMF – Palais du Louvre – France

³ LASIRE – Université de Lille, CNRS – France

‘Black matters’ used in Ancient Egypt mummification are a heterogeneous mixture of natural substances which mummies and coffins were often coated with: beeswax, fats, oils, tree resins, animal glues, plant gums and bitumen (1). The bioorganic composition of these ‘black matters’ has already been the subject of numerous studies by Gas Chromatography coupled with Mass Spectrometry (GC-MS) (1).

However, metallic elements at trace levels (about 10-100 ppm) in these ‘black matters’ have never been investigated to our knowledge. These metal traces can be found: a) at the micron scale as locally concentrated impurities in the form of dust particles, trapped in the viscous black coating during the manufacturing process; b) at the molecular scale as impurities diluted in the organic matrix as metal-organic complexes. Both may provide insightful information on the origin, structure and manufacturing processes of Egyptian ‘black matters’ (2-3).

To characterise this complex material, we have been developing an integrated analytical approach with complementary to GC-MS techniques. This methodology was carried out on twenty-two ‘black matters’ samples from Egyptian human and animal mummies and a coffin. We are particularly interested in understanding how trace elements interact with organic components, investigated through ‘black matters’ recreation.

To study dust particles (a), we coupled two non-destructive chemical mapping techniques: Particle-Induced X-ray Emission (PIXE) and Ion-Beam Induced Luminescence (IBIL) at AGLAE facility (Accélérateur Grand Louvre pour l’Analyse Élémentaire). IBIL coupled with the detection of copper-rich grains by PIXE demonstrated the presence of Egyptian blue pigment (cuprorivaite) particles trapped in the ‘black matters’ coated strips of one sample of a human mummy of unknown origin. Bitumen is an important source of transition metal impurities (b), such as vanadium (2) which can be detected under its V4+ form by Electron Paramagnetic Resonance (EPR). Within Egyptian ‘black matters’, vanadyl porphyrin complexes demonstrate the presence of bitumen and give information on its origin, while carbonaceous radicals reveal the presence of fossil organic matter (2-3). This opens up the potential to develop new non-destructive and fast analytical methodologies to analyse bitumen. Electron Nuclear Double Resonance (ENDOR) and pulsed EPR detect the close environment of the metal core and thus allow us to go even further in the molecular structure

understanding. EPR also revealed the presence of oxygenated vanadyl complexes (2) which might result from the interaction of porphyrinic vanadyls with bioorganic components.

Coupled to GC-MS analysis, EPR associated to PIXE-IBIL appear as promising approaches to characterise Egyptian 'black matters' in a non-destructive, multi-scale way. Recreating this material allows us to go even deeper in the understanding of its molecular structure and of the manufacturing process itself.

1. Fulcher, K. *et al.* (2021). Molecular analysis of black coatings and anointing fluids from ancient Egyptian coffins, mummy cases, and funerary objects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(18),1-10.
2. Dutoit, C.E. *et al.* (2020). Nondestructive Analysis of Mummification Balms in Ancient Egypt Based on EPR of Vanadyl and Organic Radical Markers of Bitumen. *Analytical Chemistry*, 92(23), 15445-15453.
3. Dutoit, C.E., Binet, L., Vezin, H., Anduze, O., Lattuati-Derieux, A., & Gourier, D. (2022). Insight into the structure of black coatings of ancient Egyptian mummies by advanced electron magnetic resonance of vanadyl complexes. *Magnetic Resonance*, 3(2), 111-124.

Keywords: EPR, PIXE, IBIL, Egyptian mummification, Black matters, Metal Ions

Approches multi-analytiques et multi-échelles du cercueil de Neskafaâ : vers une meilleure compréhension des cercueils funéraires à fond jaune de la XXI^e dynastie

Louise Chassouant¹, Agnès Lattuati-Derieux^{1,2}, Yannick Vandenberghe¹, Hitomi Fujii¹, Fulbert Dubois, Anais Gailhbaud, Alexandre Beaune, Claire Dard, Agathe Jagerschmidt-Seguin³, Noelle Timbart¹

¹ C2RMF – Centre de Recherche et de Restauration Des Musées de France, Palais du Louvre – France

² Physicochimie des Matériaux Témoins de l'Histoire (partenariat Chimie ParisTech et C2RMF) – Institut de Recherche de Chimie Paris – France

³ Musée de Picardie – Amiens métropole – France

Le projet de restauration de l'ensemble funéraire appartenant au scribe du domaine d'Amon, Neskafaâ, (Troisième Période intermédiaire – fin de la XXI^e dynastie) découvert dans la « cachette des prêtres d'Amon » à Deir el-Bahari (Thèbes Ouest) en 1891, a donné lieu à une approche multi-analytique pour comprendre la genèse et la matérialité du cercueil. La cuve, le couvercle et la couverture de momie ont fait l'objet d'une étude complète en collaboration entre les musées du Louvre et d'Amiens, le C2RMF et des restaurateurs libéraux à travers une approche tant organique qu'inorganique, incluant la nature des pigments et charges de la polychromie (mouana, préparation, sous-couches colorées et couches picturales), la recherche de liants et l'analyse des vernis. Les résultats incrémentent le projet européen Open Sciences « Vatican Coffin Project » consacré à l'étude des cercueils à fond jaune de la XXI^e dynastie. L'imagerie scientifique (lumière visible, Ultraviolet et luminescence Infrarouge) a permis un constat d'état initial, avec localisation des anciennes restaurations, observation du vernis de surface et confirmation de Bleu égyptien. L'étude de la polychromie a été menée par microscopie (optique et électronique), en cathodoluminescence et par diffraction des rayons X. Le fond jaune présente des mises en œuvres différentes : de la calcite colorée par oxydes de fer pour la cuve, tandis que de la huntite est majoritairement observée pour la couverture. Le dessin préparatoire rouge est réalisé avec une ocre riches en oxydes de fer sur l'intérieur de la cuve et le couvercle, à laquelle s'additionne

l'orpiment seulement sur l'extérieur de la cuve. L'analyse du vert révèle l'utilisation d'un pigment de synthèse, autre que le vert égyptien, correspondant initialement à un composé organométallique renfermant chlore et soufre. Les grains présentent une différence de microstructures due à des faciès d'altération différenciés. Les données collectées permettent d'approfondir les hypothèses concernant la fabrication du pigment, toujours indéterminée à ce jour.

La chromatographie (gazeuse et pyrolyse) couplée à la spectrométrie de masse indique des traces de gomme végétale polysaccharidique dans la mouna provenant de fibres végétales nativement présentes. Une gomme est également identifiée comme liant de la polychromie. Un vernis de surface composé de sandaraque et/ou copal recouvert d'une résine acrylique Paraloid datant d'une restauration antérieure ont été identifiés. Étonnement, la matière noire contenue en fond de cuve ne présente aucune trace de bitume ni d'une résine terpénique chauffée.

L'approche multi-proxies, multi-échelles et multi-analytiques révèle une importante hétérogénéité de matériaux et technicités. Les résultats témoignent d'une compréhension fonctionnelle de l'ensemble funéraire à travers les procédés de fabrication, tout en interrogeant la symbolique des matières utilisées. La présence d'une gomme végétale et l'absence de résine triterpénique de type mastic (genre *Pistacia*) au profit d'une résine diterpénique de type sandaraque ou copal (famille Cupressaceae ou Leguminosae) ont été identifiées par des techniques analytiques éprouvées. L'altération des pigments verts pourraient provenir d'une volonté chromatique différentielle, d'une dégradation partielle reliée aux conditions archéologiques ou d'une chaîne opératoire dans l'atelier avec une répartition différenciée de la mise en couleur des différentes parties d'un cercueil.

L'ensemble de ces données seront discutées selon une approche interdisciplinaire décloisonnée associant sciences analytiques et sciences humaines au regard des techniques de fabrication mises en lumière lors de l'étude préalable.

Mots-Clés : Egypte Antique, Cercueil funéraire, Polychromie, GCMS, MEB, EDS, Résidus organiques, Chaîne opératoire, Techniques de fabrication

Etude multiproxy d'une mosaïque pariétale en verre de la villa gallo-romaine de la Grande Boussue à Nouvelles (Mons, Belgique)

Eric Goemaere^{1,2}, Catherine Coquelet³, Thomas Goovaerts¹, Eric Leblois, Thierry Leduc¹, Yves Vanbrabant¹

¹ Service géologique de Belgique (SGB) – Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique – Belgique

² Institut royal des Sciences naturelles de Belgique – Belgique

³ Agence Wallonne du Patrimoine (AWaP) – Belgique

À Nouvelles (Cité des Nerviens), dix-huit campagnes de fouilles menées entre 1964 et 1986 sur un site connu depuis la fin du 19^{ème} siècle ont partiellement mis au jour une vaste villa gallo-romaine « à pavillons multiples alignés ». Ce modèle est répandu dans le Nord de la Gaule. Ses vestiges dessinent un plan rectangulaire de 120 m en largeur et d'au moins 160 m en longueur. La villa a subi une série de transformations s'échelonnant depuis la première moitié du 1^{er} siècle après J.-C. jusque dans le troisième quart du 3^{ème} siècle, époque où elle semble avoir été abandonnée suite à un incendie. L'étude sur les pierres ornementales de la villa (en cours de publication) témoigne de son statut aristocratique tant par

la qualité des décors que par les variétés et les origines des matériaux (pierres locales, pierres régionales, nombreux marbres méditerranéens et imitations). Dans une couche de destruction d'une pièce sur hypocauste créée/aménagée/ au 3^{ème} siècle, 1570 tesselles en pâte de verre (ensemble exceptionnel pour la Gaule Belgique) ont été découvertes en compagnie de revêtements d'applique en pierre. Les tonalités dominantes bleue et verte évoqueraient volontiers un décor naturaliste (aquatique?) ponctué de rouge, de jaune et de blanc, auxquelles s'ajoutent notamment des tesselles en verre incolore à feuille d'or interne. Ces tesselles en verre sont complétées par une minorité de tesselles en pierres (6 types de roches, 4%) ou en terre sigillée (< 0.5%). Les résultats de l'étude interdisciplinaire de 41 tesselles en verre (couvrant toute la gamme colorée) par spectroscopie par dispersion d'énergie (SEM-EDS), μ Spectrométrie Raman et par Spectrométrie d'émission atomique de plasma induit par laser (LIBS) seront présentés. Les objectifs de la recherche multi-instruments concernent la caractérisation physicochimique des verres (recettes et origines) et la détermination de l'origine des couleurs. Nos résultats seront mis en perspective avec ceux obtenus sur d'autres mosaïques romaines européennes. Nous discuterons des apports des différentes méthodes d'analyses testées dans cette étude.

Mots-Clés : Villa gallo-romaine, Cite des Nerviens, Tesselles en verre, EDS, LIBS, μ SRA-man

Couches picturales des céramiques précolombiennes au Costa Rica : étude des techniques de fabrication et des échanges régionaux

Matthieu Ménager^{1,2,3}, Patricia Fernández Esquivel⁴, Paula Sibaja⁵, Camila Hernandez⁶, Silvia Salgado⁴

¹ IRPNC – Aix Marseille Univ, Univ Avignon, CNRS, IRD, IMBE – France

² Centro de Investigaciones Antropológicas, Universidad de Costa Rica – Costa Rica

³ Centre d'Études Mexicaines et Centraméricaines – UMIFRE MEAE, Université de Paris – France

⁴ Centro de Investigaciones Antropológicas, Universidad de Costa Rica – Costa Rica

⁵ Escuela de química, Universidad de Costa Rica – Costa Rica

⁶ Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales, Universidad de Costa Rica – Costa Rica

Les cultures précolombiennes du Costa Rica avaient une grande maîtrise des techniques de fabrication des objets en céramique. De nombreux types de ces céramiques (Jicote, Mora, Altiplano, *etc.*) étaient échangés entre la région Gran Nicoya et la vallée centrale entre 300 et 1100 NE. L'étude des évolutions techniques et des relations commerciales entre ces régions doivent permettre de mieux appréhender les changements culturels profonds se déroulant dans la région de Gran Nicoya aux alentours de 800 NE, étroitement liés aux migrations de populations Chorotega provenant vraisemblablement du centre du Mexique actuel.

Les objectifs de notre travail sont : (i) d'identifier et comparer les matériaux utilisés pour produire ces céramiques, (ii) de déterminer les températures de cuisson et techniques de fabrication des différents centres de production, (iii) de tracer les différents types céramiques à l'aide de l'analyse physico-chimique des engobes. Pour ceci, nous avons utilisé une approche

multi-instrumentale pluridisciplinaire, alliant observations de terrain, données archéologiques, reconstitution de techniques en laboratoires, analyses physico-chimiques et construction de modèles statistiques multivariés.

Nous avons tout d'abord échantillonné et caractérisé 91 matériaux argileux costariciens par fluorescence X, spectroscopie infrarouge et Raman afin de constituer une base de données des matières premières. 22 de ces argiles ont été chauffées en laboratoire à des températures entre 200 et 1100 °C afin de reproduire les conditions de cuisson, et analysées par spectrométrie infrarouge. Les spectres infrarouges ont été prétraités et utilisés pour monter un modèle PLSR permettant la prévision des températures de cuisson avec une erreur de 50 °C. De plus, pour mieux appréhender les techniques d'artisanat, une étude de terrain des matériaux et des procédés de fabrication actuellement utilisés par les potiers de la communauté indigène de Guaitil (Guanacaste, Costa Rica) a été également réalisée.

Finalement, 139 tessons de céramiques archéologiques, provenant de Gran Nicoya ou de la vallée Centrale du Costa Rica, ont été sélectionnés et échantillonnés. Nous avons croisé les techniques de fluorescence X, de microscopie électronique à balayage, de spectrométrie infrarouge et Raman afin d'analyser les pigments rouges, noirs, gris et blancs ainsi que les engobes. Certaines de ces données ont été traitées statistiquement (PCA, HCA) afin d'identifier les empreintes chimiques et techniques de fabrication spécifiques aux différents types de céramique et zones archéologiques. Ces données ont notamment permis de monter un modèle prédictif de type LDA afin de déterminer les centres de production d'une large partie de tessons non identifiables.

Les couleurs de l'engobe et des couches de pigments ont été réalisées en utilisant différentes argiles, oxydes de fer et de manganèse, avec de nombreuses différences liées aux centres de production et aux conditions géologiques locales. Le pigment gris d'un type de céramique de la vallée centrale a notamment été fabriqué en mélangeant des os calcinés, de l'argile et des oxydes de fer, première identification d'une telle technique dans la zone archéologique. Cette étude a notamment permis de mettre en évidence la probable présence de températures de cuisson plus élevées pour les céramiques provenant de la région de Gran Nicoya, et spécialement pour le centre de production potentiellement situé au niveau de la vallée de la rivière Tempisque (Guanacaste, Costa Rica). Ceci pourrait être lié à certaines innovations locales en relation avec la cuisson des céramiques.

Mots-Clés: Pigments, Céramiques, Analyses multi-instrumentales, Statistiques multivariées, Centres de production, Costa Rica.

« La Grande Bouffe » ? Investigating the evidence of feasting during the Late Neolithic in Orkney, Scotland

Julia Becher^{1,2,3}, Oliver E Craig¹, Martine Regert², Mark Edmonds⁴, Card Nick^{5,6}, Anne Mitchell^{5,6}, Roy Towers^{5,6}, Jan Blatchford⁶

¹ Department of Archaeology, BioArCh, University of York – Royaume-Uni

² Université Côte d'Azur, CRNS, CEPAM – France

³ Department of Pre- and Protohistory, Archaeometry Working Group, Institute for Pre- and Protohistory and Medieval Archaeology, Eberhard Karls University Tübingen – Allemagne

⁴ Department of Archaeology, University of York – Royaume-Uni

⁵ University of the Highlands and Islands, Orkney College, Kirkwall – Royaume-Uni

⁶ Ness of Brodgar Trust – Royaume-Uni

Recent excavations in Orkney (Scotland) have revealed a remarkable Late Neolithic complex of large stone buildings contained within a massive stonewall dating between 3200 and 2200 cal. BC. Known as the Ness of Brodgar, the site lies at the heart of one of the largest Neolithic ceremonial complexes in Britain, and is likely to have been a prominent place in the political landscape of the time. Distinctive Grooved Ware pottery vessels were deposited across the site's many structures and spaces. At least some of this pottery is likely to have been used in large-scale communal feasting, while other deposits may reflect the more day-to-day use of vessels for storage, cooking and food consumption.

Previous organic residue analysis (ORA) on Grooved Ware assemblages revealed clear markers for animal fat processing. However, several of these ORA studies made inter-site comparisons based on small sample sets from individual sites. The project aims to investigate intra-site function first by comparing various activity zones within the Ness of Brodgar, such as structures, middens and pits, before comparing on an inter-site scale. The study comprises of over 340 pottery samples, representing the largest dataset collected from a single Grooved Ware site based on organic residues. A total of 250 pottery samples have been analysed so far showing excellent lipid preservation with some sherds also providing adhering foodcrust (n=30). These conditions allowed to apply a combined biomarker and compound specific isotope approach to most samples (GC-MS and GC-C-IRMS) with results showing the evidence of plant, ruminant adipose and dairy processing within the ceramic vessels. This allows us to investigate (1) possible changes in ceramic use over time, (2) possible differences between contexts, (3) the extent to which degree pottery uses reflect the resources available, and (4) if rather rare or specific resources, such as beeswax, oils, resins, or fish, were also being prepared in ceramic vessels.

Keywords : Late Neolithic, Organic Residue Analysis, Pottery, Grooved Ware

Traces of fire and residues of food. A functional approach of cooking vessels from Bronze Age Crete

Evgenia Tsafou¹

¹ Université Catholique de Louvain – Belgique

Cooking vessels constitute an omnipresent category of vessels among the ceramic assemblages of the Minoan (Bronze Age) period on Crete. Despite a late interest in their study, several works have highlighted their important contribution to the better understanding of socioeconomic developments and cultural identities of the related societies. In the case of Minoan Crete in particular, aspects of use and function of the different types of the varied cooking repertoire remain unclear, as well as aspects of the cooking process. Our current research project explores Minoan cooking practices through a functional analysis, aiming at the definition of the function and use of different types of cooking vessels while considering the various cooking processes. By adopting an integrated approach to the study of function and use of cooking vessels, an interdisciplinary methodology proposed, which combines different methods of analysis: the functional evaluation of morpho-technical characteristics, use wear analysis (macro-traces), organic residue analysis, and contextual analysis. Cooking vessels under study are coming from two neighboring Minoan settlements – Sissi and Malia/ Area Pi – that taken as case studies and dated from the Middle and Late Bronze Age periods (c. 1750-1200 BC), providing the first-hand data and allowing a diachronic assessment of the related cooking practices.

The present paper discusses the results obtained from the use-wear analysis specifically, which has identified different kinds of use traces on the different types cooking vessels. On the basis of the distinction of this wide range of traces, different aspects of cooking techniques are interpreted, shedding new light on the relation between the cooking vessels and the heat source (position and temperature of cooking) as well as on the nature of content cooked. In addition, the results obtained from the organic residue analysis of the vessels contents, which has combined molecular and microbotanical analytical methods, are integrated to the various reconstructed aspects of use of the different types of cooking vessels. Finally, the paper will briefly consider the sociocultural behaviors that can be inferred from this reconstruction of cooking techniques and practices.

Keywords: Functional Analysis, Cooking Vessels, Use Wear, Residue Analysis, Bronze Age, Minoan

Eclairer les pratiques alimentaires au Néolithique : apport combiné de la tracéologie et des microrésidus botaniques appliqués aux outils de broyage des premiers agriculteurs en Bassin parisien

Caroline Hamon¹, Clarissa Cagnato², Aline Barbier-Emery³, Aurélie Salavert⁴

¹ Trajectoires – Université Paris 1 – CNRS : UMR8215 – France

² Archéologie des Amériques – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, CNRS, UMR8096 – France

³ TEMPS – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, CNRS, UMR 8068 – France

⁴ Museum d'Histoire Naturelle – CNRS : UMR 7209 – France

Les pratiques alimentaires constituent des questions clés pour discuter des identités culturelles des sociétés passées et présentes. En archéologie, la question de la transformation et de la consommation des végétaux a généralement été abordée par des approches complémentaires, qui incluent notamment l'archéobotanique et l'étude des restes organiques dans les contenants céramiques. En combinant l'analyse des traces d'utilisation sur les outils de broyage et l'étude de restes microbotaniques (grains d'amidon et phytolithes), il est possible d'explorer une autre dimension des caractéristiques et du rôle de la transformation végétale dans des contextes du Néolithique ancien du Bassin parisien (5100-4900 av. J.-C.). Cette approche intégrée permet de limiter les biais méthodologiques inhérents à chaque type d'analyse prise indépendamment. Elle propose également une vision plus complexe qu'initialement envisagée concernant la fonction et les cycles de vie des outils de broyage dans la préparation quotidienne des plantes. Parallèlement à la transformation dominante des céréales et des légumineuses, les tubercules et les rhizomes semblent avoir été régulièrement broyés sur des meules. Différentes étapes de la transformation des plantes ont également été mises en évidence, comme le décorticage, la cuisson et la germination. D'autres indices pointent vers la transformation des écorces et des fougères, connues pour leurs propriétés médicinales variées. Ces résultats et les questions méthodologiques qui s'y rapportent soutiennent les discussions concernant le conservatisme ou les innovations possibles dans les pratiques alimentaires végétales des agriculteurs du Néolithique ancien d'Europe de l'Ouest.

Mots-Clés : Néolithique, Tracéologie, Grains d'amidon, Phytolithes, Pratiques alimentaires

Du métal à la Fabrique : approche multi-indicateur pour caractériser les productions métalliques protohistoriques des Alpes méridionales

Romain Bussone^{1,2}, Olivier Grauby³, Zuzana Fekiacova⁴, Alain Véron⁴, Franck Suméra⁵

¹ Géosciences Montpellier – Université Montpellier – CNRS – France

² ASM, UMR 5140 – Université Paul-Valéry – Montpellier 3, CNRS, MCC – France

³ CINaM – Aix Marseille Université, CNRS, UMR7325 / UPR3118 – France

⁴ CEREGE – UMR7330 – France

⁵ Aix-Marseille Université – CNRS, CCJ – France

La fouille du sanctuaire gaulois de la Cime de Tournerie (Roubion, Alpes-Maritimes) a livré un important mobilier métallique en alliage cuivreux (VIe – IIIe BCE). L'hypothèse de l'utilisation de minerais de cuivre locaux pour la confection de ces artefacts devait être vérifiée. En effet, des indices de l'existence d'une métallurgie protohistorique locale ont été identifiés à proximité de gisements localisés dans un rayon de 20 km du sanctuaire. Au pied des mines de Roua (Dôme de Barrot) des déchets de fonderie en alliage cuivreux et des objets protohistoriques (Bronze Final – âge du Fer) ont été retrouvés en dehors de tout contexte archéologique. Parmi ceux-là, certains sont contemporains du fonctionnement du sanctuaire : ils renvoient à une sphère culturelle circum-alpine. Le métal d'artefacts similaires provenant de contextes archéologiques des Hautes-Alpes a été comparé à celui des objets et des minerais des Alpes-Maritimes.

L'objectif de cette étude est d'identifier la variabilité des sources de cuivre et des modes de fabrication pour des objets appartenant à une même typologie ou à un même site. Pour mener à bien cette enquête, les objets et déchets de métallurgie ont été analysés et classés en fonction de leur typologie, de leurs caractéristiques techniques, de leurs compositions et de leurs empreintes isotopiques.

Les stigmates résultants des étapes métallurgiques ont été observées au MEB. L'homogénéité de la matière et la nature des microstructures analysées trahissent les principales étapes de fabrication : coulées, recuits et déformation plastique. La composition élémentaire (MEB-EDS) du métal livre quant à elle la recette utilisée par l'artisan métallurgiste pour fabriquer l'alliage, mais aussi la nature des principales impuretés apportées par le minerai.

Les empreintes isotopiques du plomb et du cuivre ont été analysées (MC-ICP-MS) pour plusieurs artefacts et sur le minerai du Dôme de Barrot. Les isotopes du cuivre ont été expérimentés pour tracer plus précisément le minerai de cuivre natif des mines de Roua. Les empreintes isotopiques du plomb ont été interprétées en prenant en compte la diversité géologique des gisements des Alpes méridionales.

À travers l'analyse de ces indicateurs, nous mettons en évidence l'existence d'une métallurgie locale complexe. Plusieurs résidus de métallurgie se sont révélés être des lingots, de faux lingots (faux-monnaillage) ou encore des déchets de métallurgie en cours de recyclage. Les

productions métalliques locales présentent des traits communs avec différents artefacts alpins de l'âge du Bronze final et de l'âge du Fer. Il existe cependant au sein de sous-ensembles typologiques analysés des différences techniques ou de composition qui trahissent l'existence de différentes pratiques ou qui signent des productions asynchrones.

L'empreinte isotopique des artefacts échantillonnés est compatible avec les minéralisations sulfurées d'âges alpins et varisques du pourtour méditerranéen. Cependant l'usage du cuivre natif de Roua est à exclure pour la majeure partie d'entre eux. Nous posons l'hypothèse de l'existence d'une extraction d'autres mines locales en nous appuyant sur la métallogénie des gisements et sur l'analyse spatiale des mines et des artefacts.

L'étude conclue à l'impérieuse nécessité d'analyser les petits gisements cuprifères pour enrichir les référentiels isotopiques des sources de cuivre anciennes. En effet, les micro-gisements comme ceux de Roua, exploité depuis le IV^e millénaire BCE (Bussone *et al.* GMPCA2023), constituent un important réservoir minéralogique pour les sociétés protohistoriques.

”Investir L’Avenir” : LabEx ARCHIMEDE, ANR-11-LABX-0032-01

Mots-Clés: Métallurgie du cuivre, Protohistoire, Traçabilité, Production, Technique, Microstructures, Chimie élémentaire, Isotopes Cu, Isotopes Pb

Set in stone: exploring the materials and techniques of funerary inscriptions from the Siracusa catacombs

Alessia Coccato¹, Germana Barone², Ilenia Gradante¹, Paolo Mazzoleni², Jonathan Prag¹, Simona Stoyanova¹

¹ Faculty of Classics, University of Oxford – Royaume-Uni

² University of Catania, Department of Biological, Geological and Environmental Sciences – Italie

In the framework of the interdisciplinary ERC-funded project “CROSSREADS – Text, materiality and multiculturalism at the crossroads of the ancient Mediterranean” (Grant agreement No. 885040), a multi-scale and multi-analytical approach is applied to inscriptions from the catacombs in Siracusa, which offer a particular case study. The Christian community was active from the 3rd century AD until the late 6th, spanning periods of persecution and Siracusa's rise to prominence as an important centre in Byzantine times. Most funerary inscriptions in the catacombs are stone plaques embedded in mortar, while engraved and/or painted mortars are rarer. Both Latin and Greek texts are present, of varying length: the name of the deceased, the formula “here lies”, age, Christian symbols, etc.

The study of ancient inscriptions has traditionally focused upon the textual content, and to a lesser degree their monumental and public contexts. Here, besides understanding the epigraphic evidence as text, and its role in the documentation of the community, material aspects are also being investigated, considering both the support and the polychromy, if preserved. Re-use of architectural and decorative elements is widely observed, as well as of older funerary inscriptions, attested by a number of double-sided texts. Polychromy is found both as rubrication and in the background.

A first characterization of the materials is ongoing through a fully non-destructive approach based on portable X-rays fluorescence (pXRF) and in situ digital microscopy, with different illumination sources. When rubrication is preserved, pXRF is applied in situ, while a dry cotton-swab is used to collect minute fragments of the pigmented layer for micro-analyses in the laboratory (micro-Raman spectroscopy). Finally, in addition to the materials characterization, the acquisition of high-magnification, high-resolution images allows exploration of different steps of making an inscription.

This interdisciplinary approach will allow us to better understand the production workflows for funerary inscriptions in the catacombs, particularly in view of the complex re-use and repurpose nature of the inscriptions in this site. Particularly with opisthographic headstones we will be able to compare not only the textual features of the two inscriptions (one on each side of the slab) but also the writing techniques employed, presence or absence of rubrication, type of rubrication, traces of layout planning left by the stonecutter, the use of particular script (which could have implications on the dating of the inscription, as well). Only by combining analysis of all these aspects of an ancient inscription can we understand more comprehensively the cultural and production habits manifested in the funerary epigraphy in the Siracusa catacombs. The roles played by choice of materials in the human interaction with such objects, whether in their visual and physical settings, or in the actual processes of creation has been far less studied, and this project, combining historical, linguistic, palaeographic, and archaeometric analyses aims to foreground this aspect.

Keywords: Archaeometry, Funerary epigraphy, Sicily

Bacterial corrosion of cast bronzes in anaerobic sea water

Giorgia Ghiara¹, Paolo Piccardo^{2,3}, Flavia Boragina²

¹ Università degli studi di Milano, Dipartimento di scienze e politiche ambientali (ESP) – Italia

² Università di Genova – Italia

³ Archéosciences – Bordeaux – Université Bordeaux Montaigne, CNRS, UMR6034 – France

Archaeological bronze statues discovered in both fresh and marine water often appear in an excellent conservation state, with little or no evident corrosion. The black colour and the nature of the patina formed seems to be related to the presence of superficial copper sulphides. Their formation could be connected to: i) an intentional patination; ii) the occurrence of specific anaerobic conditions and the presence of bacteria. It is thus well known that microorganisms can survive and thrive in anaerobic conditions and in presence of copper alloys exploiting sulfur (cathodic half reaction) and the metallic matrix (anodic reaction) as alternate sources of carbon promoting the precipitation of copper (I) and (II) sulfides.

In this perspective, this study aims to characterize the effect of anaerobic bacteria on replicas of bronzes with specific compositions (CuSn10, CuSn10Pb5, CuSn3Pb5Zn3) reproducing those of classical statuary buried in seawater.

Samples were produced by casting, cut into small sizes, and suitably prepared for the ageing test. Seawater with bacteria (SWB) was directly collected from the Genoa harbour and used for the experimentation after deoxygenation. In addition, blank conditions (without living bacteria- SW) were set up after sterilization of the solution.

Electrochemical tests such as potentiodynamic polarization (POL) and electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) were carried out using a standard three electrode cell with the sample as the working electrode (WE), an Ag/AgCl as the reference electrode (RE) and a platinum mesh as the counter electrode (CE). The tests in anaerobic conditions (SW and SWB) were repeated three times to have a reproducibility of the results. Post experiment analyses were carried out through scanning electron microscopy (SEM-EDS) and X-Ray Diffraction (XRD). By simulating the conditions of an anaerobic marine environment through electrochemical methods, it was possible to obtain patinas with a composition and appearance very close to those analysed on submerged objects. Furthermore, all carried out tests and analysis have shown how the environment enriched in microorganisms allows the production of a passive patina that slows down the anodic reaction. It is hypothesized that the presence of sulphate-reducing bacteria (SRBs) catalyses the precipitation of more protective compounds (*e.g.*, CuS) that limit the kinetics of corrosion.

Keywords: Casting, Bronzes, Statues, Corrosion, Anaerobial, Sea water, Experimental approach, Electrochemistry

Métallurgie des haches du Bronze Moyen : les premiers résultats de l'étude sur le mobilier métallique de Bény-sur-mer

Paolo Piccardo^{1,2}, Mareva Gabillot³, Céline Lagarde-Cardona⁴, Noemi Vassallo², Camilla Criaco², Roberto Spotorno²

¹ Archéosciences – Université Bordeaux Montaigne, CNRS, UMR6034 – France

² Università di Genova – Italie

³ Archéologie, Terre, Histoire, Sociétés – MCC, Université de Bourgogne, CNRS, UMR6298 – France

⁴ Conseil départemental Dordogne-Périgord – Direction Générale Adjointe de la Culture, de l'Éducation et des Sports, Direction de l'Archéologie et du Patrimoine – Service Départemental de l'Archéologie – France

Un riche corpus de haches à été retrouvé près de Bény-sur-mer (1). Le dépôt n'est constitué que de haches à talon se rapportant au Bronze moyen, totalisant 182 objets dont l'état physique est variable, pour une masse de 68 kg. Il comporte 174 haches entières, 5 fragments, 3 pièces entières cassées en deux, 44 objets ayant subi un geste de « sacrifice » (un coup porté le plus souvent au tranchant qui rend l'objet inutilisable mais qui laisse ouverte la porte pour une explication originale), 82 individus prêts à l'emploi et/ou déjà utilisés mais encore fonctionnels, et 100 pièces non fonctionnelles (brutes et/ou sacrifiées), 52 sont potentiellement « préparables » pour un usage normal (brutes). Les haches étudiées sont 19 et nous ont permis de prélever un microéchantillon pour mener une étude métallurgique complète

visant à fournir des informations sur les alliages, sur les choix de mise en forme et sur l'état de conservation. Les haches peuvent se distinguer par la teneur en Sn et par la présence d'évidences de cycles de déformation et recuit. Des détails sur des haches particulièrement riches en Sn ont permis de formuler quelques hypothèses sur leur présence dans le corpus. À la suite de l'étude des répliques ont été produites en laboratoire pour mieux comprendre certains détails révélés par l'observation au microscope.

1. Dominique Cliquet, Maréva Gabillot et Claude Escolano, « Bény-sur-Mer – La Grande Hache » (notice archéologique), ADLFI. Archéologie de la France – Informations (En ligne), Normandie, mis en ligne le 04 juin 2021, consulté le 16 octobre 2022. URL: <http://journals.openedition.org/adlfi/74568>

Mots-Clés: Métallurgie, Haches, Age du Bronze, Bény-sur-mer, Etude technique, Manufacture

Multi-analytical investigation of ceramic productions from Formative Mesoamerica to reassess the influence of Chupícuaro culture in the Basin of Mexico

Fanny Alloteau¹, Ayed Ben Amara¹, Nadia Cantin¹, Alejandra Castañeda²,
Véronique Darras²

¹ Université Bordeaux Montaigne – Archéosciences Bordeaux, CNRS, UMR 6034 – France

² Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – ARCHAM, UMR 8096 – France

Little is known about the social, cultural and economical relationships between Central Mexico and Western Regions during the Middle and the Late Formative Periods (600 BCE – 250 CE). The Chupicuaro culture is known as one of the most dynamic Formative traditions in Western Mesoamerica, notably through its well-polished ceramics combining complex shapes, shimmering colours and diversified iconographic motifs. The forcefulness of the Chupicuaro pottery tradition seems to have influenced the ceramic productions of the Basin of Mexico, or to have been the source of local imitations and reinterpretations. The CHUPICERAM project (2021-2024), financially supported by the French National Research Agency, aims to clarify the nature and intensity of these relationships, focusing on ceramic materials from Chupicuaro culture and from Cuicuilco culture – a cultural core of the Basin of Mexico. The project follows a comparative and interdisciplinary approach, bringing together Mexican and French scientific teams. By cross-referencing the analytical results, we attempt to establish stylistic, technical and compositional groupings that will make it possible to formulate hypotheses on the manufacturing processes and sources of supply of raw materials in the diachrony and for both Chupicuaro and Cuicuilco cultures. In a first phase, we focus on ceramic sherds from different archaeological sites and different periods of the Chupicuaro culture (Chupicuaro and Mixtlan Periods). From the corpus of over 180 sherds, archaeological groups have been established on the basis of the patterns and colours of the decorations and of the shapes of the sherds. We used non-invasive analytical methods, such as hyperspectral imaging for the characterisation of the decorations and p-XRF spectroscopy for the analysis of trace elements in the ceramic pastes and in the

sediments. In parallel, polished cross-sections were prepared from a reduced number of sherds for morphological and quantitative compositional analyses under SEM-EDX. All the ceramic pastes are identified as non-calcareous ($\text{CaO} < 2.5 \text{ wt}\%$). Our first results show compositional differences in the diachrony (Chupicuaro sherds versus Mixtlan sherds) of these ceramic pastes, both for major elements (Na, Al) and trace elements (Rb, Zr). Regarding the decorations, whatever the period, they consist of a mixture of clay and iron oxides for the reds, and of clay, iron oxides and manganese oxides for the black/café ones. The clayey beige decorations are rich in calcium, while the white ones resemble the ceramic pastes in term of composition. Those results will be the focus of the present communication. They will be soon complemented by mineralogical data using Raman spectroscopy, XRD and petrographical analyses. In addition, a comparative analysis with geological samples from nearby sites and also with ceramic replicas fired from these samples is planned for provenance studies.

Keywords: Chupicuaro culture, Painted ceramics, Geological samples, Production technology and provenance study

The first insights into the function of stone tools and food preparation techniques in FBC northern Germany- multiple evidence from micro-botanical remains

Jingping An¹, Jan Piet Brozio¹, Johannes Müller¹, Wiebke Kirleis¹

¹ Institute of Pre- and Protohistoric Archaeology, Kiel University – Allemagne

Ever since Vere Gordon Childe (1936) introduced the concept of the 'Neolithic Revolution', prehistorians have been aware of the crucial importance of food in all its social dimensions for the understanding of prehistoric developments. The reconstruction of ancient food practices holds a key role not only to unlock the mysterious recipes of prehistory but also to inform about human behaviors, culinary preferences, cultural identities, and even socio-ecological dynamics of past social transformations. However, due to the perishable nature of plant food, food study has long presented major difficulties to archaeologists and thus limited their contribution to the growing discipline of food studies. Until recently, methodological approaches toward food topics are largely dominated by archaeobotany. In the archaeobotanical evaluation of one settlement site, plant species are regularly determined and quantified on the basis of macro-botanical remains, thus mainly shedding light on the cultivated species of cereals. Due to this, the importance of cereal consumption is easily over-emphasized through its most-well preservations in the recovery of macro-botanical remains, while the contribution of other invisible plant resources (the others), including non-grain plant parts of leaves, stems, and inflorescences and underground storage organs of roots, tubers, corms, and rhizomes, are readily under-presented. The Neolithic Age in northern Germany is mainly characterized by two episodes of intensified monumental burial construction of Funnel Beaker megaliths (c. 3600-3200/3100 BC) and Single Grave burial

mounds (c. 2800-2500 BC), and one period of 'Dark Ages' (c. 3100-2800 BC). Among all the archaeobotanical efforts that have been invested into answering the booms and busts of ritual activities, the interlinkage of local cereal production and monumental erections is particularly well discussed while the role of 'the others' is overlooked. The approach of plant microfossil analysis on food-processing tools, especially of grinding querns and grinders and pounding mortars and pestles, is opening a major inroad to assess the contribution of 'the others' in ancient diets. However, being archaeologically classified as 'left-over category', Funnel Beaker Culture (FBC) stone tools recovered from northern Germany have been under little attention. In this research, an opportunity is offered to take a glimpse at FBC food practices through both phytolith and starch grain analyses on 18 grinding stones and 4 whetstones from one of the most well-excavated FBC sites – Oldenburg-Dannau LA 77. In light of the new data that emerged from this study, the results successfully propose a more complex vision than initially expected regarding FBC plant food. Together with the dominant processing of cereals, 'the others' of wild grass seeds, tubers, rhizomes, and minor legumes appear to have been regularly ground on stone tools. Different steps in plant food preparation are also evident, such as possible thermal treatment, dry or/and wet milling, and (accidental) sprouting. With dual evidence, these results support discussions regarding possible vegetal food practices of the Neolithic farmers inhabiting northern Germany during the first wave of intensified monumental burial construction of Funnel Beaker megaliths.

Keywords : Food processing, Stone tools, Noncereal plant food, Food preparation techniques, FBC Culture, Multiple microbotanical remains

La redécouverte d'une sculpture monumentale réalisée par galvanoplastie : Apollon sortant du zodiaque ou Génie de la science de l'Observatoire de la Côte d'Azur, Nice

Aurélia Azéma¹, Marion Brunet¹, Plasson Nicolas², Clémence Durst³, Marion Leymarie⁴

¹ LRMH, Champs-sur-Marne, France – CRC UAR 3224, MNHN – France

² SOCRA-Société nouvelle de conservation et de restauration archéologique – CRC-LRMH – France

³ Service Culture et Patrimoine, Observatoire de la Côte d'Azur – CRC-LRMH – France

⁴ Madelenat Architecture – CRC-LRMH – France

L'Observatoire de la Côte d'Azur de Nice est constitué d'un vaste ensemble de bâtiments construits entre le XIX^e et le XX^e siècle à l'initiative et grâce au support de Raphaël Bischoffsheim. L'abri de la grande lunette équatoriale a été édifié tel un temple dédié à la Science, entre 1884 à 1887, avec la collaboration de l'architecte Charles Garnier et de l'ingénieur Gustave Eiffel. Son entrée principale est surmontée d'une statue monumentale métallique représentant le « Génie de la Science « ou l' » Apollon sortant du Zodiaque « réalisée par les ateliers Christoffe, sur le modèle du sculpteur Paul-Armand Bayard de la Vingtrie.

Depuis son installation, les infiltrations ont altéré la sculpture dont certains éléments menaçaient de chuter. Les travaux de restaurations devenaient nécessaires. Combinés avec des recherches en archives, ils ont permis de redécouvrir l'histoire de cette œuvre. Qualifié de bronze coulé ou de cuivre martelé dans de nombreuses références, la sculpture en ronde-bosse a en réalité été élaborée en cuivre selon le procédé de galvanoplastie. L'usage de cette technique de mise en forme du cuivre, appliquée à la création de sculptures monumentales, semble avoir connu son essor entre la fin du XIX^e et le début du XX^e (sculptures du groupe d'Apollon et des renommées dorées ornant les toits de l'opéra Garnier, portes de l'église Saint-Augustin de Paris), mais son histoire technologique apparaît peu étudiée. Elle faisait concurrence à la technique de martelage du cuivre largement employée dans les créations des ateliers Monduit (sculptures de la flèche de Notre-Dame de Paris, de la flèche de la cathédrale Sainte-Bénigne de Dijon, la statue de la Liberté...). La sculpture d'«Apollon sortant du zodiaque» se compose de six pièces principales assemblées par brasage (alliage plomb-étain) et localement renforcées par des vis et des rivets. Chacune de ces pièces est constituée d'une paroi de cuivre d'épaisseur régulière (3-4 mm) doublée d'une couche de plomb et est ponctuellement associée à une armature en acier qui vient renforcer l'ensemble. L'étude de coupes métallographiques transversales de la paroi permet de distinguer les différentes étapes de croissance de la couche de cuivre lors de la création de l'œuvre, mais aussi les zones de fragilité au sein desquelles les altérations se développent préférentiellement. La question de l'aspect d'origine de la sculpture a en outre constitué un enjeu déterminant dans l'orientation des travaux de restauration. Les observations réalisées lors de l'étude préalable ont mis au jour des restes d'un revêtement jaune, principalement localisés sur la pièce du zodiaque et pouvant être associés à une préparation à la dorure à la feuille. Elles ont été complétées par des analyses conduites en atelier à l'aide d'appareillages portable (microscopie optique, spectrométrie de fluorescence X) dont les résultats ont démontré que l'ensemble de l'œuvre avait effectivement été doré à la feuille, et que des rehauts avaient été appliqués au niveau des plumes des ailes afin de donner du relief à l'ensemble. Les travaux de restauration réalisés grâce au mécénat de la fondation Samartin ont rendu toute sa lumière au « Génie de la science », tant dans le paysage niçois que dans son histoire technique.

Références :

SOCRA, 2019. Nice. Observatoire de la Côte d'Azur. Grand Equatorial. Statue d'Apollon. Dossier d'étude, 36 p.

Mots-Clés : Dorure, Sculpture monumentale, Galvanoplastie, Restauration

Une caractérisation multi-échelle d'une « intrigante masse de fer » retrouvée au sommet du puy de Dôme, sur le site du Temple de Mercure

Marion Berranger¹, Pierre Boivin², Bertrand Dousteysier³, Albert Jambon⁴, Didier Miallier³

¹ IRAMAT – Laboratoire Métallurgies et Cultures, UMR 7065 – France

² OPGC, CNRS, Université Clermont Auvergne, UAR 833 – France

³ Université Clermont Auvergne – MSH Clermont-Ferrand, UMS 3108 – France

Le sanctuaire dit de Mercure, situé au sommet du puy de Dôme, à 1450 m d'altitude, a été étudié dès la fin du XIX^e et au début du XX^e s. par L.-C. Bruyère et G. G. Ruprich-Robert, architectes des Monuments Historiques et A. Audollent, professeur à la faculté des lettres de Clermont-Ferrand. En 1901, une très grosse masse de fer, de forme ovoïdale et de section plano-convexe a été mise au jour dans une tranchée de fouille située à l'est du temple (Audollent 1901). Ses dimensions (environ 85 cm de diamètre sur 48 cm de haut) ainsi que sa masse (470 kg) imposantes posent immédiatement la question de sa nature. S'agit-il d'un agglomérat de produits ferreux soudés suite à un incendie? S'agit-il d'une météorite? Immédiatement transporté au musée Bargoin à Clermont-Ferrand, ce n'est que récemment que cet objet oublié durant plus d'un siècle a été reconnu, inventorié et a pu subir une analyse multi-échelle destinée à mieux l'interpréter.

En complément de l'approche macroscopique, des acquisitions photogrammétriques ont permis de préciser son volume. Dans un premier temps, une analyse chimique en éléments majeurs a été entreprise sur la matrice métallique et a permis d'exclure l'hypothèse d'un fer météoritique. Dans un second temps, une étude au microscope optique a été réalisée sur deux prélèvements périphériques et a mis en évidence sa structure et sa composition, caractéristique d'un métal issu d'un bas fourneau de réduction directe. Plusieurs datations radiocarbone ont été réalisées, sur un fragment de charbon piégé dans les oxydes périphériques, et par extraction de la cémentite présente dans le métal. L'ensemble de ces données permet à présent de préciser que cet objet ne constitue pas un agglomérat de produits hétérogènes, mais qu'il s'agit bien d'une masse de métal brut issue d'un bas fourneau. Elle est datée de l'Antiquité. Ce type de produit destiné à être transformé en objet et trahissant le savoir-faire exceptionnel d'artisans est très rarement documenté sur le plan archéologique. L'exemplaire du site du puy de Dôme correspond-il à un *unicum* ou de telles masses de métal pouvaient-elles être produites régulièrement durant la période Antique? Le contexte culturel de découverte est-il déterminant pour expliquer le caractère exceptionnel de la découverte? Quelques hypothèses seront formulées sur la base de l'exploitation de la documentation archéologique disponible ainsi que sur l'architecture de bas fourneaux contemporains.

Audollent A., 1901. Note sur les fouilles du Puy-de-Dôme. In: *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 46^e année, N°3, 299-316.

Mots-Clés: Archeoméallurgie, Photogrammétrie, Métallographie, MEB, EDS, Radiocarbone

Use of organic container and other plant-based artefacts during the Early Neolithic of Spain

Ingrid Bertin^{1,2}, Isabelle Théry-Parisot¹, Raquel Piqué², André Carlos Colonese³

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

² Departament de Prehistòria, Universitat Autònoma de Barcelona – Espagne

³ ICTA and Department of Prehistory, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra – Espagne

Artefacts made from plant materials are exceptional evidences of the biodegradable productions of prehistoric populations. This research aims to provide new data on the manufacturing process, from the choice of materials to the use of plant artefacts during the Late Mesolithic and Early Neolithic in the Western Mediterranean (Spain).

These artefacts have been studied mainly through dendrology to assess plant resource management, material technology, as well as to reconstruct their original morphology and propose hypotheses on their function. However, the interpretation of functionality through the sole study of the morphology of the object or the traces of use is not sufficient to access their function or their content. The study of superficial organic residues resulting from the use and reuse of an object can shed new light on the direct use of this object, and provide valuable insights into the substances stored, sealed, processed, and treated within them. The application of biomolecular archaeology has rarely been comprehensively applied to prehistoric plant artefacts. This work attempts to fill this gap by combining previous dendrological informations and chemical analyses on objects from La Draga (5300-4900 cal BC) and La Cueva de Murciélagos (VI-V millennium). These two sites have revealed an exceptional concentration of objects made of wood (bowls, spoons, combs, various) or basketry (baskets, table mats) preserved by imbibition or desiccation. Macro and microscopic observations coupled with chemical analysis allow the identification of the material used in the composite artefacts. A strong interest is also given to method development of proteomic analyses applied to archaeological plant material and to consolidated material, which have been rarely explored. The identification of archaeological protein and lipid biomarkers makes it possible to identify the nature of the residues and to know whether they come from animal or plant resources, and in some cases to specify the type of product and its origin (dairy, animal fat, aquatic product, plant leaf waxes, beeswax, resin). Different uses could be highlighted from these results and compared with their assumed function, and actual use of other similar contemporary objects (*e.g.* ceramics) from nearby sites.

Keywords: Direct use, Plant artefact, Proteomic, Lipidomic, Dendrology, Prehistory

Support et instruments : les media de la gravure dans la grotte de Cussac (Dordogne, France)

Émilie Brochard¹, Valérie Feruglio¹, Camille Bourdier², Catherine Ferrier¹, Stéphane Konik^{1,3}, Jacques Jaubert¹

¹ PACEA, UMR 5199 – Université de Bordeaux – France

² TRACES, UMR 5608 – Université de Toulouse II Jean-Jaurès – France

³ Ministère de la Culture, Centre national de Préhistoire – Université de Bordeaux – France

En art pariétal, les outils et techniques choisis résultent d'une interaction physique avec la paroi, intégrée au sein d'un ensemble de codes culturels spécifiques dans le temps et l'espace. L'art pariétal et les choix qu'il revêt, dans ses représentations et dans sa réalisation, peuvent alors être étudiés comme un produit culturel permettant de mieux comprendre et définir les

différents techno-complexes du Paléolithique récent. La question de l'instrumentation de l'art pariétal demeure ainsi centrale, mais se couple aux difficultés méthodologiques d'accès aux parois ornées et du transfert des outils et techniques analytiques employés pour l'art mobilier. À Cussac (Dordogne, France), grotte ornée et sépulcrale gravettienne, les manifestations graphiques relèvent presque exclusivement de la gravure. Ce choix technique est-il volontaire ? Est-il dicté par le support que sont les parois de la cavité ou par les instruments à disposition, ou par les deux simultanément ?

Malgré des observations préalables, tendant à identifier le recours à des outils tendres et durs, à front large, mousse ou aigu, ou aux doigts, les outils demeurent inconnus. Afin de documenter plus précisément les instruments employés dans la cavité, nous avons donc procédé à une lecture technologique (largeur, profondeur, morphologie de la section) des gravures d'un panneau d'étude, le Panneau du Réticulé, constitué de 23 entités graphiques. Les surfaces investies présentent quant à elles une dissolution superficielle du carbonate de calcium du calcaire accentuant le caractère tendre du support et contribuant à la monumentalité des œuvres par la fluidité des gestes autorisés et les grandes étendues disponibles. Pour autant, des interrogations restent en suspens, notamment concernant les propriétés et l'épaisseur de cette altération.

Des tests expérimentaux, basés sur un protocole comprenant quatre paramètres variables (support, instrument, rendu et exécutant), ont été réalisés sur des surfaces comparables à celles de Cussac, sur les parois de la grotte du Pigeonnier, dont l'entrée est située à 500 mètres de cette première. Les reproductions expérimentales des types de gravure observés ont alors permis de définir des stigmates témoins de ces *media* qu'il est possible de retrouver sur le Panneau du Réticulé, objet de notre étude, et sur d'autres panneaux ornés de la cavité. Envisageant les *media* de la gravure, c'est-à-dire à la fois le support et les instruments, par une approche multi-proxies, associant observations de terrain, analyses pétrographiques, outils 3D et tests expérimentaux, l'étude permet d'élaborer et d'éprouver une méthodologie afin de définir une typologie des incisions, et de documenter de potentiels instruments ainsi que la nature des faciès lithologiques choisis.

Mots-Clés : Art pariétal, Grotte de Cussac, Gravettien, Gravure, Technique

Exploring the Early Neolithic food system through the chemical analysis of cooking stones

Margherita Cantelli¹, Xavier Terradas², Didier Binder³, Martine Regert³, Andre-Carlo Colonese¹

¹ ICTA and Department of Prehistory, Universitat Autònoma de Barcelona – Espagne

² Spanish National Research Council (IMF-CSIC) – Espagne

³ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

This research aims at expanding our understanding of the various cooking practices during the Early Neolithic in the Western Mediterranean. Traditionally, Neolithic cooking

technologies have been mostly investigated through the analysis of ceramic artifacts, while other potentially used artifacts such as boiling and cooking stones have received only cursory attention. Without considering other artifacts involved in food preparation this may lead to a biased understanding of prehistoric diets and culinary practices. To address this gap, this study focuses on the combined chemical and morphological analysis of archaeological stones thought to have been used for the preparation of foodstuffs in Early Neolithic sites in the southwestern Europe, La Draga (Spain) and Abri Pendimoun (France).

As part of an ongoing research project, we present a proof of concept on the importance of establishing criteria for the identification of stones used in cooking activities through chemical analysis of absorbed and superficial amorphous residues. This multi-disciplinary approach is conceived to shed light on the varied culinary practices, as well on subsistence resources and prehistoric diet of Early Neolithic societies.

The strategy proposed will lead to the identification of specific patterns on rocks related to heat alteration based on colorimetric data, cracks and fractures, depositional remains and chemical transformation. A correlation between these patterns, the archaeological context and the geology of the stones may indicate food preparation purpose. As a second step, a mass spectrometric approach will be used for the identification of lipid molecules (fats, oils, waxes), using different separation techniques. The identification of lipids along with their respective ratios can potentially indicate the original source, whether this is from terrestrial animal fats, aquatic products, beeswax, resins or plant leaf waxes. Depending on the substances identified, it will also be possible to distinguish culinary activities from other practices.

Keywords : Cooking stones, Early Neolithic, Heat alteration, Lipids analysis

Between the tradition and the innovation : an approach to the introduction of the potter's wheel in the Western Catalan Plain (Catalonia, Spain) during the Early Iberian period (VIth century BC)

Alba Castellano Aragonés^{1,2}

¹ Universitat de Lleida – Espagne

² Grup d'Investigació Prehistòrica – Espagne

In our proposal, we examine the role of pottery production and the spread of the potter's Wheel during the Early Iberian period (VI BC) in the Catalan Western Plain of the Iberian Peninsula. There are no studies that have examined this process in that geographical area. Through a combined approach based on macroscopic and petrographic analyses, we reconstruct part of the *chaînes opératoires* and determine the technological styles in the first wheel-made pottery productions founded in the sites of the Fortress of Vilars, the *oppidum* of Gebut and Tossal del Molinet. The results demonstrate that potters or groups of potters who adapt the wheel-made process shared substantial technological choices and at the same time followed their own *savoir-faire* of producing ceramics, expressed in fundamental technological variability. This evidence suggests that wheel-forming techniques can be more variable than

one would have traditionally thought and that the adoption process of that new technology was according to the modalities of the different social contexts.

Keywords: Potter's wheel, Macroscopic analysis, Petrography, Early Iberian period, Catalan Plain (Catalonia, Spain) during the Early Iberian period (VIth century BC).

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 Chalmin¹, Anita Quiles², Jean-Jacques Delannoy¹, Wafaa Bouits¹, Mike Alison³

¹ EDYTEM – CNRS, Université Savoie Mont Blanc, UMR5204 / FRE 2641 – France

² Institut français d'archéologie orientale du Caire – Égypte

³ Upper Similkameen Indian Band – Canada

Les peintures rupestres de la vallée de la Similkameen (Colombie Britannique, Canada) appartiennent à une large tradition de peintures indigènes d'une région, connue comme étant la plus concentrée en sites d'art rupestre d'Amérique du Nord, avec environ 245 sites. Étudié depuis les années 30 (Teit, 1928) et inventorié depuis les années 50 (Corner, 1949), le site de Chuchuwaya conserve plusieurs dizaines de pictographes dans différentes teintes de rouge et noir et fait l'objet d'une reprise d'étude par une équipe internationale et interdisciplinaire depuis 2015 à l'initiative de la communauté *First Nation* de Hedley. Dans ce projet (financé par la MEAE – Mission archéologique), 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. Le site de Chuchuwaya présente l'intérêt majeur de pouvoir croiser en un même lieu des données archéologiques et des informations environnementales et géomorphologiques sur une longue séquence temporelle. L'un des objectifs en croisant les données de la paroi et des données archéologiques est de pouvoir dater indirectement ces pictographes. Ces peintures 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'étude des matières colorantes constitue ici un fil conducteur d'acquisition de connaissances perdues, comme les sources de matières premières et leurs étapes de préparation. Dans ce contexte, l'étude des matières colorantes est donc conduite pour retracer les trajectoires des matières premières à partir de l'étude du site sacré de Ochre Bluff (Tulammen) situé environ 30 km en amont, mais également d'évaluer la variabilité des pratiques de production de l'acte graphique. Pour étudier les matières colorantes, nous disposons de micro-prélèvements de la paroi pour évaluer la taphonomie de celle-ci, de micro-prélèvements de peintures ainsi que d'échantillons naturels provenant du site de Ochre Bluff. A partir d'une méthodologie multi-échelle et multi-technique, nous sommes en mesure d'accéder à la stratigraphie complexe

de la paroi (granite), de la couche picturale, jusqu'aux différentes couches d'encroustement. 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

De la sélection des ressources à la production d'art rupestre : liens entre fouilles et parois ornées à la grotte aux Points (Aiguèze, Gard, France)

Claire Chanteraud¹, Hélène Salomon², Emilie Chalmin²

¹ University of Missouri Research Reactor – États-Unis

² EDYTEM – Université Savoie Mont Blanc, CNRS, UMR5204 – France

L'art pariétal paléolithique fait l'objet de nombreuses études depuis les premières découvertes du XX^e siècle : étude stylistique, étude anthropologique, datations, technique d'applications, etc. Malgré tout très peu d'études ont mis en évidence des liens directs entre niveaux archéologiques témoins de cultures anciennes et entités graphiques sur les parois, de sorte qu'il est toujours difficile d'attribuer la réalisation de l'art pariétal à une culture de la Préhistoire avec une incertitude raisonnable et d'en discuter les évolutions au cours des temps préhistoriques longs.

C'est particulièrement le cas pour le Gravettien dont de nombreuses représentations sont réalisées avec des pigments minéraux parfaitement indatables en l'état de nos connaissances. Nous avons réalisé à la Grotte aux points une série d'observations minéralogiques et d'analyses géochimiques qui nous ont permis d'établir un lien solide entre matières appliquées sur les parois pour former les entités graphiques et les vestiges colorants découverts dans les sondages archéologiques à l'entrée de la cavité. Ainsi il nous est possible de proposer un scénario pour la réalisation de l'art pariétal depuis la collecte de la matière première jusqu'à l'application des matières sur les parois de la grotte.

Mots-Clés : Matières colorantes, Oxyde de fer, Minéralogie, Géochimie, Art pariétal, Gravettien

Datation et analyses de matériaux appliquées aux revêtements des hippomobiles européens du début du XVIII^e siècle

Marie-Gabrielle Durier^{1,2}, Louise Decq³, Vincent Cattersel⁴, Isabelle Devergne⁵, Anne-Solenn Le Hô^{6,7}, Maria-Anne Privat⁸, Emile Van Binnebeke⁹, Christine Hatté^{1,10}

¹ LSCE – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CEA, Université Paris-Saclay, CNRS, UMR8212 – France

² Centre de Recherche sur la Conservation – MNHN, MCC, CNRS, UAR3224 / USR3224 – France

³ Institut Royal du Patrimoine Artistique, Royal Institute for Cultural Heritage – Belgique

⁴ Universiteit Antwerpen – Belgique

⁵ Restauratrice Oeuvres et objets peints, peintures, dorures et vernis, patrimoine hippomobile, automobile et autres véhicules – France

⁶ C2RMF – MCC, CNRS, UMR171 – France

⁷ Physicochimie des Matériaux Témoins de l'Histoire – Chimie ParisTech et C2RMF – France

⁸ Musée National de la Voiture et du Tourisme, Compiègne, MCC – France

⁹ Musées Royaux d'Art et d'Histoire de Bruxelles – Belgique

¹⁰ Institute of Physics – CSE, Silesian University of Technology, Gliwice – Pologne

Les hippomobiles de la période préindustrielle, objets de luxe ou d'usages dédiés au simple transport, sont le fruit de l'intervention de divers corps de métier ou corporations (menuisiers, charrons, bourreliers, peintres-doreurs-vernisseurs, etc.). Les chercheurs sont aujourd'hui confrontés à des limites méthodologiques lorsqu'il s'agit de documenter l'histoire matérielle d'un objet en particulier car les sources écrites ou iconographiques associées sont souvent soit inexistantes du fait de la longue tradition orale de transmission des savoir-faire dans le milieu artisanal, soit perdues, voire détruites. Plus particulièrement, les techniques de mise en œuvre et les matériaux des revêtements (décor peints, vernis, dorures, etc.) de ces voitures sont peu documentés. Or, ils sont les témoins matériels de l'histoire des différents usages ayant été soumis aux intempéries, aux pratiques d'entretien, à la superposition de décors peints selon les goûts esthétiques des propriétaires successifs ou selon les modes des époques (les pratiques de retraits de couches étant peu communes et exceptionnelles), ainsi qu'aux interventions de restauration au sein des institutions muséales.

Cette étude concerne majoritairement des voitures estimées du début du XVIII^e siècle et issues de la collection du Musée National de la Voiture et du Tourisme (MNVT) de Compiègne et de la collection des Musées Royaux d'Art et d'Histoire (MRAH) de Bruxelles dont l'histoire matérielle est peu connue. Dans un cadre interdisciplinaire, la collaboration de plusieurs équipes de chercheurs de France et de Belgique a permis l'étude matérielle approfondie des revêtements d'hippomobiles préindustrielles couche par couche en s'appuyant sur l'interprétation croisée des données provenant des études historiques et des analyses en caractérisation des matériaux acquises en MEB-EDS et Py-GC-MS. La nouveauté de la stratégie présentée ici a consisté à compléter la datation relative classique des décors par comparaison stylistique, et grâce à la présence de certains pigments/liants, avec la datation absolue des matériaux à l'aide de mesures ¹⁴C. Les études de cas présentées ici permettent d'illustrer la démarche interdisciplinaire et de proposer une étude comparative entre les collections hippomobiles belges et françaises. Après consultation des données historiques et consultation des objets par une restauratrice spécialisée, les revêtements ont été soumis à un micro-échantillonnage (de 0.2 à 5.4 mg) couche par couche grâce à des micro-scalpels permettant d'isoler séparément les couches d'origine et les couches d'interventions estimées plus tardives. Les résultats en caractérisation des matériaux ont montré l'usage constant de liants à base d'huile de lin et de colophane dans les couches dites «originales». Par la suite, l'approche novatrice en datation ¹⁴C a permis d'authentifier l'application de ces couches

lors de la période de manufacture et de mettre en évidence l'impact négatif insoupçonné de certains produits couramment utilisés lors d'interventions de restauration au cours du XX^e siècle, ainsi qu'au XXI^e siècle.

Mots-Clés: Histoire des usages, Datation ¹⁴C, Caractérisation des matériaux, Hippomobiles

A multi-proxy approach to pottery function in Early and Middle Neolithic sites of Sardinia (Italy)

Laura Fanti¹, Léa Drieu², Martine Regert²

¹ Laboratorio di Antichità Sarde e Paleontologia, Università di Cagliari – Italie

² Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR 7264 – France

In many archaeological contexts, pottery sherds are often the only visible remnants of complex technical systems that ensured the management of natural resources and their transformation into culturally defined foods or products. Depending on its physical properties (porosity, hardness), pottery can preserve multiple levels of information, reflecting both the anticipated needs of human groups, translated into morphometrical choices in the vessel fashioning phase, and the actual use-behaviour, recorded as use-alteration traces at different scales, on the surfaces and into the pottery walls: attritions, visible and absorbed residues, and their molecular constituents. The interdisciplinary analysis of these different proxies provides an efficient methodological path towards a deeper knowledge of the activities in which pottery was involved. Conjointly, contextual and spatial data about pottery disposal and abandonment in different types of sites (caves, open-air sites, household settlements and funerary sites) are crucial to evaluate the organisation of activities and the selection of vessels morphotypes for various functional needs. Grounded on these methodological premises, we investigate pottery assemblages from several sites dated back to VI and V millennium cal BC in Sardinia (Italy), an insular region localised in the middle of Western Mediterranean. The aim of this work is to identify possible lines of continuity and the main points of change in the use of pottery, from the initial stage of colonisation and adaptation of the first Neolithic groups in the island, and along the phases of gradual development of agriculture and animal husbandry. Besides vessel morphotypology and morphometry, all the use-related traces are considered, through macroscopic and low magnification microscopic use-wear analysis, biomolecular and compound-specific isotopic analysis of organic residues by GC-FID, GC-MS and GC-C-IRMS. Preliminary results of this study provide the first assessment of the functional categorisation of pottery used by the Early Neolithic groups in the island, apparently guided mainly by storage needs, with rare evidence of the use of cooking pots, though identified in the Cardial phase. Overall, a diverging role of pottery in storing systems and cooking practices emerges between Early and Middle Neolithic, with an increasing integration of vessels into direct thermic processing of products mostly

from the half of the V millennium cal BC, parallelly to a broader spread of farming and ruminant husbandry.

Keywords: Neolithic, Western Mediterranean, Pottery function, Use wear, Organic residue analysis

L'analyse isotopique et moléculaire des matières organiques au sein de la plateforme mutualisée PANOPLY

Caroline Gauthier¹, Christine Hatté¹, Jérémy Jacob¹

¹ LSCE – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CEA, Université Paris-Saclay, CNRS, UMR8212 – France

Le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) est un acteur de longue date œuvrant en géochronologie et en géochimie, notamment isotopique. Il contribue notamment aux recherches scientifiques en paléoclimatologie, et paléoenvironnements, en archéologie et plus généralement sur les reconstitutions des interactions passées entre l'homme et son environnement, mais aussi en environnement (sciences du sol, cycle du carbone...). Le LSCE et le laboratoire de Géosciences de Paris-Saclay (GEOPS) ont mis en commun leurs instruments, leurs expériences et leurs savoir-faire au sein de la Plateforme Analytique Géosciences Paris Saclay (PANOPLY). Les instruments de géochimie organique moléculaire et isotopique du LSCE sont intégrés dans cette plateforme PANOPLY, elle-même intégrée dans le Réseau Géochimique et Expérimental Français (RÉGEF), à travers les sous-réseaux organiques (GEOF) et isotopie stable (IRMS). Elles sont tout particulièrement dédiées à l'identification, la quantification et l'évaluation isotopique de la matière organique contenue dans des échantillons de diverses natures (sols, sédiments, loess, contextes archéologiques, artefacts, os, végétaux, résidus organiques...).

L'ensemble de ces analyses permet de répondre à de nombreuses questions relevant, par exemple, des modes de subsistance, de la gestion des ressources, des pratiques agricoles, des migrations, des cadres climatiques, environnementaux et chronologiques des interactions entre les sociétés et les milieux. Elles sont également appliquées à des questions environnementales ou de forensique.

Le couplage EA-IRMS permet de déterminer la composition élémentaire (C et N) et isotopique ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) de la matière organique. Ces analyses constituent le socle de la plupart des études paléoenvironnementales, paléoclimatiques, archéologiques et environnementales réalisées au laboratoire et en collaboration. Par ailleurs, ces analyses élémentaires sont un préalable nécessaire en amont d'autres analyses. Par exemple, le %C de nos échantillons permet de dimensionner la prise d'essai pour les datations ^{14}C .

Les analyses de géochimie organique moléculaire et isotopiques permettent i- l'identification et la quantification de biomarqueurs spécifiques grâce à un couplage GC-MS et ii- l'analyse isotopique en carbone, hydrogène et azote de biomarqueurs spécifiques grâce à un couplage GC-IRMS. Ces équipements sont complétés par une GC préparative avec collecteur de

fractions qui permet, suite à l'identification et à la quantification des biomarqueurs dans un échantillon, de purifier un composé spécifique en quantité suffisante pour envisager sa datation au ^{14}C par ECHOMICADAS.

Ces équipements sont largement sollicités dans le cadre de nombreuses collaborations (1),(2),(3) et projets en cours (ANRs SESAME, NILAFAR, FOOD-RE, EGOUT, projet VARGAH). La politique d'accès de PANOPLY (et plus généralement de RÉGEF) ouvre ces analyses à la communauté, sous forme de prestation ou en collaboration.

1. Castanet *et al.*, 2022. *Quat. Sc. Rev.* 283.
2. Hatté *et al.*, 2013. *Climate of the Past* 9, 1001-1014.
3. Ndour *et al.*, 2022. *Soil* 8, 49-57.

Mots-Clés: Résidus organiques, Spectroscopie de masse, Spectroscopie de rapport isotopique, Moléculaire, Identité chimique

Towards a multi-analytical methodology based on molecular spectroscopy techniques for the detection and characterization of organic residues in archaeological findings

Maria Eleni Konstantinou^{1,2}, Evangelia Ralli², Ioanna Misyri², Maria Roumpou¹, Aggelos Philippidis¹, Sophia Sotiropoulou¹, Apostolos Spyros², Demetrios Anglos^{1,2}

¹ IESL-FORTH, Crete, Greece

² Department of Chemistry, University of Crete, Greece

Systematic sampling and analysis of organic residues, found typically, yet not exclusively, as material remains adsorbed in the walls of archaeological ceramic containers, have enabled archaeologists, over the past three decades, to obtain significant information concerning the use and processing of natural products in antiquity, also allowing reflections on the implications of the data generated. Chromatographic techniques utilizing different detection schemes (GC, GC-MS, HPLC, LC-MS), often combined with isotopic analysis (GC-c-IRMS, IRMS) have been widely applied in the context of archaeological residue analysis, given their high sensitivity and selectivity, which help analysts to achieve reliable analysis of complex and even highly degraded archaeological samples. Nonetheless, these techniques are destructive and moreover require copious and time-consuming sample preparation steps, eventually limiting the number of samples amenable to analysis. Molecular spectroscopic techniques, on the other hand, could offer alternative, faster approaches to chemical analysis that would enable efficient screening and characterization of organic remains found either as amorphous deposits or trapped in inorganic matrices. The complexity of organic matter preserved in various archaeological contexts necessitates multi-analytical approaches. The implementation of spectroscopic techniques could ensure in many ways availability of samples for future analysis, as well as allow assessment of their state of preservation, guiding further analytical steps. The work presented in this paper outlines a case study focusing on archaeological resinous materials, known to have been used for a range of purposes since

prehistory. Our primary aim is to work out a multi-analytical methodology utilizing FTIR, micro-Raman, Fluorescence and NMR spectroscopies for the characterization of molecular species that are reported as biomarkers in archaeological resins. It has been demonstrated that these biomarkers survive in the archaeological record and in various burial environments primarily because of their hydrophobic nature and they exhibit specific spectral features that can be assessed through molecular spectroscopy techniques. Samples from modern resins, distributed across the Mediterranean region, have been examined, with the purpose to propose a re fined residue analysis protocol for resin samples, including the generation of spectral libraries for specific compounds and plant species. Spectroscopic results of archaeological ceramic samples preserving resin residues, according to GC-MS analysis, are used for validation purposes. Model samples are also submitted to artificial ageing to develop suitable reference spectra and provide insights into the degradation pathways and how these might be reflected in the spectra produced. The selected spectroscopic techniques complement each other and we hope that our study will address, furthermore, issues of portability, highlighting the potential of routine utilization of spectrochemical analysis tools in archaeometry laboratories, also facilitating analysis of residues that cannot be sampled off of archaeological objects or excavation sites.

Keywords : Organic residue analysis, Resins, Spectroscopic techniques

Production de céramique Ychsma durant la période Intermédiaire Récent à l'Horizon Récent (1250 – 1532 AD) : une unité technologique sur la côte centrale ?

Dante Pareja^{1,2,3}, Javier Iñáñez², Ayed Ben Amara¹, Rémy Chapoulie¹, Luisa Díaz Arriola³

¹ Archéosciences – Bordeaux – université Bordeaux Montaigne, CNRS, UMR6034 – France

² GPAC Built Heritage Research Group, Faculty of Arts, University of the Basque Country – Espagne

³ Grupo de Investigación Sociedades Prehispánicas del Litoral-Yungas, Univeridade Nacional Mayor de San Marcos – Pérou

La société Ychsma était l'une des plus importantes cultures préhispaniques, qui s'est développée entre 900 et 1532 après J.-C. à Lima, la capitale péruvienne, située sur la côte centrale du Pérou. Le territoire Ychsma comprenait le bassin inférieur des vallées du Rímac et du Lurín. Entre 1470 et 1532 de notre ère, le territoire a été conquis et placé sous le contrôle de l'Empire inca. En dépit de cela, les élites locales ont maintenu leur position sociale et leur contrôle sur la population.

Notre étude concerne les technologies de fabrication de la céramique entre l'Ychsma Moyen (1250-1350 AD) et l'Ychsma Récent (1350-1532 AD) sur la région de la côte centrale, à partir des collections céramiques provenant d'importants sites archéologiques comme Armatambo et Pachacamac.

Les résultats obtenus par l'observation macroscopique des fractures de tessons et des traitements de surface de la céramique ont montré une continuité dans les traditions technologiques entre les phases d'Ychsma Moyen et Récent. Cette continuité est liée à l'utilisation de la technique au colombin. Les analyses minéralogiques (pétrographie, DRX) ont permis d'identifier les types des inclusions et les Températures de Cuisson Equivalentes (TCE) des échantillons, et les observations par Microscopie Electronique à Balayage (MEB) ont permis d'identifier leurs différentes caractéristiques technologiques. Pour aborder la provenance de ces échantillons, nous avons utilisé la méthode ICP-MS. Les premiers résultats archéométriques nous permettent de proposer une production régionale dans la vallée de Rímac, suggérant par ailleurs une distribution à courte distance entre la vallée de Rímac vers la vallée de Lurín.

Mots-Clés: Céramique Ychsma, ICP-MS, Pétrographie, DRX, MEB, Pérou

Multi-scalar and interdisciplinary study of floor plasters: a case study from Early Roman Cyprus

Paola Pizzo^{1,2}, Jan Válek¹, Ewdoksia Papuci-Władyka³, Alberto Viani¹, Dita Frankeová¹, Petr Kozlovce¹

¹ Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Czech Academy of Science – République tchèque

² Institute of Classical Archaeology, Faculty of Arts, Charles University – République tchèque

³ Institute of Archaeology, Jagiellonian University – Pologne

Plasters and mortars are relatively new materials in the field of archaeological science. In the past two decades an increasing number of studies have been focusing on investigating these archaeological finds and their potential in reconstructing human agency.

Plasters and mortars embed resourceful information on human knowledge of geological environment, raw material provision and pyrotechnology. Their thorough characterization is essential for a better understanding of the interrelationship between humankind and their environment.

This study focuses on two particular multi-layered plaster floors excavated by the Polish Paphos Agora Project in the Early Roman layers of the Agora in Nea Paphos, South Western Cyprus. These two features, numbered S.145 and S.233, present similar construction techniques and materials.

The aim of this joint team research is to reconstruct the productive processes for the plasters and to assess the technological knowledge level that led to the construction of these two complex flooring systems. An interdisciplinary, multi-scalar approach has been adopted for this specific case study, combining field methods with analytical techniques, specifically portable X-Ray Fluorescence (pXRF), X-Ray Diffraction (XRD), thermogravimetric analysis (TGA/DSC), optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and tests determining the physical properties of the mortars related to pore structure.

Keywords: Function and uses, Plasters and mortars, Roman, Cyprus, characterization

Caractériser l'oxyde de manganèse de Beg-er-Vil (Quiberon, Morbihan). Quand les mésolithiques bretons broyaient du noir...

Simon Puaud¹, Mikaël Guivarc'h¹, Guirec Querré¹, Christophe Calers², Patricia Bénard-Rocherullé², Damien Gendry³, Jérôme Tréguier⁴, Catherine Dupont¹, Grégor Marchand¹

¹ CReAAH – Archéosciences – CNRS, UMR6566 – France

² Institut des Sciences Chimiques de Rennes – Université de Rennes 1, INSA, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, CNRS, UMR6226 – France

³ Musée de Géologie de l'Université de Rennes 1 – France

⁴ Muséum des Sciences de Laval – France

Cette communication est consacrée à l'étude physico-chimique et technique d'un fragment minéral provenant de la fouille du site breton de Beg-er-Vil, afin d'émettre des hypothèses sur son usage et son origine. L'habitat mésolithique de Beg-er-Vil (Quiberon, Morbihan) fait face à l'océan Atlantique à l'extrémité de la presqu'île de Quiberon. L'amas coquillier a été sondé de 1985 à 1988 par O. Kayser, puis de 2012 à 2018, sous la direction de G. Marchand et C. Dupont. Outre la zone dépotoir, ces dernières fouilles ont abordé une zone adjacente où se trouvaient des unités d'habitations et de grands foyers empierrés. Les datations ¹⁴C sur charbon et sur os de chevreuil placent l'occupation du site dans l'intervalle 8160-8060 cal BP (Dupont et Marchand, 2021). Parmi les sites du second Mésolithique de l'arc atlantique, Beg-er-Vil nous permet d'aborder en finesse les espaces domestiques, tandis que Téviec et Hoedic – avec leurs cimetières dans les amas coquilliers – éclairent davantage les dimensions funéraires et symboliques.

Dans ces recherches menées sur les activités du quotidien dans ce hameau littoral, un fragment de minéral noir découvert en 2015, dans la couche coquillière intrigue, avec ses surfaces polies par frottement multiples. Son analyse préliminaire (GQ), a montré qu'il s'agissait probablement d'un oxyde de manganèse.

Si les découvertes d'oxydes de manganèse sont bien connues sur les sites du Paléolithique supérieur et moyen où ces minéraux ont pu être utilisés à des fins symboliques avec l'art pariétal ou dans la sphère domestique, en intervenant dans l'économie du feu (Chalmin, 2003 ; Couraud, 1991 ; Heyes *et al.*, 2016 ; Pitarch Martí *et al.*, 2019 ; Salomon, 2009), il semble que ces oxydes aient été ensuite délaissés par les populations humaines lors de la Préhistoire récente.

La découverte faite à Beg-er-Vil est donc importante et son étude suscite un grand intérêt. Le résultat des analyses de caractérisation minéralogique (Diffraction des rayons X) et élémentaire (Fluorescence X) va être comparé à d'autres échantillons régionaux. Quelques gîtes sont connus dans les départements du Morbihan et de la Mayenne (Chauris, 2019 ; Tréguier *et al.*, 2018).

L'analyse au microscope numérique permet de caractériser l'état de surface de l'objet. L'observation de modifications affectant les surfaces actives permet de discriminer des stigmates d'utilisation : stries (abrasion, grattage), encoches ou marques de percussion. Ces

observations nous permettent d'envisager une interprétation technique de l'objet et d'appréhender le geste du Préhistorique.

Les résultats issus de l'analyse et de l'observation apportent de nouveaux éléments sur l'exploitation des ressources et sur la fréquentation de l'espace par ces populations humaines au Mésolithique.

Mots-Clés: Caractérisation, Archéomatériau, Oxyde de manganèse, Mésolithique, Provenance, Territoire, Amas coquilliers, Bretagne

Regard multiple sous les voiles de visage

Christophe Moulherat¹, Delphine Syvilay²

¹ Sorbonne Université Abu Dhabi, Département d'Archéologie – Émirats arabes unis

² Sorbonne Université Abu Dhabi, Département Science – Émirats arabes unis

Les voiles de visage (ou parfois appelés « burqa ») des pays du Golf sont des objets patrimoniaux encore peu étudiés de nos jours. Véritable parure, cet élément du costume traditionnel, permet de connaître, selon sa couleur, sa forme et son décor, l'âge et l'appartenance tribale de la femme qui le revêt.

Témoins matériels d'un savoir-faire technique, ils sont richement décorés et souvent formés d'un bandeau frontal en textile orné de broderies diverses et de pièces de monnaie. Leurs diversités matérielles (soie, coton, étain, cuivre, nacre, colorants) et techniques (travail du tissage et du métal, teinture) peuvent traduire un mélange pluriel, tant dans l'origine des matières premières, que dans sa temporalité. En effet il s'agit de distinguer ce qui est local de ce qui est importé, ou encore ce qui est d'origine avec ce qui fut rajouté. Ces voiles sont réalisés par des femmes qui les décorent et les personnalisent selon leurs propres goûts pouvant parfois intégrer des éléments apportés par chaque nouvelle génération d'utilisateur. L'enjeu de cette recherche est à la fois anthropologique et scientifique. Elle pose la question des différentes techniques utilisées pour leur réalisation et des modalités d'utilisation, d'échange, et de transmission. Une approche multi-échelle, multi-analyse, et non invasive avec des équipements portatifs (Fluorescence X, Hyperspectral) a été réalisée face à la complexité de ces objets.

Le port de ces voiles richement décorés étant aujourd'hui tombé en désuétude, le témoignage et l'expérience de bédouines (émiraties, saoudiennes, ...) sur l'utilisation et la réalisation de ces masques viendront compléter cette étude.

Les premiers résultats nous permettent d'ores et déjà d'aborder la question des techniques de décor propres à chaque objet et de restituer ainsi les gestes du passé. Ils révèlent également des influences extérieures (ottomanes, indiennes ...), témoins de l'importance stratégique de cette région comme passerelle entre l'Orient et l'Occident.

Mots-Clés: Textile, Techniques traditionnelles, Voiles de visage, Multianalyse

Approche multi-échelle et multi-technique pour une compréhension plus fine de l'expression schématique du néolithique, le cas du site Otello dans les Alpilles

Coline Théron^{1,2}, Pierre Bordet¹, Emilie Chalmin², Claudia Defrasne², Philippe Hameau³, Marianne Le Turnier², Pauline Martinetto¹, Bernard Schmitt⁴

¹ Institut Néel – CNRS, UPR2940, Université Grenoble Alpes, Institut polytechnique de Grenoble – France

² EDYTEM – CNRS, Université Savoie Mont Blanc, UMR5204 / FRE 2641 – France

³ LAPCOS – Université Côte d'Azur, UPR7278 – France

⁴ IPAG de Grenoble – CNES, OSUG – France

L'expression pariétale schématique (V^e-II^e millénaire BC) est en mesure d'apporter un éclairage complémentaire des autres vestiges archéologiques, son étude contribue à la compréhension des sociétés néolithiques du bassin méditerranéen. En effet, les matières colorantes, issues dans notre cas de figurations réalisées en abris sous roche, contiennent des traces physico-chimiques qui peuvent nous aider à appréhender les pratiques sociales et les gestes techniques associés à ces figurations. La caractérisation physico-chimique de ces matières colorantes permet une meilleure compréhension de la structure des systèmes graphiques, de leurs syntaxes (en proposant des regroupements de figures sur la base de leur composition, en identifiant des chronologies relatives...). Elle contribue également à éclairer la construction sociale et les usages des territoires au travers de l'identification des sources d'approvisionnement.

L'abri Otello, en bordure septentrionale du massif des Alpilles, présente une iconographie abondante et polychrome, ainsi qu'une succession chronologique de différentes phases graphiques. La présence de gisements de matières colorantes géologiques à proximité et dans l'abri rend également ce site particulièrement pertinent pour aborder les usages des matières colorantes à des fins graphiques au sein des sociétés préhistoriques de France méditerranéenne. La combinaison de différentes techniques analytiques est nécessaire pour déceler les traces présentes dans les matières colorantes, et les distinguer des produits d'altération et du substrat. La mise en place d'une méthodologie transdisciplinaire permet d'obtenir des renseignements sur la matière à des échelles micrométriques (détection d'élément trace, identification de phase minérales) et de les replacer à des échelles plus larges, par exemple à l'échelle paroi ou du massif. À l'inverse, les observations et les analyses faites à l'échelle de la paroi pourront être affinées et complétées par des techniques nécessitant par exemple des micro-prélèvements. Notre travail passe donc à la fois par l'utilisation de techniques analytiques *in situ* non invasives et non destructives (analyses chimiques ponctuelles et imagerie) et par l'étude de micro- prélèvements effectués par Philippe Hameau et Eric Laval en 2009. Ces derniers sont notamment caractérisés en laboratoire par microscopie (optique et électronique avec microanalyse chimique) et sur synchrotron par diffraction des rayons X sur poudre afin de bénéficier d'une haute résolution angulaire ou spatiale. L'utilisation et la complémentarité de ces différentes techniques analytiques sont essentielles pour travailler sur ces échantillons de

nature complexe : l'objectif étant de distinguer aux mieux les différentes phases constitutives, la couche pigmentaire, le substrat et les éventuels encroutements.

Mots-Clés: Art rupestre schématique, Néolithique, Caractérisation de matières colorantes, Alpilles.

L'industrie osseuse au Paléolithique moyen dans la moitié septentrionale de la France : approche multi-proxy (archéozoologie, taphonomie, tracéologie, protéomique)

Marie-Pauline Vignes¹, Katell Alaïme¹, Fabrice Bray², Veerle Rots³, Patrick Auguste¹, Marie-Anne Julien^{4,5}

¹ Evo-Eco-Paleo – UMR 8198 – Université de Lille, CNRS : UMR8198 – France

² MSAP – Université de Lille, CNRS, UAR3290 – France

³ FNRS, TraceoLab/Prehistory – University of Liège – Belgique

⁴ GéoArchPal-GéoArchEon – France

⁵ HNHP – MNHN, Université de Perpignan Via Domitia, CNRS, UMR7194, Chercheur associé – France

Dans les études archéozoologiques, la mise en place d'approches classiques (attribution anatomique et taxinomique, taphonomie) combinées à des analyses tracéologiques et/ou biomoléculaires (paléoprotéomique) est un des moyens actuellement développés pour appréhender les comportements des néandertaliens et leur exploitation du matériel faunique. Le site de Biache-Saint-Vaast (BSV, Pas-de-Calais, MIS 7) a livré 3 niveaux riches en restes osseux de grands mammifères terrestres. Dans ces assemblages, ont été identifiés des vestiges comportant des plages de marques en creux, apparentées à des stigmates de percussion sur du matériel lithique. Avec plus de 300 restes de ce type actuellement identifiés, BSV constitue l'un des assemblages les plus importants connu, avec une préservation exceptionnelle pour un site de plein air, soulevant de nombreuses problématiques quant à l'utilisation des restes fauniques comme outils par les populations néandertaliennes. Y-a-t-il une intentionnalité dans le choix de la matière première utilisée ? Existe-t-il une préparation particulière de l'os ? Est-il possible de mettre en évidence des comportements particuliers relatifs à la « fabrication » de tels outils ?

L'étude détaillée, suivant des approches multi-proxy, de restes osseux comprenant des plages à impression, appelés « retouchoirs », est encore peu développée. La bonne préservation des ossements à BSV octroie la mise en place de ces analyses. Les études archéozoologiques, taphonomiques et tracéologiques, non-invasives, sont employées pour comprendre l'acquisition et l'utilisation du vestige. Les analyses protéomiques, permettent de pallier aux limites des attributions taxinomiques classiques et d'employer des techniques peu invasives. Les protéines se détériorant moins rapidement que l'ADN, elles sont par ailleurs applicables sur un grand nombre de restes. Cette combinaison d'études a pour but de mieux comprendre la

conception (utilisation préférentielle d'un taxon, potentielle préparation des supports osseux, etc.) et l'utilisation de ce type de matériel.

Les premiers résultats obtenus semblent indiquer que les restes des trois espèces les plus représentées dans le cortège faunique identifié à BSV ont été employés comme « retouchoirs » : l'aurochs (*Bos primigenius*), l'ours brun (*Ursus arctos*) et le rhinocéros des prairies (*Stephanorhinus hemitoechus*), avec une utilisation quasi-exclusive pour la percussion d'outils lithiques pour les pièces analysées, et également leur emploi lors de la phase de 'fabrication'. Ces résultats démontrent l'intérêt de l'application conjointe de différentes approches et méthodes pour les connaissances de l'utilisation de ce type d'outil en os et plus généralement de la gestion de la faune de grands herbivores par les populations néandertaliennes. Des analyses sur un plus large spectre de restes osseux tenteront de caractériser l'ensemble de l'assemblage de Biache-Saint-Vaast et de le mettre en relation avec d'autres gisements de la région.

Mots-Clés : Néandertal, Utilisation de l'os, Archéologie, Archéométrie, Approche multi-échelle

The impact of the environmental change on the selection of clay deposits: An experimental study for evaluating the pottery production in the Mareotic Region between the Ptolemaic and Early-Roman Periods

Assem Bahnasy¹

¹ Centre d'Études Alexandrines (CEAlex – UAR 3134 CNRS) – Égypte

The ceramics production in Egypt was not limited only to the use of the clayey sediments deposited from the Nile River on the banks of its valley and delta. Indeed, the areas located on the shores of Lake Mariout were also exploited in antiquity, specifically during the Ptolemaic and Early-Roman periods. The lake sustained an adequate water level through the various canals connecting its basin with the old Canopic branch derived from the Nile River. The Canopic branch supplying the lake's water started to drain during the 5th century AD and reached a state of aridity in the 13th century AD, even though it was still regularly supplied by the Nile water in a fluctuated supplying process delineated by the seasons. In fact, the lake's basin received its water from both the infiltration of the seawater and the Nile River water supply, under the influence of an arid to semi-arid climate.

Several archaeological surveys were driven on the Mareotic region from the late 1970s until the present. These surveys led to the identification of many amphorae production workshops that produced different types of amphorae, mainly AE2, AE3, and AE4 amphorae types. The typological classification of "AE" represents an abbreviation for *Amphore Égyptienne* given by Jean-Yves Empereur.

According to the archaeometric studies, especially the chemical analysis using the XRF, the deposited clays on the shores of the Lake were the basic raw materials for producing these types of amphorae, with some variations in the chemical compositions related to the different

geographical locations between these production workshops. The fabrication technology used in the manufacture of these amphorae hasn't changed only chronologically, but also according to the geographical and environmental circumstances. Consequently, new techniques were developed in order to accomplish optimum properties suitable for the type of pottery products intended to be manufactured.

In this experimental study, we address the characteristics of the pottery productions that occupied the Mareotic region, during the Ptolemaic and Early-Roman periods, to understand the modification in the fabrication technique in the light of the environmental change that occurred during that period. The study involves a laboratory simulation of the environmental and geological conditions, in the Mareotic region, through the intermixing between the Nile deposits and the calcareous-rich soils characterizing that region.

The study employed a collection of two different clay raw materials of Nile silt and calcareous loams soil sediments. The raw materials were mixed in fixed and varying proportions to prepare nine different mixed soil samples. In addition, the mixed soils, including the two raw soil materials, were molded into briquettes of fixed dimensions and fired at four specific firing temperatures (700°, 800°, 900°, and 1000°C) to identify and observe their physical and mineralogical transformations at each firing stage. Several analytical methods have been applied to these fired briquettes, including petrographic, XRD, and geotechnical analyses, resulting in the establishment of distinct ranges of physical and mineralogical properties. Eventually, the laboratory simulation succeeded in serving as a referenced model to match and/or compare pottery products related to the Mareotic productions, and another approach for understanding the reasons behind the modifications in the fabrication technique between the Ptolemaic and Early-Roman Empire.

Keywords: Environmental change, Clay selection, Pottery, Mariout, Ptolemaic, Early Roman, Experimental study, Nile silt, Calcareous loams, Physical properties, Mineralogical transformation

La terre cuite architecturale dans les Alpes-Maritimes: Premiers essais de caractérisation

Pierre-Yves Larrat¹, Mikaël Pesenti¹

¹ Service d'archéologie Métropole Nice Côte d'Azur – France

L'étude de la terre cuite architecturale (TCA) est encore trop souvent négligée bien qu'il s'agisse de l'un des artefacts les plus fréquemment retrouvés sur les sites archéologiques. Fondé en 2014, le réseau TCA tente peu à peu de palier ce vide documentaire. Surtout, il témoigne d'un certain regain d'intérêt pour ce matériau qui ouvre un champ d'investigation considérable. Pour les Alpes-Maritimes, le point de départ est sans conteste la fouille programmée réalisée sur le cimetière de la cathédrale médiévale de la colline du château à Nice. Avec son importante collection de *tegulae*, cette opération offre un *corpus* suffisamment

riche qui continue d'être alimenté chaque année. La datation par thermoluminescence de certaines de ces tuiles a abouti à un large spectre chronologique, s'étalant de l'Antiquité au XIII^e siècle et ce, y compris pour des *tegulae* appartenant à un même contexte. Cette diversité chronologique qui caractérise le *corpus* invite naturellement à réfléchir sur l'éventuelle existence de modules types pouvant être associés à une ou plusieurs périodes.

Pour ce faire, une première étude a été menée. Elle est basée sur une approche métrologique, typologique, statistique et descriptive avec une première classification des pâtes. Par souci d'homogénéité, la prise de mesure a été effectuée en suivant la normalisation établie par les travaux précédents (Bontron 2013, Grizeaud 2021). L'ensemble des critères ont été intégrés dans une base de données. Par la suite, celle-ci a pu être interrogée à l'aide d'une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) dans l'objectif de faire ressortir de principales tendances afin de définir de premiers modules ou, du moins, des groupes partageant des affinités communes. Ce sont ces similitudes qui sont susceptibles de correspondre à des productions spécifiques. *In fine*, c'est une analyse pétrographique qui permet de proposer les potentiels lieux d'extraction de l'argile pour ces productions supposées.

En 2022, un site a été fouillé dans la vallée alpine de la Vésubie (Gordolon) où les *tegulae* sont employées tant dans l'habitat que dans un contexte funéraire contemporain et comparable avec celui du cimetière de la colline du château. Cette découverte permet de compléter les données avec un apport non négligeable de nouveaux échantillons. Surtout, elle ajoute une dimension spatiale à la réflexion avec la question de l'approvisionnement (matière première et objet fini) qui sous-tend une organisation territoriale structurée mais encore mal définie.

Mots-Clés: Tegula, Tuile, Alpes-Maritimes, Production, Antiquité, Moyen-Âge, Thermoluminescence, Métrologie, Pétrographie

Coordination : Léa Drieu, Julien Vieugué, Estelle Herrscher

Indispensable à survie des individus, l'alimentation constitue un fait social qui se déploie à travers de complexes chaînes opératoires d'acquisition, de distribution, de stockage, de préparation et de consommation des ressources naturelles par les sociétés humaines. Au cœur du « fait alimentaire » s'entrelacent intrinsèquement aspects biologiques et culturels : nécessités physiologiques, ressources disponibles dans l'environnement, techniques de production, connaissances et représentations du comestible et du mangeable, mémoire et transmission des savoir-faire culinaires, fabrication et utilisation d'ustensiles adaptés ou spécifiques, représentations et savoirs relatifs au corps et à la santé, etc.

En contexte archéologique, cette complexité ne peut s'appréhender qu'à travers le croisement d'une multitude de proxies. Les approches archéométriques fournissent ainsi des informations sur les denrées consommées (os, carporestes, phytolithes et amidons, etc.), les ustensiles et les ressources utilisés pour leur acquisition, distribution, transformation et consommation (structures de stockage et de cuisson, combustibles, récipients, outils de collecte, de broyage, de mélange, de séparation ; qu'ils soient en céramique, en pierre, en métal, en verre, en bois, en peaux etc.), ou leur effet sur le corps humain (isotopes stables, paléopathologie, paléoparasitologie, etc.). Ces approches éclairent les modes d'acquisition (techniques de chasse, de pêche, stratégies agricoles et pastorales, etc.), les modes de transformation (découpe, cuisson, broyage, séchage, fumage, etc.), voire les modes de consommation (consommation domestique/villageoise à caractère festif, différenciations de régimes alimentaires selon l'âge et le sexe des individus, etc.). Cette session se propose, à partir de la diversité des méthodes archéométriques, d'explorer les différentes dimensions du système alimentaire, depuis l'acquisition jusqu'à la consommation en passant par les différentes étapes de transformation et de distribution.

Mots-clés : Régime Alimentaire, Denrées, Prédation/Production, Stockage, Préparation, Cuisine, Service Et Consommation

Prehistoric production of broomcorn millet in northern Germany: charting environmental affordances and constraints

Dragana Filipovic¹, Estelle Herrscher, Wiebke Kirleis

¹ Centre de Recherche Collaborative 1266, Université de Kiel – Allemagne

The production of broomcorn millet in Europe began in the Bronze Age and the prehistoric finds of this cereal crop serve as an excellent indicator of people's communication, movements and changing diets in the 2nd and 1st millennium BC. Modern agronomic studies suggest that high precipitation, waterlogged soils and extreme soil pH values, or a combination of these factors, can restrict or preclude the growth of broomcorn millet. In northern Germany, both Continental and Atlantic climatic conditions are present, with higher precipitation and soil moisture in the western part of the region, where the modern soil pH value is also very high. Perhaps this area was not suitable for millet cultivation in prehistory. There are some early finds of broomcorn millet here, but they do not necessarily indicate local cultivation of the crop. It is possible that broomcorn millet production was limited to the eastern and/or inland zones, from which the crop was traded to other areas. On the other hand, the time when broomcorn millet appeared in northern Germany, the 13-12th century BC, seems to have been a drier-than-before interval in north-central Europe; there was an apparent reduction in precipitation levels that continued over several centuries. This trend may have created areas of suitable (i.e. dry) land for cropping, thus enabling production of millet in the western (Atlantic) part of the region. The growing conditions of prehistoric millet may be reflected in the ecology of arable weeds associated with it and the stable isotope content of the grains. These parameters have been analysed within a recently completed study of several Bronze Age sites in northern Germany. This paper will present these results and discuss them in the context of potential environmental affordances and constraints to millet cultivation in the region.

Keywords: Bronze Age, Agriculture, Broomcorn millet, Environmental context, Archaeobotany, Plant stable isotopes.

Approche diachronique des pratiques alimentaires et de la mobilité au cours de la Préhistoire en Auvergne: une étude bioarchéologique et multi-isotopique

Solène Chevallier¹, Gwenaëlle Goude¹, Ivy Thomson^{2,3}, Rose-Marie Arbogast⁴,
Modwene Poulmarc'h³, Michaël Seigle⁵, Pierre Dutreuil⁵, Estelle Herrscher¹

¹ LAMPEA – Aix Marseille Université, CNRS, MCC, UMR7269 – France

² INRAP – France

³ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR7264 – France

⁴ MISHA – Alsace – Université de Strasbourg, CNRS, UAR3227 / USR3227 – France

⁵ Hadès – Bureau d'investigations Archéologiques – France

Le Néolithique et l'âge du Bronze sont des périodes de transition importantes, marquées par des évolutions techniques et sociales, qui se retranscrivent tant dans les pratiques alimentaires que l'organisation territoriale. Les sites étudiés, tous occupés pendant ces périodes et situés dans la Limagne de Clermont-Ferrand, vont nous permettre d'appréhender ces changements sociaux en Auvergne, à travers les pratiques alimentaires et la mobilité. Le site d'Aulnat Zalo, fouillé récemment, a livré des vestiges datés du Néolithique à l'Antiquité. Les 28 sépultures découvertes sont attribuées au Néolithique, à l'âge du Bronze, durant lequel l'occupation est strictement funéraire, et à l'âge du Fer, où des structures d'habitat sont attestées. Le site du Douleix à Veyre-Monton est occupé du Néolithique à l'âge du Bronze. Il est caractérisé par une série d'alignements de menhirs néolithiques, une première en Auvergne, ainsi que des monuments funéraires de l'âge du Bronze. Les données inédites de ces deux sites seront comparées à celles, déjà publiées pour l'âge du Bronze ancien, de Chantemerle, Machal et Orcet, choisis notamment pour leur proximité géographique avec Aulnat et Veyre-Monton. Ce travail a pour objectif de discuter des pratiques de subsistance et de la mobilité pendant ces périodes de transition, à travers une approche bioarchéologique, afin d'évaluer la variabilité des ressources consommées et d'identifier des déplacements. Des analyses des rapports isotopiques du carbone, de l'azote et du soufre ont été réalisées sur le collagène osseux, reflétant l'accès aux protéines et des comportements au cours des dernières années de la vie des individus. Les ratios isotopiques du carbone et de l'azote ont pu être effectués sur un corpus de 144 vestiges osseux archéologiques du Néolithique et de l'âge du Bronze, correspondant à 44 spécimens animaux et 100 individus humains. Le corpus faunique comprend des bovins (*Bos taurus*), des caprinés (*Ovis aries*, *Capra hircus*), des porcs (*Sus scrofa domestica*) ainsi que des chiens (*Canis lupus familiaris*). Les 100 sujets humains représentent 34 immatures et 65 adultes, parmi lesquels 21 de sexe féminin et 20 de sexe masculin ont été identifiés. Les compositions isotopiques du soufre ont été réalisées sur un corpus plus restreint, entièrement daté de l'âge du Bronze, de 37 animaux et 64 humains. Les résultats isotopiques des animaux ont été analysés statistiquement afin d'identifier un référentiel pour la région, ce qui a permis de mettre en évidence des ressources alimentaires distinctes. On observe également une évolution des pratiques alimentaires au cours du temps, avec au Néolithique et à l'âge du Bronze ancien, un apport protéique majoritairement animal, puis, à partir du Bronze récent une consommation différentielle selon les individus de végétaux de type C4, comme le millet. Les résultats des analyses du soufre montrent une faible variabilité au sein des sites à l'âge du Bronze, pouvant témoigner de déplacements différents de ceux connus au Néolithique.

Mots-Clés : Alimentation, Auvergne, Mobilité, Aulnat Zalo, Veyre-Monton, Analyse des isotopes stables, Néolithique, Age du Bronze

Did subsistence changes in early medieval Jauntal/ Podjuna, Austria effect metabolic health ?

Magdalena Srienec-Sciesiek^{1,2}, Nina Richards³, Alfred Galik², Thorsten Jakobitsch²,
Andreas G. Heiss², Sabine Ladstätter²

¹ Department of Evolutionary Anthropology, University of Vienna – Autriche

² Austrian Archaeological Institute-Austrian Academy of Sciences – Autriche

³ Austrian Centre for Digital Humanities and Cultural Heritage- Austrian Academy of Sciences – Autriche

The fall of the Roman empire, in particular the Roman Noricum, in the 6th century CE played a pivotal role in shaping the eastern Alpine region. One area, the Jauntal/Podjuna Valley, located along the south-eastern alps in Carinthia, Austria, saw a significant shift in the overall subsistence patterns and health during this transitional phase into the early medieval period. The influx of multiple cultural groups such as Avars, Lombards, Ostrogoths, and Slavs brings to question to what extent did changes in the socio-political and economic structure have on the health and diet of the communities that ultimately settled in the Valley. While the archaeological record of the region is extensive, no settlements from the early medieval period have been discovered to date, making cemetery contexts and historical sources the core source of information of the communities. This dependence on cemetery contexts for information emphasizes the significance of bioarcheological and interdisciplinary research in order to answer questions regarding the development, structure and health of human populations during periods of transition. Assessing diet is integral in the understanding of health and lifeways of past communities. This paper aims to focus on the osteological analysis conducted on the human remains from the early medieval cemeteries in the Jaun Valley: Jaunstein/Podjuna (130 individuals), Hemmaberg/Gora Sv. Heme (30 individuals), and Grabelsdorf/Grabalja vas (13 individuals). All three sites show signs of metabolic disease such as scurvy which suggest a diet that lacked variation and a dependence on food sources deficient in nutritional value. Evidence of such metabolic disease may illustrate the relationship that the communities had with their environment, especially during periods of cultural change. This is further supported through the archaeobotanical and zooarchaeological results showing a change in subsistence within the Valley. Furthermore, initial stable isotope (carbon and nitrogen) results confirm that a change in diet during the early medieval period was present.

Keywords: Diet, Health, Medieval period, Eastern alpine region, Stable isotopes

Exploiter le signal triglycérides préservé dans les céramiques archéologiques: développement méthodologiques et premiers résultats archéologiques

Alex Malergue¹, Lucile Fleuriot², Delphine Debayle², Martine Regert¹, Léa Drieu¹

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

² IPMC – Université Côte d'Azur, CNRS – France

L'analyse des résidus organiques présents dans les poteries, matériel poreux et présent de façon généralisée sur les sites archéologiques à partir du Néolithique, a ouvert la possibilité d'explorer les pratiques alimentaires et culinaires du passé. Couplées à des analyses isotopiques, archéozoologiques et céramologiques, les analyses moléculaires se sont multipliées et ont permis une meilleure compréhension notamment de l'exploitation des produits laitiers et de la viande. Cependant, des verrous analytiques subsistent : la distinction entre les différentes espèces animales est délicate, souvent limitée à une séparation ruminants/non-ruminants ; l'origine spécifique des produits laitiers ne peut être appréhendée. Quant aux produits végétaux tels que les huiles et les céréales, elles demeurent difficilement caractérisables au niveau spécifique. Pourtant, ce niveau de précision est nécessaire pour répondre à des problématiques sur l'élevage, la chasse et l'agriculture au fil des millénaires.

Pour répondre à ces questions, nous proposons une approche centrée sur les triglycérides, des lipides présents à la fois dans les graisses animales, les huiles végétales et les produits laitiers. Leur analyse chromatographique en phase gazeuse est susceptible d'apporter des informations utiles, en particulier sur la distinction entre produits laitiers et viandes, mais ne permet pas d'accéder à leur structure moléculaire détaillée porteuse d'information chimio-taxonomique à l'heure actuelle rarement exploitée. L'analyse chromatographique en phase liquide, couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS), permet d'identifier la longueur de leurs chaînes carbonées et leur nombre d'insaturations. La précision des données obtenues est prometteuse pour identifier plus précisément la nature des graisses animales et végétales retrouvées en contexte archéologique. Il s'agira de plus d'étendre cette étude des ressources alimentaires à des denrées jusqu'ici peu analysées ou détectées comme les céréales ou les oléagineux.

Dans le cadre des recherches en cours, nous étudions les variations intra et interspécifiques des matières grasses en nous appuyant sur le traitement statistique d'un large jeu de données obtenues sur des matières grasses actuelles. Dans la communication proposée, nous présenterons les développements méthodologiques mis en œuvre sur les triglycérides et les résultats obtenus pour discriminer des substances modernes (une soixantaine de produits sélectionnés avec plusieurs origines pour chacun d'eux) : viandes, produits laitiers, huiles végétales et céréales. Nous montrerons également l'apport de l'étude de céramiques ethnographiques et expérimentales, qui a mis en évidence l'impact important de la chauffe sur la composition des triglycérides. Ce référentiel moderne a déjà permis d'aboutir à des identifications précises de substances dans plusieurs contextes où la matière organique est bien conservée. Ces développements méthodologiques ouvrent ainsi la voie à une meilleure résolution des données obtenues sur les substances naturelles préparées dans les céramiques et donc aux systèmes alimentaires et à la fonction des poteries.

Mots-Clés : Poterie, Biochimie, Triglycérides, Systèmes alimentaires

Définir les termes du partage : indices archéozoologiques de la hiérarchisation et du partage des viandes dans l'Est du Massif central et le Languedoc entre Antiquité tardive et haut Moyen Âge

Cyprien Mureau¹

¹ ISEM – Université de Montpellier, CNRS, UMR5554, EPHE, IRD, UMR226 – France

L'archéozoologie s'appuie sur trois principaux paramètres pour appréhender la valeur qu'un groupe humain confère à une viande : le choix de l'espèce, l'âge de l'individu et la nature des parties consommées (Méniel, 2001). Entre Antiquité tardive et Moyen Âge, dans une large partie de l'actuel territoire français, porcins, poules et grand gibier mammalien s'avèrent surreprésentés parmi les assemblages mis au jour en contextes élitaires, à l'instar des jeunes individus parmi les caprinés et porcins (Clavel et Yvinec, 2010; Putelat, 2015; Faure-Boucharlat *et al.*, 2001). Si ce constat n'avait pas été établi jusqu'alors en Auvergne, de tels critères seraient même peu opérants à l'échelle du Languedoc médiéval (Forest et Rodet-Belarbi, 2011). De plus, la mise en place d'analyses de la distribution anatomique des restes constitue un défi méthodologique qui n'a jusqu'à ce jour permis d'identifier un schéma récurrent de répartition des pièces de carcasses à l'échelle des établissements de ces territoires du Centre-Sud de la France.

Dans le cadre d'une synthèse sur les faunes tardo-antiques et médiévales des territoires auvergnats et languedociens (Mureau, 2020) a été défini un protocole analytique des trois sources de données susdites, dans le but d'appréhender d'éventuelles sélections de viandes selon les qualités socio-économiques de leurs consommateurs.

Pour ce faire, un cadre méthodologique a été défini pour construire l'unité analytique de cette synthèse, le « Lot Chrono-Stratigraphique » (LCS), entité employée dans le cadre du décompte des espèces à l'échelle de l'espace languedocien (Forest, 2008; 2009; Forest et Rodet-Belarbi, 2011; Ros *et al.*, 2020). L'analyse des correspondances entre les fréquences des taxons de ces LCS, prenant en compte des critères qualitatifs tels que le temps, l'espace, le type d'occupation et la structure d'origine, a permis de déceler (1) des pratiques pastorales divergentes selon les territoires, mais concordant autour d'une augmentation de la part des caprinés au cours du haut Moyen Âge, (2) des pratiques alimentaires divergentes entre d'une part les établissements ruraux, d'autre part les sphères urbaines et habitats de hauteur, (3) une distribution des espèces polarisée selon leur proximité avec la sphère domestique. L'application d'un filtre par classes d'âge pour les espèces domestiques a confirmé la préférence de viandes porcines et ovicaprines jeunes pour les seuls établissements de hauteur, tandis que bovins et poules ne semblent pas faire l'objet d'une telle sélection. Enfin, une analyse multi-scalaire des fréquences anatomiques a permis d'appréhender un mode de débitage récurrent des carcasses ainsi qu'un « circuit de la viande » sur certains établissements, où des secteurs de rejets des déchets de dépeçage, de cuisine et de consommation ont pu être définis.

Ces résultats témoignent à la fin de l'Antiquité de préférences culturelles autour de certaines viandes, perceptibles en contexte élitaire mais également dans les dépotoirs de repas que

l'on peut considérer « exceptionnels ». L'économie de la viande intègre dès cette période des acteurs de la découpe des carcasses, dont les déchets constituent de précieux témoins du partage des chairs entre les populations d'un même territoire, voire d'un même établissement.

Mots-Clés: Archéozoologie, Antiquité Tardive, France méridionale, Alimentation carnée, Analyse multivariée, Hierarchical clustering

Une préhistoire de l'invisible. A l'origine de la production du sel

Olivier Weller¹

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

Produit essentiel à l'homme et l'animal, mais disparu aux yeux des archéologues, le sel est une matière première cruciale dans de nombreux systèmes économiques. C'est d'autant plus vrai pour les économies pré- et protohistoriques, où le sel sert à la confection de salaisons, à l'alimentation animale, à l'artisanat, mais également comme réserve de valeur et peut-être aussi comme valeur étalon d'échange. A travers plusieurs exemples en France, en Europe et au-delà, nous verrons comment l'archéologue peut saisir ce produit invisible en travaillant sur les ressources naturelles (eau de mer, sable salé, source salée, sel gemme...), les déchets d'exploitation (terre cuite, amas charbonneux, structures de filtrage, outils en pierre...), l'organisation des territoires (contrôle des ressources, voies de circulation) ou les impacts environnementaux de ces exploitations anciennes. Ces recherches orientées principalement sur l'origine de sa production, soit dès le début du Néolithique, ouvrent également sur des questions liées aux économies de subsistance, aux réseaux d'échanges et aux fonctions socio-économiques de cet ancien « Or blanc » qui en réalité, selon les moments, ont pu fortement varier.

Mots-Clés: Sel, Néolithique, Europe, Méthodes, Enjeux socio-économiques

Une histoire sans faim de quelques emballages qui voyagent, économie du vin en territoire picton aux I^{er} et II^e s. de notre ère

Camille Frugier^{1,2}, Nadia Cantin³, Christelle Absalon⁴, Valérie Merle⁵, Séverine Lemaître², Isabelle Pianet¹

¹ Archéosciences Bordeaux – Université Bordeaux Montaigne, CNRS, UMR6034 – France

² HeRMA – Université de Poitiers, EA3811 -France

³ Centre d'études alexandrines, CNRS, IFAO, CNRS: USR3134 – France

⁴ ISM – CNRS, Université de Bordeaux, UMR5255 – France

⁵ ArAr – CNRS, Université Lumière – Lyon 2, Université Lyon 1, UMR5138 – France

Premières denrées d'importation arrivant en amphore sur le territoire picton, les vins italiens, puis espagnols, parfois grecs, ou provenant de la région marseillaise sont attestés au moins dès le II^e siècle avant notre ère dans le centre-ouest de la Gaule. À partir du I^{er} siècle ap. J.-C., des amphores régionales apparaissent dans les registres archéologiques aux côtés de ces conteneurs venus d'ailleurs. Elles sont inscrites au répertoire de plusieurs ateliers de potiers pictons qui copient les amphores Dressel 2/4 et Pascual 1 importées de Tarraconaise, et deux types de conteneurs à fond plat originaires de Narbonnaise : les amphores Gauloise 4 et 5. S'agissant toutes de formes associées au transport du vin, la question de l'usage de ces récipients se pose dans la mesure où les indices de la culture de la vigne sont tenus pour les deux premiers siècles de notre ère dans la région.

Concluant une étude menée dans le cadre de ma thèse de doctorat, cette communication se propose d'explorer et de discuter de l'utilisation et de la place des amphores pictonnes au sein de l'économie vinicole locale à travers la caractérisation des récipients retrouvés en contexte de production et de consommation d'une part, et la détermination de leur contenu via l'analyse des résidus qu'elles renfermaient d'autre part. Plusieurs ateliers de potiers pictons ont été sélectionnés et/ou échantillonnés dans le cadre de ce travail : l'officine du bourg-est à Gourgé (79), celle des Groseilliers à Naintré (86), celle de Mougou à Crouzilles (37), mais aussi les conteneurs de la rue Saint-Lupien à Rezé (44) et de l'atelier de Chauvigny (86). Leurs productions ont fait l'objet d'une étude macroscopique, pétrographique, et des analyses élémentaires par WD-XRF ont été réalisées afin d'établir un référentiel auquel comparer des échantillons de provenance inconnue. Dans cette optique, les amphores régionales retrouvées sur quatre sites consommateurs pictons ont également été prélevées et étudiées. Il s'agit des conteneurs exhumés lors des fouilles de la rue de la Marne et de l'îlot des Cordeliers à Poitiers (86), et des récipients mis au jour dans l'agglomération antique de Rauranum, à Rom (79), et dans le sanctuaire du Gué-de-Sciaux à Antigny (86). Parallèlement, la réalisation d'analyses par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) a permis de corroborer l'utilisation de ces récipients comme amphore vinicole.

Documentant les produits transportés, les réseaux de distribution, les aires de diffusion des ateliers régionaux, ce travail éclaire plusieurs dimensions de l'économie du vin de la région et participe plus largement à sa connaissance.

Mots-Clés: Amphores régionales, Production, Diffusion, Economie du vin, Résidus organiques, Pétrographie, WD-XRF, GC-MS.

Pêcher et échanger le poisson en Aquitaine durant l'Antiquité : que dit la composition des os ?

Theodore West¹, Elise Dufour², Brice Ephrem³, Benoît Clavel², Isabelle Pianet¹

¹ Archéosciences Bordeaux UMR 6034 – France

² AASPE – CNRS UMR 7209 AASPE – France

³ CReAAH, UMR 6566 – France

Les activités halieutiques et le commerce du poisson connaissent d'importants bouleversements en Europe occidentale durant l'Antiquité. Les sources historiques, les vestiges archéologiques et l'archéo-ichtyologie témoignent pour la première fois dans cette zone géographique du commerce de poisson sur de longues distances à partir du I^{er} s. ap. J.C. L'archéologie et notamment l'archéo-ichtyologie documentent la réalité matérielle de cette activité économique. De cette manière, les études archéo-ichtyologiques fournissent une liste des espèces consommées à l'échelle des sites archéologiques. Puisque les poissons possèdent des exigences biologiques qui conditionnent les milieux dans lesquels ils peuvent vivre, il est possible d'établir des hypothèses sur la nature des milieux exploités en confrontant les données biologiques actuelles avec la liste des espèces retrouvées. La présence de poissons marins à l'intérieur des terres est un indice indéniable d'un commerce.

En revanche, ces sources ne permettent pas de documenter avec précision les zones de pêche qui ont été exploitées. Beaucoup d'espèces occupent de vastes zones géographiques et les sources historiques sont trop partielles. Le développement des analyses isotopiques du collagène osseux des restes archéologiques a permis de pallier cette limite. En se fondant sur la relation entre les rapports isotopiques du carbone, de l'azote et du soufre et les milieux dans lesquels ont évolué les poissons, il est possible d'établir des provenances des lieux de pêche. Dans le cadre de notre étude, nous avons appliqué cette méthodologie à l'Aquitaine antique. Afin d'identifier les zones de pêche par la signature isotopique des ossements, il est nécessaire d'établir un référentiel. C'est pourquoi notre étude porte à la fois sur des sites côtiers, qui servent de référentiel et des sites à l'intérieur des terres. Nous présentons ici les premiers résultats indiquant les territoires de pêche qui ont été exploités et les routes commerciales qui ont pu être favorisées en Aquitaine durant l'Antiquité.

Mots-Clés: Pêche, Commerce, Archéo-ichtyologie, Antiquité, Aquitaine, Isotopes stables, Collagène

Coordination : Elsa Defranould, Gaspard Pagès, Maïté Rivollat, Hala Alarashi

Les recherches sur la provenance et le parcours des matériaux et des produits dans les sociétés préhistoriques et historiques sont au cœur des interrogations archéologiques et archéométriques, et ont tenu une place importante au sein des rencontres du GMPCA. Les avancées techniques et méthodologiques permettent aujourd'hui une compréhension plus fine des mobilités et des interactions des sociétés humaines. La démarche a longtemps consisté à observer les circulations des matériaux ou des objets manufacturés comme des traces de contacts, d'échanges ou de commerces, laissant de côté les acteurs mêmes de ces interactions, dont l'identité biologique fait également l'objet de débats et de recherche. Aussi, il nous paraît aujourd'hui important de replacer les notions de mobilité et d'interaction à travers l'articulation de quatre piliers fondamentaux : l'humain, ses productions, sa culture et enfin l'espace dans lequel il évolue.

La combinaison de différentes données biologiques (anthropologie, génétique, isotopes) permet d'une part de discuter de l'identité des groupes humains, et d'autre part d'accéder à différentes échelles de leur mobilité : migrations de populations, mobilité locale et/ou fonctionnelle (saisonnaire, générationnelle) qui impliquent des mouvements d'individus ou de parties de groupes au sein d'une entité sociale et culturelle. En parallèle, l'étude des productions matérielles, de la caractérisation de leur provenance à leur usage, permet de restituer des stratégies d'approvisionnements et de production et par là d'esquisser les contours des divers réseaux de circulation, d'échange et de commercialisation.

Dans cette session, nous souhaitons rendre compte de la diversité des approches sur ces questions de mobilité et d'échanges, et explorer, quand c'est possible, les espaces de rencontre entre biologie et culture matérielle. Nous invitons donc toute contribution, que ce soit une étude de cas, une étude multi-scalaire et/ou multi-proxy, ou encore des développements méthodologiques.

Mots-clés : Origines, Cultures et productions matérielles, Identité biologique, chimique, culturelle et sociale, Réseaux et circulations, Diffusions, Transferts

Espaces de production et conditions de circulation des produits ferreux en Bourgogne Franche-Comté durant les âges du Fer et l'Antiquité : études physico-chimiques de la provenance des matériaux ferreux anciens

Valentina Valbi¹, Marion Berranger¹, Enrique Vega², Philippe Dillmann²

¹ IRAMAT – Laboratoire Métallurgies et Cultures, UMR7065 – France

² IRAMAT – Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération, UMR7065 – France

Le fer a eu un rôle de premier plan dans l'économie des sociétés anciennes. La zone occupée par l'actuelle Bourgogne-Franche-Comté a certainement joué un rôle central en Europe dans la production des produits en fer, comme en témoignent les grands districts sidérurgiques connus. Plus de 5000 amas de déchets, vestiges de l'emplacement d'ateliers de réduction sont ainsi connus, répartis au sein d'une dizaine de districts d'ampleur inégale. L'objectif du projet TerriFer (financement région Bourgogne-Franche-Comté) est de restituer l'importance de l'exploitation sidérurgique en Bourgogne-Franche-Comté de manière diachronique, en déterminant la localisation des ateliers, la qualité des matériaux exploités et les flux régionaux et extrarégionaux d'échanges. L'approche interdisciplinaire associe télédétection aéroportée et au sol des sites archéologiques, caractérisation multi méthode des matériaux, histoire des techniques et analyse des territoires. Ces approches se décomposent en trois axes : l'axe 1 « Territoires sidérurgiques » pour étudier la dynamique d'implantation des lieux de production du fer dans leur environnement, l'axe 2 « Techniques et savoir-faire » pour restituer les techniques, et préciser les volumes de métal en circulation à travers des analyses de rendement, l'axe 3 « Économie du fer » pour restituer les flux dans la circulation des matériaux ferreux au travers d'analyses de provenance. L'axe 3 a notamment comme objectif d'appliquer des méthodologies d'étude de filiation minerai-scories-objet en fer de manière systématique à l'échelle de la Bourgogne Franche-Comté en couplant études techniques et de provenance. Un corpus d'objets cohérents d'un point de vue fonctionnel (demi-produits, chutes de travail) et chronologique a été sélectionné. Ils proviennent dans un premier temps de sites majeurs pour la région (Bibracte, Alésia, grandes agglomérations romaines), ayant pu jouer le rôle de centres économiques à la fin des âges du Fer et durant l'Antiquité. L'approche se base sur les méthodologies novatrices développées au LAPA-IRAMAT et se base sur la comparaison des caractéristiques chimiques des espaces de réduction (chimie des scories collectées sur les ateliers), avec la signature chimique des inclusions de scories présentes au sein de la matrice métallique d'objets en fer. Dans un premier temps, les techniques de fabrication sont déterminées, en se basant sur des approches typologiques et métallographiques. Ensuite, les inclusions siliceuses des objets en fer sont analysées par MEB-EDS afin de détecter celles qui sont issues de l'étape de réduction (et donc porteuses de l'information de provenance), de celles ajoutées durant la phase de post-réduction. Dans un dernier temps, les inclusions porteuses de l'information de provenance ainsi identifiées sont analysées par LA-ICP-MS afin

de déterminer les éléments en traces. Le grand nombre d'observations et d'éléments dosés nécessite une approche statistique des données visant à comparer la composition chimique des objets entre eux, puis en prenant en compte les espaces de réduction de référence (Leroy *et al.* 2017, Disser *et al.* 2017, Dillmann *et al.* 2017, Hendrickson, Leroy 2020).

Cette approche a permis de relier la composition chimique des objets étudiés à celles d'espaces de production définis par des contextes techniques, des minerais et des déchets scoriacés. Sur la base de ces travaux il est à présent possible de proposer des hypothèses afin de restituer de manière plus précise la circulation des matériaux et ainsi les flux d'échanges en sidérurgie au sein de l'actuelle région Bourgogne Franche-Comté.

Mots-Clés: Fer, Scories, Inclusions, Circulation, MEB-EDS, LA-ICP-MS

Déchiffrer l'approvisionnement en fer d'un atelier de forge : L'utilisation des battitures

Jean Rodier¹, Vincent Serneels¹

¹ Département des Géosciences, Université de Fribourg – Suisse

Connaître l'approvisionnement en fer des ateliers de forge permettrait de mieux comprendre la circulation du fer pour une époque et une région donnée. Cette question reste difficile à aborder. La première méthode, les études sur les scories de forge, apporte une contribution intéressante. Cependant, leur composition chimique résulte de l'accumulation de diverses substances dans le fond du foyer de forge. En général, il est très difficile de reconnaître une signature chimique qui reflète l'origine de la matière première travaillée. La deuxième méthode, l'étude des inclusions de scories dans les débris métalliques, permet d'établir de telles signatures chimiques. Cependant ces débris sont souvent peu abondants et corrodés. La représentativité de l'échantillonnage est donc difficile à évaluer.

Une nouvelle approche se fonde sur l'étude des battitures qui sont les déchets formés pendant le martelage du fer à chaud. Ces petites particules sont principalement composées d'oxydes de fer et de verre silicaté. Contrairement aux objets métalliques, elles se retrouvent très souvent en grande quantité. Et, contrairement aux scories de forges, chaque battiture est produite à partir d'une partie d'un seul et unique morceau de fer. Les recherches précédentes menées sur des battitures expérimentales ont montré que les inclusions de scories contenues dans le fer travaillé contribuent à la formation des battitures. En utilisant les éléments chimiques caractéristiques des minerais de fer, il est ainsi possible de distinguer des battitures produites à partir de fers d'origines différentes.

200 battitures provenant de la forge celtique de Sévaz-Tudingues (LTA 5e BC) située en Suisse occidentale, ont fait l'objet d'analyses LA-ICP-MS. Les premiers résultats montrent que parmi les 200 battitures, 70 montrent un très net enrichissement en V (> 500 ppm) et en terre rares ($\Sigma\text{REE}+\text{Y} > 500$ ppm). Ces anomalies géochimiques sont le résultat de la contribution des inclusions de scorie contenues dans le métal travaillé à la formation des

battitures. L'anomalie en V est assez attendue puisque c'est un enrichissement commun dans la formation de nombreux minerais de fer, en particulier ceux résultant de l'altération superficielle en climat chaud et humide. Cependant l'anomalie en terres rares est surprenante car la concentration de ces éléments est le résultat de processus métallogéniques bien spécifiques, indiquant ainsi que le minerai qui a été utilisé pour la réduction est géologiquement particulier. D'autres questions sont maintenant en cours d'exploration. Combien de fers différents ont été travaillés sur ce site ? Si l'on compare les signatures chimiques est-ce que cela correspond aux barres de fer en circulation à cette époque ? Est-ce que l'on peut remonter à une zone ou plusieurs zones de production ?

Mots-Clés : Géochimie, Archéoméallurgie, Circulation du fer, Provenance

Du négoce viking à la mise en place d'un système commercial pérenne au Moyen Âge : identification de pierres à aiguiser norvégiennes dans le nord de la France et en Belgique

Paul Picaver¹, Roland Dreesen², Sibrecht Reniere³, Eric Goemaere²

¹ HALMA – UMR 8164 – MCC, Université de Lille – France

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

³ Universiteit Gent – Belgique

L'échantillonnage de plusieurs séries de pierres à aiguiser sur des sites médiévaux de Belgique et du quart nord de la France a révélé la présence, voire parfois l'omniprésence, de spécimens originaires de Norvège. Cette provenance, suspectée lors de l'observation macroscopique des roches, a été vérifiée par des analyses EDS inédites acquises au microscope électronique à balayage (MEB). Le matériau est un grès quartzitique fin micacé gris cendré à gris vert, riche en paillettes de muscovite, de chlorite et de biotite alignées dans le plan de schistosité, allant parfois jusqu'au micaschiste quartzitique de teinte verte. Ces observations rejoignent celles effectuées ces dernières décennies autour du bassin de la mer du Nord, et permettent d'intégrer sa partie méridionale dans un même système commercial pour ce type de mobilier. Le phénomène apparaît en Europe de l'ouest dès l'établissement de comptoirs vikings au IX^e siècle et semble perdurer tout au long du Moyen âge. Si celle trouvée à Huy (Province de Liège) provient de remblais de la fin du X^e siècle, les pierres d'Eidsborg constituent encore la quasi-totalité des aiguisoirs de la Grand-Place de Tourcoing (Nord), d'un quartier de Saint-Omer (Pas-de-Calais) et des bords de la Senne à Bruxelles entre le XIII^e et le XV^e siècle. Avec quelques exemplaires, les pierres atteignent aussi le Bassin parisien où elles partagent le marché avec des productions régionales. A l'opposé, beaucoup de pierres à aiguiser trouvées sur les sites ruraux sont des galets fluviaux et/ou des roches abrasives locales (pierres naturelles ou manufacturées).

La zone de production des pierres à aiguiser norvégiennes est bien connue dans le comté de Telemark, où l'exploitation de multiples carrières commence à l'Âge du Fer pour se terminer vers 1950. La ville de Skien a servi de port de départ pour la distribution à longue distance de

ces outils manufacturés au moins à partir du XI^e siècle. Une découverte vient virtuellement assurer le lien entre les carrières et la distribution de leurs productions : cinquante pierres à aiguiser accompagnaient la cargaison d'un navire du XII^e-XIII^e siècle fouillé à Klastad, à une cinquantaine de kilomètres de Skien sur la côte sud-est de la Norvège.

Ces découvertes éclairent un détail de l'économie médiévale, mais révèlent aussi un circuit commercial connaissant une exceptionnelle longévité.

Mots-Clés : Pierres à aiguiser, Moyen Âge, Norvège, Eidsborg, France, Belgique

Biographies de l'Empire. Une approche multidisciplinaire pour reconstituer l'histoire de vie de soldats de la bataille d'Orthez (27 février 1814)

Isabelle Souquet, Gwenaëlle Goude¹, Marie-France Deguilloux, Guilhem De Muraige, Alistair Nichols, Matthieu Le Bailly, Benjamin Dufour, Philippe Calmettes, Jérôme Girodet, Vincent Geneviève, Vincent Pasquet, Frédéric Vinolas, Olivier Dutour, Christian Sculler

¹ LAMPEA – Aix Marseille Université, CNRS, MCC, UMR7269 – France

La découverte d'une fosse contenant 26 soldats tués lors de la bataille du 27 février 1814 à Orthez a été l'occasion de mettre en place une équipe interdisciplinaire afin de mieux comprendre ce dépôt relatif aux guerres napoléoniennes dans le sud-ouest de la France lors du retour de la campagne d'Espagne. Parmi les nombreuses voies de recherches engagées, l'identification de chaque soldat peut être tentée en confrontant les données archéologiques (mobilier porté par les défunts), historiques (registres des régiments), anthropologiques (données biologiques) et biochimiques (paléogénomique et isotopiques). Les premières données recueillies à partir du mobilier ont mis en évidence le caractère multinational du recrutement de la fosse. Non seulement les deux armées opposées sont représentées parmi les soldats mais au sein d'une même armée, les soldats sont originaires de pays différents. De plus, la présence d'officiers est suspectée pour certains d'entre eux. Ces premières constatations nécessitent donc la mise en place d'analyses biochimiques afin d'approcher au plus près l'identification physique et sociale de chaque soldat à partir de leur origine et de leur parcours de vie. Afin d'identifier l'origine des défunts, pour la plupart décédés jeunes, mais dont les profils ostéobiologiques ne sont pas identiques et les attributions de régiments variées, un ensemble d'analyses isotopiques (carbone, azote, soufre) sur collagène osseux et paléogénomiques (genome-wide data) a été mené sur tous les sujets présents dans le dépôt collectif. Les résultats isotopiques montrent plusieurs groupes d'individus avec des régimes alimentaires spécifiques correspondant à la fois à des lieux de vie dont l'environnement et les traditions culinaires diffèrent (Sud-Ouest, nord de l'Europe par exemple), mais aussi très probablement à la diversité des classes sociales présentes dans l'armée (variabilité dans la consommation des protéines animales). De façon intéressante, les données génomiques indiquent également des groupes distincts, pouvant correspondre à des origines géographiques

diverses. La comparaison des différentes données biomoléculaires en mains autorise de façon inédite une identification plus précise des individus, indiquant un regroupement dans la fosse de très jeunes recrues locales, d'une part, et, d'autre part, de soldats appartenant à l'armée allée de Wellington (des services britanniques et portugais) et de français originaires de régions éloignées de la zone de combat. La présence d'éléments vestimentaires ibériques ne semble pas être en lien avec celle de sujets originaires de cette zone géographique; les données isotopiques et génétiques sur ces individus sont homogènes et concordent avec une origine britannique. Une étude plus « intimiste » sur l'enfance des sujets est en cours de réalisation à partir d'analyses multi-isotopiques (C, N, S, O, C, Sr) sur des séquences de dentines et d'émail dentaire de secondes molaires. Cette approche permet d'identifier l'histoire de vie entre *ca.* 3 et 16 ans et de discuter de la diversité sociale et géographique de ces jeunes hommes, pour certains engagés, pour d'autres obligés. L'identification des soldats va bien au-delà d'une simple reconnaissance physique des individus. Elle permet également de questionner le déroulement de la bataille, la composition des régiments en présence et la gestion des corps après les combats. Cette recherche est une première en France.

Mots-clés: Campagne napoléonienne, Ostéobiographie, Isobiographie, Paléogénétique, Sépulture multiple, Alimentation, Statut social, Carbone, Azote, Soufre, Collagène, Os, Dentine

Des migrations ancestrales humaines déchiffrées par la phylogénie d'une bactérie contemporaine

Alexia Nguyen Trung¹, Bastien Boussau¹, Eric Tannier^{1,2}, Vincent Daubin³

¹ LBBE – Université Claude Bernard Lyon 1, UMR 5558 – France

² INRIA Rhône-Alpes – France

³ Le Cocon – Département PEGASE [LBBE] – France

Notre héritage génétique est bien plus complexe et substantiel que ce que la génétique du XX^e siècle ne le supposait. Nous sommes le lieu et le produit d'interactions d'une multitude de micro-organismes symbiotiques, qui portent chacun leur propre génome. Nous pouvons ainsi définir et décrire les humains par le prisme des bactéries qui l'accompagnent. Certaines de ces associations sont stables tout au long de notre vie et se transmettent de générations en générations.

C'est le cas de *H. pylori*, une bactérie gastrique qui est présente aujourd'hui en moyenne chez une personne sur deux dans le monde. Sa transmission est intrafamiliale et a lieu durant l'enfance, limitant géographiquement l'infection. Chaque souche est alors caractéristique d'un groupe humain distinct. Sa présence chez *H. sapiens* est attestée avant les grandes migrations, accompagnant l'humain au point que sa phylogénie retrace dans les grandes lignes l'histoire des migrations depuis l'*Out of Africa*.

En étudiant la phylogénie de la bactérie, nous retraçons son histoire et par extension l'histoire de son hôte. Nous avons développé un jeu de données composé de 120 souches

actuelles, représentant l'ensemble de la diversité de toutes les *H. pylori* et pour lesquelles un signal phylogéographique a été identifié. L'arbre phylogénétique reconstruit est alors daté par inférences bayésiennes. Les évènements de spéciation, attesteraient d'une séparation géographique des groupes humains à mesure de leur progression sur les différents continents. Aussi, comme beaucoup d'espèces bactériennes, *H. pylori* a la capacité d'acquérir du matériel génétique d'une autre souche qui n'est pas parente, par un procédé nommé Transfert Horizontal de Gènes (THG). Nous avons précédemment développé une méthode qui permet de détecter ces anciens évènements de transferts dans le génome, et de déterminer la souche donneuse et receveuse du gène dans une phylogénie.

Les THG attestent d'un contact entre les souches (informations spatiales) et signifient que les ancêtres d'une espèce donneuse sont plus anciens que les descendants de l'espèce réceptrice (informations temporelles). L'originalité de nos travaux de datation repose sur l'intégration des THG et d'une séquence ancienne de *H. pylori* pour calibrer nos âges, provenant d'Ötzi, une momie retrouvée dans les Alpes et datée par radiocarbone à 5 300 BP. La position de la *pylori* d'Ötzi dans la phylogénie suggère qu'elle serait à la base de toutes celles actuelles asiatiques. En conséquence, les chronogrammes obtenus permettent de mettre en lumière la temporalité des évènements de migrations en Eurasie.

Mots-Clés: Migrations humains, *H. pylori*, Datation par inférences bayésiennes

Spécularites, hématites et matières colorantes ferrugineuses du Limpopo : choix des matières premières ou adaptation aux ressources locales ?

Guilhem Mauran^{1,2}

¹ PACEA, Université de Bordeaux, CNRS, UMR5199 – France

² Evolutionary Studies Institute, Université du Witwatersrand – Afrique du Sud

L'archéologie d'Afrique australe a longtemps été concentrée sur les sites Middle Stone Age côtiers. Les études des assemblages de matières colorantes retrouvées sur ces sites ont démontré l'existence d'une homogénéité culturelle dans la pointe du Cap. Peu de travaux se sont concentrés sur les assemblages de matières colorantes des sites de l'intérieur, comme ceux du Waterberg (Limpopo, Afrique du Sud). Les assemblages retrouvés dans la région comme sur les sites de Olieboomspoort, de North Brabant de Red Balloon ou Kaingo sont principalement composés de spécularites et d'hématites. Ces matières premières sont retrouvées en plus faible quantité dans les autres régions sud-africaines.

Je présente ici une étude régionale des assemblages de Red Balloon et de Mwulu's Cave, deux sites Middle Stone Age datés par OSL entre 90 et 100 ka. Sur le site de Red Balloon, situé sur le plateau du Waterberg, les matières colorantes sont similaires à ceux d'Olieboomspoort, de North Brabant et de Kaingo. Les matières colorantes ferrugineuses de ces sites ont peu de traces d'abrasion, mais présentent de nombreuses traces de percussion. Sur le site de Mwulu's Cave situé à 100 km du Waterberg, quelques spécularites et hématites ont été retrouvées. L'assemblage est toutefois principalement constitué de silts ferrugineux.

Contrairement aux sites du Waterberg, l'abrasion semble prédominante sur ce site. Les spécificités des assemblages du Waterberg interrogent quant à l'existence d'un régionalisme culturel fort ou à une adaptation aux ressources locales.

Pour questionner ces spécificités, je présenterai une expérimentation de percussion sur des matières colorantes collectées dans le Waterberg similaires à celles retrouvées sur les sites du Waterberg. Je présenterai également des observations en microscopie électronique à balayage, données de spectroscopie infrarouge et d'analyse par émission X induite par particules chargées PIXE. Ces matières seront comparées aux matières premières modernes. Mes données interrogent quant à l'existence de groupes culturels distincts dans la partie Nord de l'Afrique australe. L'existence de plusieurs groupes culturelles au sein de l'Afrique australe autour de 100 ka pourrait avoir contribué à l'émergence de pratiques socio-culturelles telles que l'utilisation de parures colorées ou la réalisation de gravures sur matières colorantes...

Mots-clés : Matières colorantes ferrugineuses, Middle Stone Age, Chaîne opératoire, Waterberg, Afrique du Sud

Ça chauffe au Solutréen ! Apports de l'étude du traitement thermique du silex à la connaissance des systèmes de mobilité des groupes Solutréen récent du sud-ouest de la France

Julie Bachellerie¹

¹ TRACES – CNRS, Université de Toulouse Jean-Jaurès, UMR5608 – France

Le Solutréen est marqué par l'apparition d'un équipement de chasse original et diversifié associé à l'apparition de nouveaux procédés techniques sans précédent dans l'histoire du Paléolithique récent européen, à savoir le traitement thermique et la retouche par pression. Le recours au traitement thermique du silex en contexte solutréen est connu et admis depuis les années 1960 (Bordes, 1969; Inizan et al, 1976) sans pour autant que les modalités et l'ampleur de sa mise en œuvre n'aient été clairement établies. À partir d'un corpus d'une vingtaine de gisements solutréens situés dans le nord de l'Aquitaine, un travail de caractérisation du traitement thermique a été mené afin de cerner la place de ce procédé au sein du système technique lithique solutréen. Ce travail transdisciplinaire impliquait en premier lieu un diagnostic macroscopique des stigmates de chauffe au sein de ces assemblages. Il fut également associé à une approche expérimentale, à des analyses physico-chimiques, mais également à une approche techno-économique des industries visant en particulier à replacer ce procédé au sein d'une chaîne opératoire. Les résultats obtenus sont venus confirmer la mise en œuvre du traitement thermique tout en soulignant la faiblesse de ce signal au sein des gisements du nord aquitain. Presque exclusivement associée aux pointes lithiques dites « feuilles de laurier », la chauffe serait menée dans un environnement contrôlé permettant une chauffe à des gammes de températures n'excédant pas 300-350°C. Ces travaux sont également venus appuyer l'idée d'une fragmentation spatiale et temporelle d'une partie de la

production lithique solutréenne, déjà révélée par de précédents travaux (Renard et Ducasse, 2015, 2019), tout en soulignant le degré de risque et d'anticipation associé à la mise en œuvre de ce procédé technique. Les données obtenues sur la gestion des ressources et des matières premières, en particulier dans le cadre du traitement thermique, permettent également de discuter des modalités d'occupation du territoire des groupes du Solutréen récent dans le sud-ouest de la France. La carte de répartition de ce procédé pourrait suggérer des disparités selon la fonction des occupations, mais également les matières premières disponibles.

Mots-Clés: Paléolithique récent, Pyrotechnologie, Approche paléolithologique, Innovation technique, Réseaux de circulation

Tradition, réseaux et circulation de biens matériels chez les premières communautés potières du Levant Sud (seconde moitié du 7^{ème} millénaire av. n. è.): apport de l'étude techno-péetrographique des assemblages céramiques

Carine Harivel^{1,2}, Yvan Coquinot³, Anna Eirikh-Rose⁴, Julien Vieugué¹, Edwin C. M. Van Den Brink⁴, Alla Yaroshevich⁴, Valentine Roux¹

¹ TEMPS – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR8068, France

² ED 395 – Espaces, Temps, Cultures – Université Paris Nanterre – France

³ C2RMF – Musée du Louvre – Département recherche – Filière Pierre-Arts du feu – France

⁴ Israel Antiquities Authority – Israël

Au Levant Sud, les premières communautés potières apparaissent durant la seconde moitié du 7^e millénaire av. n. è. (période « Early Pottery Neolithic »). Jusqu'à présent, différentes entités culturelles étaient distinguées sur la base de traits stylistiques parmi lesquelles le Yarmoukien, le Lodian et le Byblos, réparties entre différentes régions géographiques. Récemment, l'analyse technologique d'assemblages céramiques issus de ces différentes entités a permis de montrer qu'une même tradition technique était pratiquée sur l'ensemble du Levant sud, suggérant l'appartenance des différentes communautés à une même population et donc à une même entité culturelle. Par ailleurs, l'évolution de certains traits techno-stylistiques laisse supposer que l'expansion des implantations dans l'espace correspondrait à une expansion progressive d'ordre démiq. L'analyse techno-péetrographique de l'assemblage céramique de 4 sites EPN s'inscrit dans ces nouvelles hypothèses. Elle a pour objectif d'évaluer d'une part le comportement de potiers issus d'une même tradition dans des régions aux propriétés environnementales différentes, d'autre part les interactions entre des communautés appartenant à un même réseau social. Les 4 sites EPN sont répartis dans deux régions voisines : Sha'ar Hagolan et Munhata implantés dans la vallée du Jourdain centrale (Yarmoukien); Tel Itzakhi et Nahal Zippori 3 (Lodian et Byblos) localisés dans la vallée du Jezre'el. L'étude techno-péetrographique est multi-scalaire. Elle utilise différentes techniques d'observation (stéréomicroscope, microscope optique, MEB) et d'analyses chimiques (PIXE). En parallèle, des prospections ciblées sur le terrain ont été menées de manière à identifier

les sources naturelles actuelles dont la composition se rapproche le plus de celles des objets archéologiques. Les matériaux naturels analogues à ceux utilisés par les potiers néolithiques, ont ensuite été caractérisés en termes de propriétés thermiques et mécaniques. Les résultats obtenus sont ensuite couplés aux données contextuelles du site et aux informations morphologiques et stylistiques afin de proposer des hypothèses sur les comportements techniques des potiers selon les régions et les éventuels mouvements de poteries. Les premiers résultats, obtenus à partir d'observations systématiques sur plusieurs centaines de tessons de chaque assemblage confirment que les matériaux utilisés sont principalement d'origine locale et que leur traitement répond à une même tradition, témoignant ainsi à la fois d'une adaptation locale et de la transmission de mêmes gestes techniques. Pour autant, sur chaque site, il existe une petite proportion de tessons composée de matériaux qui diffèrent. La comparaison inter-site et inter-régionale suggère que ces matériaux ont pour origine des sources qui pourraient se situer dans les régions voisines. La proportion relativement faible de ces tessons pourrait suggérer que ce ne sont pas les matériaux mais bien les contenants céramiques qui circulent, évoquant ainsi des interactions entre communautés villageoises néolithiques répartis dans des vallées différentes. Cette circulation d'objets relevant de la sphère domestique pourrait varier selon les distances spatiales et temporelles, ce que s'efforceront de montrer nos recherches dans le futur.

Mots-Clés: Premières céramiques, Levant sud, Matière première, Pétrographie, Approvisionnement, Réseaux d'échange

The potential of multi-lithic resource management analyses: The case study of Kalba in the UAE

Michael Brandl¹, Christoph Schwall², Christoph Hauzenberger³

¹ Austrian Academy of Sciences, Austrian Archaeological Institute – Autriche

² Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz, Leibniz-Research Institute for Archaeology – Autriche

³ University of Graz, Dept. of Earth Sciences – Autriche

Kalba is a prehistoric coastal tell site at the gulf of Oman located at a strategically important position within the extensive trade networks on the south-eastern Arabian Peninsula, between Mesopotamia and the Indus region. The site was initially investigated in the 1990s, and in the course of an ongoing collaboration project from 2019 onwards. Kalba was continuously occupied between the Early Bronze Age and the Iron Age (c. 2500–600 BC), and has revealed a rich archaeological assemblage illustrating its significance as a crafting and trading node in the region. This particularly concerns mineral and lithic resources, which appear to have played a key role for the development and raise of Kalba commencing in the 3rd millennium BC.

Therefore, one research focus of the Kalba project was placed on the scientific analyses of the various lithic materials within the assemblage combined with geo-archaeological surveys to locate the potential raw material deposits. Starting with provenance analyses of chipped

stone tools found at the site, our investigations soon were expanded towards copper analyses, semi-precious stones and volcanic materials for possible bead and pendant production, and most recently raw materials for stone vessel manufacturing. As evident from half finished products, these objects were most likely produced on site.

Here we present our results from these in-depth geo-archaeological, mineralogical and geochemical investigations, which call for a re-assessment of the crafting and trading activities of the Prehistoric coastal communities in this region. Additionally, this project offered new perspectives in high calibre lithic analyses involving a broad range of materials requiring the definition of new analytical protocols in archaeometry.

Keywords: Lithic resource management, Gulf region, provenance analyses, Prehistory, Geochemistry

De l'obsidienne dans les Antilles ? Circulation des roches magmatiques à l'Âge Céramique

Arthur Leck ¹, François-Xavier Le Bourdonnec ², Ludovic Bellot-Gurlet ³, Bernard Gratuze ⁴, Isaac Shearn ⁵, Christian Stouvenot^{6,7}, Alain Queffelec¹

¹ PACEA, Université de Bordeaux, CNRS, UMR5199 – France

² Archéosciences Bordeaux – Université Bordeaux Montaigne, CNRS, UMR6034 – France

³ MONARIS – Sorbonne Université, CNRS, UMR8233 – France

⁴ IRAMAT – Université d'Orléans, CNRS, UMR7065 – France

⁵ Morgan State University – Etats-Unis

⁶ SRA de Guadeloupe, MCC – France

⁷ ARCHAM, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, CNRS, UMR 8096 – France

Les matériaux lithiques représentent une faible partie des vestiges présents dans les collections archéologiques précoloniales des Antilles et ont été peu investis par les archéologues, bien qu'ils renferment de nombreuses informations sur ces sociétés d'horticulteurs-pêcheurs très mobiles. Au travers des prospections et des travaux de caractérisation de lithothèques menés dans le cadre du PCR MAPLA « MATières Premières Lithiques dans les Antilles » nous avons pu, entre autres, étudier l'origine d'artefacts en verre volcanique et en diorite, cette dernière étant notamment utilisés pour la production de perles.

Bien que la littérature archéologique et géologique ne fasse aucune mention de verre volcanique dans les Antilles, au contraire des sociétés mésoaméricaines voisines, nous avons identifié une quinzaine d'éclats et un nucleus sur sept sites de Guadeloupe et de Dominique. Dans les années 2000, une partie de la collection a fait l'objet de premières analyses par PIXE qui ont mis en évidence une composition chimique très inhabituelle pour un verre volcanique, mais homogène pour l'ensemble des artefacts alors étudiés, à l'exception de l'un d'entre eux, de composition rhyolitique plus classique (Bressy & Bellot-Gurlet, 2007). Afin d'approfondir ces résultats, nous avons repris l'étude de ces objets : distribution géographique, chronologique, géochimie, technologie. La distribution de ces objets est effectivement limitée

au sud de la Guadeloupe et à La Dominique, majoritairement dans des sites du Céramique ancien. Si la provenance de l'éclat en verre rhyolitique a pu être identifiée sur la côte Caraïbe de Basse-Terre (Guadeloupe), celle du verre andésitique, plus atypique, ne l'est pas encore malgré nos efforts analytiques et les prospections de terrain réalisées jusqu'à présent. Au-delà aucune source de verre andésitique n'est recensée dans la littérature scientifique en dehors de roches d'origine extra-terrestre.

En parallèle, nous nous sommes penchés sur la caractérisation analytique d'une autre roche magmatique, la diorite, employée couramment pour la production de perles à l'Âge Céramique. Des sources potentielles ont été identifiées depuis de nombreuses années, mais aucune étude de provenance n'avait jusqu'alors été entreprise. Nous mettons donc en place un référentiel pour cette roche grenue qui permettra un nouvel éclairage sur les réseaux de distribution de ce matériau.

L'étude de la circulation de ces deux matériaux dévoile un système économique complexe à différentes échelles. Une distribution régionale du verre andésitique pour la production de petits éclats, et archipélique de la diorite pour la production d'objets de parures caractéristiques de ces populations antillaises.

Bibliographie

Bressy C, Bellot-Gurlet L (2007) Caractérisation et recherche de provenance de matériaux lithiques de sites préhistoriques de Guadeloupe « Analyses Obsidiennes Guadeloupe 2007 ». Service Régional de l'Archéologie, DAC de Guadeloupe, Basse-Terre, Guadeloupe.

Mots-clés : Roches volcaniques, Obsidiennes, Andésite, Diorite, Provenance, Guadeloupe, Antilles, Âge Céramique

An interdisciplinary approach to Recent/Final Neolithic coastal gallery graves in Brittany, France. The 3D-structure, origin of rock material, and paleoenvironmental setting of the Kernic and Lerret monuments

Aneta Gorczynska ¹, Bernard Le Gall, Pierre Stephan ², Paillet Yvan^{3,4}

¹ Geo-Ocean, Université de Bretagne Occidentale, CNRS, Ifremer UMR 6538 – France

² LETG – Géomer, Université de Bretagne Occidentale, CNRS, UMR6554 – France

³ INRAP, Centre archéologique de Cesson-Sévigné – France

⁴ Chaire Archéologie Maritime et Recherche Interdisciplinaire Environnementale (Chaire Armerie), INRAP, Université de Bretagne Occidentale, UMR6554, Institut Universitaire Européen de la Mer – France

This project presents an interdisciplinary study carried out on two Recent/Final Neolithic gallery graves (Kernic and Lerret) located on the northwestern coast of Brittany (western France). These monuments show striking similarities in terms of architectural style and geographical position. This research aims to provide a better understanding of the construction strategy of these monuments by: (i) determining the origin of the megalithic blocks from petro-structural analyses, (ii) reconstructing the coastal environments from the analysis of sediment cores, and (iii) defining the place of these monuments in the territories from inter-visibility analysis. The study reveals important differences between the two monuments. The

Lerret gallery grave was erected in direct proximity to a unique source of rock material on the margins of a marshland zone. In contrast, the Kernic monument shows a deliberate diversification of stone extraction sites and was established on the edge of an estuary. An intervisibility analysis shows a dense network of visual interconnections between the megalithic tombs in the study area, in which the two monuments occupy very different sites. The social dimensions of stone selection and the geographical location of Recent/Final Neolithic funerary monuments are also discussed in an enlarged regional context.

Keywords: Gallery grave, Recent/Final Neolithic, Megalithic tombs, Rock material, Coastal paleoenvironment, Petro-structural, Paleoenvironmental and intervisibility analyses

Les ferrures des portes romanes du Roussillon : qualité, technique et provenance. Une première approche

Maxime L'Héritier¹, Catherine Verna¹, Manon Gosselin^{1,2}, Tobias Heal², Jordi Mach¹, Alexandre Disser³, Gaspard Pagès¹

¹ ArScAn – CNRS, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, UMR 7041 – France

² LAPA-IRAMAT/NIMBE – CNRS – UMR 7065 – CEA – Université Paris-Saclay – France

³ IRAMAT – Laboratoire Métallurgies et Cultures, UMR7065 – France

Les ferrures de portes des églises romanes du Roussillon constituent un ensemble architectural exceptionnel, patrimoine emblématique de la région. Malgré un vaste travail de recensement et de description de ces ensembles mené par Noël Bailbé, on ignore encore quelles techniques ont été utilisées pour la production de ces pièces remarquables. La littérature vante pourtant souvent les mérites de ce fer catalan et un rapprochement trop rapide a été fait entre ces ferrures de tradition romane et le développement des premiers marteaux hydrauliques. Nombre de ces portes ont toutefois été partiellement ou totalement remaniées au cours des siècles et les formes établies au XII^e siècle n'ont cessé d'être copiées ultérieurement tant et si bien qu'il est aujourd'hui difficile de qualifier l'authenticité de ces ensembles. En outre, l'examen approfondi de ces peintures révèle des formes et des traditions techniques différentes : volutes plates ou cannelées, avec ou sans soudures, volutes à crêtes, bandes avec plusieurs types de cannelures, correspondant peut-être à des ateliers, des qualités ou des chronologies distinctes. Si les conditions de production et de circulation du fer sont connues par les archives pour les derniers siècles du Moyen Âge, elles le sont moins pour les XII^e et XIII^e siècles.

L'étude archéométallurgique de ces ferrures a été entreprise dans le cadre du projet FERMAPYR qui a pour dessein d'étudier à travers les sources écrites, archéologiques et archéométriques la production et la circulation du fer dans la partie orientale du massif des Pyrénées, avant l'implantation de la forge dite à la catalane. L'ambition de cette étude est d'enrichir ces réflexions de l'analyse du métal qui compose ces ferrures en rapport étroit avec la documentation écrite, en particulier autour de la question des aciers. Les objectifs sont multiples. Il s'agit, tout d'abord, de déterminer la nature du métal utilisé, entre fer doux et acier fortement carburé, et d'en caractériser la qualité selon des critères métallographiques. L'analyse de la composition des inclusions de scories permet également de retracer les circuits d'approvisionnement des sites de production jusqu'au monument, en lien avec les prospections archéologiques réalisées en parallèle dans le massif du Canigou notamment et plus généralement dans les départements des Pyrénées-Orientales et de l'Ariège.

Trente-huit prélèvements infracentimétriques ont pu être réalisés sur des ferrures déjà brisées et des gonds de portes et fortifications issus des monuments de 13 communes. Le choix s'est

porté sur les monuments du Conflent, du Vallespir, des Aspres et de la plaine du Roussillon, de la vallée de la Têt aux implantations d'altitude des contreforts du Canigou, en considérant des ferrures de typologies différentes afin d'appréhender en partie la variété du corpus et de pouvoir comparer la qualité et l'origine des fers architecturaux en fonction des usages. Les analyses révèlent d'une part des différences de qualité entre les objets, mais surtout relie les lieux de consommation à des sources d'approvisionnement distincts en fonction de leur localisation. Ces travaux complètent ainsi la définition des marchés et des modalités d'échange dont les sources écrites témoignent largement à partir du début du XIV^e siècle.

Mots-Clés: Fers de construction, Forge, Analyses métallographiques, LA-ICP-MS, Provenance, Roussillon, Moyen Âge.

Apport de l'analyse métallographique des fers de construction à la connaissance du chantier de la cathédrale Saint-Gatien de Tours

Maxime L'héritier^{1,2}, Baptiste Métivier³, Sarah Prodron⁴, Philippe Dillmann³

¹ Université Paris 8, Vincennes-Saint-Denis, UMR7041 – France

² ArScAn, Université Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, MCC, CNRS, Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis, UMR7041 – France

³ LAPA-IRAMAT/NIMBE CEA CNRS CNRS, UMR3685, UMR7065, CEA-DRF-IRAMIS – France

⁴ CITERES, Université de Tours, CNRS: UMR7324 – France

Principalement élevée entre le milieu du XIII^e et le début du XVI^e siècle, la cathédrale de Tours compte un des plus exceptionnels ensemble d'armatures de fer pour une église gothique. Pourtant, à l'image de la cathédrale gothique, ces armatures ont fait l'objet de peu d'études à ce jour. En effet, l'insuffisance de sources, la chronologie de la cathédrale, son chantier et l'approvisionnement en matériaux posent toujours de nombreuses questions. On s'interroge en particulier sur la construction du chevet au milieu du XIII^e siècle, l'éventuelle rupture avec l'élévation du transept et les interruptions de chantier pour la nef. En outre, les conséquences de l'incendie de 1425, qui ravage le clocher, est mal documentée, aucune source historique directe ne renseignant sur l'étendue des restaurations effectuées au XVI^e siècle. L'étude des fers de construction, notamment par l'intermédiaire de leurs procédés de production et par la détermination de groupes de provenance, apporte un éclairage sur ces questions. En outre, la longue amplitude chronologique de construction de la cathédrale, jusqu'au début de l'époque moderne permet aussi de questionner l'introduction du procédé de réduction indirecte dans la région. Un inventaire général des armatures (localisations, dimensions, tracéologies) est en cours de réalisation depuis 2018. Il se concentre notamment sur les nombreuses armatures du triforium (tirants, barlotières tirants et barres transversales), présentes dans le chœur, le transept et la nef, ainsi que sur diverses armatures (chainages, agrafes, pitons et étriers) présents dans le grand comble. Cet inventaire a permis la réalisation de 56 prélèvements répartis sur l'édifice, soumis à une analyse métallographique et chimique complète (observations microscopiques, dosage des inclusions non métalliques en EDS-MEB puis en LA-ICP-MS)

selon des méthodes déjà bien éprouvées afin de caractériser la qualité du métal, mais aussi de déterminer les procédés techniques de production et d'établir des groupes de provenance de composition chimique cohérente.

Ce poster présentera les résultats de ces analyses, qui révèlent une assez grande homogénéité des fournitures pour le triforium, sans rupture notable dans l'approvisionnement entre le chœur et le transept. En revanche, la distinction des procédés de réduction du fer (direct et indirect) met en évidence des phases de restauration jusqu'ici peu documentées dans le grand comble. Enfin, en l'attente d'une véritable étude de provenance, ces travaux posent une première pierre à la compréhension des réseaux d'échanges et d'approvisionnement en fer dans cette région du royaume de France à la fin du Moyen Âge.

Mots-clés : Cathédrale, Fers de construction, Analyses métallographiques, LA-ICP-MS ; Provenance

Etude interdisciplinaire des déchets métallurgiques du site de Bragny « Sous Moussières »

Léna Belhade¹, Marion Berranger², Emilie Dubreucq³, Enrique Vega⁴

¹ Chrono-environnement – CNRS, Université de Franche-Comté, UMR6249 – France

² IRAMAT – Laboratoire Métallurgies et Cultures, UMR7065 – France

³ TRACES, Université Toulouse Jean Jaurès – Université Toulouse le Mirail – Toulouse II, UMR 5608 – France

⁴ LAPA-IRAMAT/NIMBE – CNRS – UMR 7065 – CEA – Université Paris-Saclay – France

Tout en réalisant de nouvelles opérations de terrain, le Programme Collectif de Recherche « Confluence Saône-Doubs à l'âge du Fer (dirigé par E. Dubreucq et M. Thivet) », reprend la documentation et l'étude des sites emblématiques des âges du Fer de Bragny-sur-Saône et Verdun-sur-le-Doubs (Saône-et-Loire).

Rattachée à ce PCR, une étude interdisciplinaire des déchets métallurgiques issus d'une fouille ancienne du site de Bragny «Sous-Moussières», est réalisée dans le cadre d'un master recherche de l'Université de Franche-Comté. Datée entre la fin du VI^e siècle et le début du IV^e siècle av. n.è., l'occupation repérée en bord de Saône est interprétée comme une agglomération ouverte à vocation artisanale et commerciale, caractérisée par des vestiges remarquables tels que des importations méditerranéennes et une quantité exceptionnelle de déchets métallurgiques.

Fouillé par A. Guillot en 1973 et 1974, le secteur de Bragny II dont il est question ici, a révélé une structure semi-excavée dont le comblement riche en mobilier archéologique est daté de LT A.

Le poster proposé vise à présenter l'étude interdisciplinaire des déchets métallurgiques (près de 140 kg) découverts dans ce secteur de fouille d'à peine 14 m². L'étude associe analyses macroscopiques et métallographiques des chutes métalliques et des scories afin de tenter de déterminer la nature de ces activités métallurgiques, l'importance de celles-ci et le niveau

de spécialisation des artisans forgerons. Une analyse chimique des inclusions de scorie au sein du métal a également été entreprise avec de restituer les réseaux d'approvisionnements des produits métalliques transformés au sein de ce site de production majeur du début du second âge du Fer, situé dans un secteur géographique clef de l'Est de la Gaule.

Mots-Clés: Déchets métallurgiques, Début du Second Age du Fer, Etude Interdisciplinaire, Analyse Macroscopique, Métallographique, Chimique.

Les disques perforés en roches du site magdalénien de Pincevent (La Grande-Paroisse, France) – Essais de provenance par étude pétrographique multi-échelle

Aurélien Chassin De Kergommeaux¹, Hélène Salomon¹, Caroline Peschoux², Emilie Lesvignes², Elisa Caron-Laviolette²

¹ EDYTEM – Université Savoie Mont Blanc, CNRS, UMR5204 / FRE 2641 – France

² ArScAn – CNRS, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, UMR 7041 – France

Le site magdalénien de Pincevent a livré une production de petits disques perforés en roches tendres de couleurs (blanc, jaune et rouge) et de natures variées (craie et roches ferrifères). Des analyses combinant pétrographie et technologie ont permis d'étudier les propriétés des roches utilisées, les provenances des matières et les chaînes de production et de consommation de ces objets singuliers. Les résultats obtenus révèlent une sélection des matières qui favorise la couleur au détriment des facilités de façonnage, ce qui a nécessité la mise en œuvre de savoir-faire techniques adaptés à ces matières particulières. Tandis que le site de Pincevent se trouve à la croisée de deux grands bassins versants (celui de l'Yonne et celui de la Seine en amont) riches en matières ferrugineuses, une provenance extra régionale de certaines de ces matières a pu être inférée suite aux études pétrographiques (observations macro- à mésoscopiques, MEB-EDX, microscope optique polarisant et métallogénique). Cette origine questionne donc la connaissance du territoire, mais aussi celle des propriétés physiques de ces sociétés magdaléniennes.

Mots-Clés: Paléolithique, Rondelle, Craie, Roche ferrifère, Perforation, Réemploi, Matière colorante, Provenance, Pétrographie

Modelling ancient bronze craft techniques in Italy. From ore to object and back

Veronica Cicolani¹, Thomas Huet², Gilberto Artioli, Ivana Angelini, Caterina Canovaro

¹ AOROC, CNRS-PSL, ENS Paris, UMR8546 – France

² ASM, Université Paul Valéry – Montpellier III, CNRS, UMR5140 – France

The ANRJCJC Itineris (<https://anr.fr/Projet-ANR-21-CE27-0010>) focuses on the characterisation of Italic bronze craftsmanship as a key to re-reading and modelling cultural interactions in Europe during the Early Iron Age (Cicolani 2020). Combining 3D and spatial data modelling, archaeology and archaeometry the goal is to identify the northern italic metalwork traditions and the techno-cultural transfers, emphasizing the role of artisans and their involvement in the process of cultural identity and formation. In this framework, the characterisation of the copper alloy chaîne opératoire and the provenance of raw material is a major challenge in order to trace supply and production strategies, including the mining activities as well as the circulation and multiscale trade networks of raw material and products. In this paper will present the preliminary results of the ongoing ANR, more particularly a first comparative study between the metal productions of the Golasecca culture (North-Western part of Italy) and cultures found north of the Alps (Hallstatt). For this purpose, 12 copper-alloy objects held in the Musée d'Archéologie nationale of Saint-Germain-en-Laye (MAN) and sampled in the framework of the DFG project *Die Sitzbank von Hochdorf* were selected. This set is mostly composed of fibulae and clothing items covering a chronological range from the 7th to the end of the 6th century BC and belonging to the Golasecca culture, whose productions spread across the Alps in the Celtic area during the first iron age (Cicolani 2017). Combining LIA and elemental composition analysis with archaeological study, this first reference dataset is compared with the AACP database (Padua University, <http://geo.geoscienze.unipd.it/aacp/welcome.html>), which registered LIA data of ores for provenancing ancient metals (Artioli *et al.* 2016), in order to point out the ores provenances. Moreover, to better contextualise the data interpretation, a specific formal framework was created that links statistics and network analysis of archaeometric and archaeological data. These results are also presented and shared through a catalog of 3D objects using open-source web software, providing free access to computer scripts for replicability of data analyses, all gathered on the project's GitHub/GitLab platform. These results are also displaying and sharing through a 3D catalog of objects thanks an open-source web software, offering an open access computer scripts for replicability of data analyses, all gathered on the project's GitHub/GitLab platform. This multiscale and global approach, in line with the FAIR principle, highlights provenance of the raw material and artifacts both in terms of geographical and cultural context. Finally, we will discuss how archaeology is able to profile ancient cultures from a multi-proxy and formal approach.

Artioli G., Angelini I., Nimis P., Villa I. M. 2016, A lead-isotope database of copper ores from the South-eastern Alps: A tool for the investigation of prehistoric copper metallurgy, *Journal of Archaeological Science*, 75. 27-39. DOI: 10.1016/j.jas.2016.09.005.

Cicolani, V. 2017, *Passeurs des Alpes. La culture de Golasecca entre Méditerranée et Europe continentale à l'âge du Fer*, Paris: Éditions HERMANN, 2017, 360 p. (ISBN: 97827056 94166).

Cicolani V., Huet Th. 2019, Essai de modélisation des échanges et des réseaux dans les Alpes centrales au premier âge du Fer, *142 Colloque CTHS, Pau, 2017*, DOI: <https://doi.org/10.4000/books.cths.7827>

Keywords: Provenance, Network of raw materials, LIA and chemical composition analysis, Iron Age, Northern Italy, cultural mobility

Définition des sources géologiques dans le cadre des recherches de provenance des matières colorantes ferrugineuses : influence sur le résultat des analyses statistiques

Laure Dayet¹

¹EDYTEM, CNRS, Université Savoie Mont Blanc, UMR5204 – France

La définition de ce qu'est une source est la base de toute recherche de provenance en archéologie. Les matières colorantes ferrugineuses, souvent appelées « ocre » même si de façon impropre, n'échappent pas à cette règle. La définition des sources est particulièrement importante lors du traitement de données géochimiques. La variabilité élémentaire intra-source et inter-source conditionne l'attribution d'objets archéologiques à une source. Pour les matières colorantes ferrugineuses, il existe diverses façons de les définir : il peut s'agir d'une localisation précise où se concentre les matières ferrugineuses, d'une localisation associée à un type de lithologie particulier, d'un ensemble de gîtes à la géochimie proche, ou d'une formation géologique. Il a été montré que des lithologies différentes de roches ferrugineuses pourtant trouvées à un même emplacement ont un comportement géochimique différent. Il pourrait être pertinent de dissocier les lithologies dans les analyses statistiques des données géochimiques. Afin de définir si séparer les lithologies est pertinent ou non, nous avons étudié comment la définition des sources influence le résultat des analyses statistiques, à partir d'un contexte géologique où ont déjà été menées des recherches de provenance. Nous avons réalisé différents traitements statistiques sur des données géochimiques acquises par ICP-OES et ICP-MS, non supervisés (analyses en composantes principales, ACP), et supervisés avec un *a priori* sur les sources (analyse discriminante linéaire, ADL) en testant différents *a priori* sur les sources (lithologies d'un même gîte groupées ou séparées). En ADL, lorsque les échantillons d'un même profil d'altération sont groupés, l'attribution d'échantillons inconnus à leur source d'appartenance théorique est plus fréquente que lorsque les différentes lithologies sont séparées. Néanmoins, les résultats sont très variables selon les éléments pris en compte dans l'analyse. En ACP, les résultats sont très stables quels que soient les éléments choisis. L'ACP semble donc une bonne méthode exploratoire pour débiter l'analyse, tandis que la LDA permet d'affiner les résultats. Ces travaux seront à étendre à d'autres contextes.

Mots-clés : Matières colorantes, Roches ferrugineuses, Recherche de provenance, Géochimie, Analyses statistiques

Production et commerce du fer au Levant sud, des guerres Arabo-byzantines à la fin des Croisades (7^e-13^e siècle)

Jonas Horny¹, Philippe Dillmann², Sylvain Bauvais^{1,2}

¹ LAPA-IRAMAT/NIMBE – CNRS – UMR 7065 – CEA – Université Paris-Saclay – France

² Centre de recherche français de Jérusalem – Israël

La question de la métallurgie du fer au Levant sud met en jeu des problématiques particulières. Les ressources minérales ferrugineuses locales sont rares et n'ont a priori pas conduit au développement d'une importante activité de production primaire de fer. Les seuls sites où une telle production a pu être attestée se situent en périphérie du territoire israélien actuel (Jordanie et Liban). Or, si la région n'a pas été productrice de fer, elle en a néanmoins été une grande consommatrice à la période médiévale. Le fer est un matériau impliqué dans divers champs d'activités des populations de cette époque : l'agriculture, l'artisanat et la construction, la guerre, ce qui est mis en évidence par le mobilier découvert sur les sites archéologiques locaux. Cela implique l'existence de réseaux d'échange ayant permis l'approvisionnement de la région en ce matériau vital et stratégique.

Les réponses à ces questionnements proviendront d'un travail pluridisciplinaire, interrogeant les sources historiques, archéologiques et archéométriques via la méthodologie de l'analyse de provenance. Cette méthodologie est appliquée à des corpus de mobilier archéologique provenant de sites israéliens. A ce jour, cinq sites ont pu être échantillonnés : les châteaux croisés de Chastelet, Belvoir et Montfort et deux sites Early Islamic à Jérusalem et à Jaffa. Ces ensembles d'objets offrent la possibilité d'étudier le métal utilisé pour la production locale d'objets de consommation courante entre le 7^e et le 13^e siècle. Le corpus d'objets en alliage ferreux est étudié à l'aide de différentes méthodes, mettant en œuvre plusieurs outils analytiques. La finalité des travaux archéométriques est de réaliser une étude de provenance basée sur les éléments majeurs et traces présents dans les inclusions non-métalliques des objets. Le protocole comprend une documentation complète des objets avant tronçonnage et enrobage des échantillons. Ces derniers font l'objet d'examen métallographiques sur section polie afin de documenter la structure et la nature du métal. Les inclusions non-métalliques sont dosées par MEB-EDS pour les éléments majeurs et LA-ICP-MS pour les éléments traces. Les données chimiques obtenues sont triées pour ne conserver que les inclusions de scorie provenant de la réduction du minerai de fer. Elles sont converties en équivalent oxyde puis transformées en valeurs logarithmiques sur lesquelles sont appliquées deux opérations de statistiques multivariées (CAH et ACP) afin d'obtenir une signature chimique caractéristique de l'objet. Cette signature peut être mise en comparaison relative avec d'autres objets ou être confrontée à des échantillons de scories provenant de sites de réduction connus et caractérisés avec la même méthode.

Ces travaux analytiques sont actuellement en cours. Les données historiques et archéologiques permettent de formuler des hypothèses concernant les résultats attendus. Au vu du faible nombre de sites de réduction identifiés et caractérisés chimiquement au Proche Orient, il est attendu que des sources de production de fer soient identifiées relativement au sein des corpus étudiés sans pouvoir être rattachés géographiquement. Il est néanmoins possible d'espérer des correspondances avec les sites les plus proches de la zone d'étude. De nombreuses sources textuelles faisant référence au commerce du fer depuis l'Europe occidentale en direction de l'Orient, notamment par le biais des cités marchandes italiennes, une correspondance avec des sites de production européens (Italie, sud de la France, Carinthie etc.) est donc également espérée.

Mots-Clés : Fer, Moyen-Age, Levant, Provenance

Archaeometric study of the technical evolution of the painted decorations in the ancient city of Limonum

Adriana Iuliano¹, Isabelle Pianet¹, Mathilde Carrive²

¹ Archéosciences Bordeaux – UMR 6034 – Université Bordeaux Montaigne – France

² Hellénisation et romanisation dans le monde antique – Université de Poitiers, UR15071 – France

Roman influence expanded in Gaul from the 3rd century BC and culminated with its conquest, bringing with it new construction and decoration techniques, including wall painting. Painting production in southern Gaul is well studied and documented from an archaeological and artistic point of view. In addition, in the last ten years, archaeometric approaches to the study of ancient painted walls were applied to both the supporting mortars and the paint layer. However, these studies were usually limited to a single or a group of close, contemporary buildings. The resulting data does not allow us to write a history of the evolution of the techniques used in ancient painting. This research focuses on the archaeometric study of a larger corpus of wall paintings in southern Gaul, that of the painted plasterwork of the ancient city of Limonum (Poitiers, France) in order to reach a global interpretation of the wall painting craftsmen techniques and to write a history of the evolution of the techniques used in ancient painting. Its ultimate aim is to identify, document, and explain tipping points in Gallo-Roman decorative traditions, which are known for gradually acquiring their autonomy from Italian models and techniques in the second half of the 1st century BC. By applying a multi-analytical protocol consisting of state-of-the-art techniques both in situ and in the laboratory, it was possible to characterize original materials such as pigments and binders and the technology employed in the production of the wall paintings of Limonum.

Keywords : Roman Gaul, Limonum, Wall Painting, Painted Plaster, Parietal Decor, Pigment, Binder, Production, Archaeometry, Multi-Analytical Protocol

De Nottingham à Lviv : Les carrières historiques d'albâtre en Europe et leurs zones d'influence au fil des siècles

Wolfram Kloppmann¹, Lise Leroux², Philippe Bromblet³, Tanita Ciesielska⁴, Uliana Naumenko⁵, Ulyana Bornyak⁶, Aleksandra Lipinska⁷

¹ Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) – BRGM – France

² LRMH – Centre de Recherche sur la Conservation – France

³ CICRP, Marseille – France

⁴ Academy of Fine Arts in Krakow – Pologne

⁵ Institute of Geological Sciences, The National Academy of Sciences of Ukraine – Ukraine

⁶ Geology department, Ivan Franko National University of Lviv – Ukraine

⁷ Kunsthistorisches Institut, Universität zu Köln – Allemagne

Depuis une décennie, l'albâtre gypseux, tant dans son acceptation géologique qu'historique ou patrimoniale, est au centre de projets successifs qui tentent de reconstituer les «routes

de l'albâtre» qui parcouraient l'Europe au moyen-âge et au début de l'époque moderne (Kloppmann *et al.*, 2014; Kloppmann *et al.*, 2017; Kloppmann *et al.*, 2018; Bromblet *et al.*, 2020; Appolonia *et al.*, 2022; Briat-Philippe *et al.*, 2022; Jugie *et al.*, 2022; Kloppmann *et al.*, 2022). Entre 2021 et 2023, trois expositions muséales majeures ont été conçues au Liebieghaus à Francfort, au Musée M à Louvain (avec le Louvre) et au Cleveland Museum of Arts (Ohio, USA), incluant les résultats de ces études. Croisant sources écrites avec informations intrinsèques au matériau, notamment les signatures isotopiques des strontium, soufre et oxygène, l'on peut désormais relier la majeure partie de plus de 200 œuvres analysées à des carrières ou zones d'exploitations historiques en Angleterre, France, Espagne, Italie et Allemagne. Dans le cadre du projet franco-allemand ANR-DFG Materi-A-Net, cette recherche s'ouvre maintenant vers l'Est, en incluant les albâtres «ruthéniens», des Carpates occidentales à la frontière de l'actuelle Pologne et de l'Ukraine. En parallèle, des études complémentaires sont menées dans le but de combler des lacunes dans le référentiel actuel, apparues à travers l'étude des sources écrites ou du fait de l'existence d'œuvres isolées ou de petits groupes d'œuvres dont les signatures isotopiques ne peuvent être associées à aucune zone d'exploitation reconnue à ce jour. Parmi ces lacunes figurent les carrières exploitées par les Ducs de Lorraine, des carrières en Thuringe et dans la Hesse qui ont fourni le matériau de réalisations majeures au sein des cours de Saxe-Cobourg et de Cassel, mais aussi celles de Sicile utilisées pour un groupe important et à large diffusion de Vierges à l'Enfant dites «de Trapani».

Nous présentons ici un état de l'art de l'archéométrie de l'albâtre en Europe, des carrières historiques des East Midlands aux Carpates, une vision diachronique de l'utilisation de ce matériau et des perspectives, notamment méthodologiques.

Appolonia L. *et al.* (2022), Jugie S. *et al.* (2022), Briat-Philippe M. *et al.* (2022) in L'albâtre, matériau de la sculpture du Moyen Âge et de la Renaissance. Huitième colloque d'ARDS sur l'actualité de la recherche sur la sculpture du Moyen Âge et de la Renaissance, Paris, Musée du Louvre, 18-19 January 2022

Bromblet P. *et al.* (2020) *ArcheoSciences, revue d'archéométrie*, 44, 175-188. Kloppmann W. *et al.* (2018) *Revue de l'Art*, 200/2018-2, 9-20. Kloppmann W. *et al.* (2014) *Archaeometry*, 56, 203-219. Kloppmann W. *et al.* (2022) *Plos one*, 17, e0265242. Kloppmann W. *et al.* (2017) *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 11856–11860.

Mots-Clés: Isotopes, Soufre, Strontium, Oxygène, Albâtre Gypseux, Sculpture, 14^{ème}-17^{ème} Siècle, Carrières Historique

À travers les vallées et par-delà les montagnes : premiers regards sur les stratégies d'exploitation de l'obsidienne des pasteurs mobiles des piémonts du Petit Caucase

Marie Orange^{1,2,3}, Mark Moore³, François-Xavier Le Bourdonnec¹, Rémi Berthon⁴, Savaş Sarialtun⁵, Veli Bakhshaliyev⁶, Catherine Marro²

¹ Archéosciences Bordeaux – UMR 6034 – Université Bordeaux Montaigne – France

² Archéorient – Université Lumière – Lyon 2, CNRS, UMR5133 – France

³ Department of Archaeology, Classics and History, School of Humanities, Arts and Social Sciences, University of New England – Australie

⁴ AASPE – MNHN, CNRS, UMR7209 – France

⁵ Department of Museology and Cultural Heritage Management, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi – Turquie

⁶ Department of Archaeology, National Academy of Science of Azerbaijan, Nakhchivan – Azerbaïdjan

De nombreuses études ont évoqué un lien ‘évident’ entre le pastoralisme mobile et la circulation du matériau obsidienne. C’est particulièrement le cas dans la région du Caucase, où l’obsidienne est une ressource abondante et constitue une large part – voire la quasi-totalité – des industries lithiques de nombreux sites préhistoriques. Cependant, la question du rôle des pasteurs mobiles caucasiens dans les réseaux de circulation de l’obsidienne est complexe, car les éléments de preuve sont généralement indirects. Cette communication se propose d’aborder la question à travers l’étude exhaustive, de haute résolution, des provenances, tout reconstituant les chaînes opératoires complètes de ce matériau. Il s’agit donc de combiner approche géochimique et approche techno-morphologique pour analyser l’ensemble des étapes de la vie de ce matériau sur un site et dans une région donnée, ainsi que leur évolution à travers le temps. Dans le contexte de la Mission Archéologique du Bassin de l’Araxe, de nombreux campements de pasteurs mobiles datés principalement du Chalcolithique ont été découverts grâce à des prospections menées au cours des dix dernières années au Nakhchivan (Azerbaïdjan), dans les piémonts du Petit Caucase. Ces derniers ont révélé des industries en obsidienne de natures diverses, aussi bien au niveau du nombre d’artefacts que de l’origine des matières premières. Nous avons ainsi mis en place une stratégie analytique flexible alliant plusieurs méthodes d’analyse complémentaires pour révéler la provenance de ces séries lithiques, et mené plusieurs études combinant provenance et technomorphologie. Grâce à cette approche, nous avons pu montrer que les différentes populations de pasteurs mobiles du Nakhchivan ont adopté des stratégies d’exploitation très diverses selon leur localisation dans le paysage (vallée / piémonts / haute montagne) mais aussi selon les types d’interactions qu’elles entretiennent avec les régions voisines (Iran du Nord-ouest, Anatolie de l’est, Mésopotamie). Ces informations, couplées aux données obtenues à partir des productions céramiques et des stratégies d’exploitation des ressources animales, semblent indiquer qu’une diversité importante de groupes de pasteurs mobiles ont fréquenté le Nakhchivan à cette période, suggérant que les modes de distribution de l’obsidienne étaient pluriels.

Mots-Clés: Mobilité, Pastoralisme, Exploitation des ressources naturelles, Obsidienne, Caucase, Chalcolithique

Aquitania ornata. Formes, matériaux et techniques du décor pariétal en Aquitaine romaine. Le cas des décors en marbre

Isabelle Pianet¹, Marie-Claire Savin², Graziella Tendron³

¹ Archéosciences Bordeaux – UMR 6034 – Université Bordeaux Montaigne – France

² Unitat d’Estudis Arqueomètrics, Institut Català d’Arqueologia Clàssica (ICAC) – Espagne

³ EVEHA – Études et valorisation archéologiques, Agence de Poitiers – France

Ce travail concerne l'origine des marbres blancs utilisés pour confectionner des chapiteaux d'applique, des portraits et autres chapiteaux retrouvés dans des thermes situés dans les cités de Limonum (Poitiers, thermes Saint-Germain), Mediolanum Santonum (Saintes, thermes de Saint-Saloine) et Cassinomagus (Chassenon, thermes de Longeas). Sont-ils issus de carrières gauloises ou de carrières plus lointaines comme celles de Paros en Mer Egée ou de Carrare en Italie ? On s'intéresse plus spécifiquement à des carrières pyrénéennes, et en particulier celles de Saint-Béat (Département de Haute-Garonne) dont on sait désormais qu'ils ont été exportés au-delà du seul district de Saint-Béat. Par exemple, nombre d'épithames, d'ex-voto voire de togati datant du I^e au III^e siècle de notre ère et découverts dans l'antique Burdigala (Bordeaux) ont été sculptés dans ces marbres pyrénéens.

La provenance des marbres blancs de colonnes et chapiteaux d'appliques des Thermes Saint-Germain (4 items) de Saint-Saloine (5 items) et de Longeas (10 items) a été déterminée par une approche multi-technique alliant des approches traditionnelles (pétrographie, cathodoluminescence et rapports isotopiques du carbone et de l'oxygène) à des approches plus récentes (RMN et pXRF). Ces dernières méthodes requièrent la construction d'une base de données de marbres géologiques que nous construisons petit à petit au laboratoire, en particulier pour les marbres pyrénéens, l'utilisation de la pXRF permettant d'obtenir des données de manière non invasive, rapide et in situ.

La stratégie d'élimination progressive combinée à une étude statistique des données recueillies permettent d'attribuer les provenances des marbres utilisés. Le marbre utilisé pour une majorité des artefacts étudiés provient des carrières de Saint-Béat, ce qui démontre l'étendue de l'utilisation de ces marbres au-delà de la seule vallée de la Garonne.

Mots-Clés: Marbre, Provenance, Analyse, Pyrénées, Décors.

Les lingots en laiton de l'épave d'Agay (Saint-Raphaël) : de rares témoins du commerce de matières premières en Méditerranée médiévale (9^e-10^e siècles)

Lise Saussus¹, Nicolas Thomas², Catherine Richarté-Manfredi³, David Bourgarit⁴, Benoit Mille⁴, Marie-Pierre Jézégou^{5,6}

¹ Postdoctorante DIM-MAP, Centre de recherches historiques, EHESS / C2RMF / Centre de recherches d'archéologie nationale, UCLouvain.

² INRAP, WBI international, Centre de recherches d'archéologie nationale, Centre d'études orientales, UCLouvain, Laboratoire de médiévistique occidentale de Paris, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, MCC

³ CIHAM, ENS – Lyon, Université Lumière – Lyon 2, EHESS, Université Jean Moulin – Lyon 3, Avignon Université, CNRS, UMR5648

⁴ Centre de recherche et de restauration des musées de France / Temps, Technologie et ethnologie des mondes préhistoriques, UMR 8068, CNRS – Université Paris Nanterre / Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

⁵ DRASSM, MCC, Marseille - France

⁶ ASM, CNRS, Université Paul-Valéry – Montpellier 3, MCC, UMR5140 – France

Découverte au large d'Agay (Saint-Raphaël, Var) en 1963 et fouillée dès la fin des années 1960, l'épave est datée de la fin du 9^e siècle ou du début du 10^e siècle et transportait des lingots de laiton, dont seuls 27 ont été prélevés lors de la fouille, pour un total d'un peu plus de 3 kilogrammes de métal. Ils représentent l'échantillon d'une cargaison estimée à plusieurs centaines d'exemplaires, éléments d'un chargement diversifié de marchandises en provenance du monde musulman, comprenant notamment des vaisseaux en céramique et en métal. Ces lingots se présentent sous la forme de baguettes d'une longueur variant de 13 à 49 mm, pour une masse moyenne de 132 g. Rares vestiges du commerce de matières premières, ils offrent l'opportunité de caractériser le matériau dont ils sont constitués, en déterminant leur composition élémentaire. Des analyses par PIXE et ICP-MS ont été réalisées en vue de déterminer les teneurs en éléments majeurs, impuretés et éléments traces dans les métaux. Celles-ci visent à évaluer l'homogénéité de l'ensemble des lingots et à s'interroger sur leur origine et leur possible usage s'ils étaient arrivés à destination. L'étude en cours a également pour objectif de replacer cette découverte dans le contexte plus large de l'émergence du commerce de laiton en barres au haut Moyen Âge, tant au Maghreb que dans le nord de l'Europe.

Mots-clés : Approvisionnements, Laiton, Lingots, Méditerranée, Haut Moyen Âge

Regard sur le paysage chimique de la fourniture métallique dans le bâti bruxellois au XV^e siècle à travers l'étude de quatre édifices

Enrique Vega¹, Philippe Dillmann¹

¹ LAPA – CNRS, CEA de Saclay, UMR5060 – France

Si l'importance du métal dans l'architecture médiévale a été mise en lumière par de nombreux travaux, la compréhension des modalités d'approvisionnement en fer des chantiers, dédiés à l'édification de bâtiments civils ou religieux, reste en grande partie lacunaire. En outre, le potentiel heuristique que représente la circulation des fournitures pour déceler des transferts techniques et des choix économiques confère à l'approche archéométrique de l'étude des fers un rôle substantiel à travers, notamment, la détermination des procédés de fabrication à partir de la caractérisation élémentaire des inclusions de réduction, les analyses chimiques de provenance et la datation absolue du fer.

En nous appuyant sur une méthodologie développée au sein du Laboratoire Archéomatériaux et Prévisions de l'Altération (LAPA-IRAMAT), nous présentons la première synthèse ayant pour objet un ensemble constitué de quatre bâtiments bruxellois (l'Hôtel de Ville de Bruxelles, la collégiale Saints Pierre-et-Guidon, ainsi que les églises Notre-Dame du Sablon et Notre-Dame de la Chapelle) dont les édifications, relativement concomitantes, débutent courant du XV^e siècle. Le corpus a été réuni à l'occasion de nombreuses interventions sur le terrain en collaboration avec l'Université de Liège et l'Institut Royal du Patrimoine (dans le cadre d'une étude sur les éléments ferreux des charpentes), et avec la direction des Monuments

et des Sites de la ville de Bruxelles, impliquée notamment dans la restauration du portail de l'Hôtel de Ville.

La période chronologique à laquelle a eu lieu l'édification de ces monuments civils et religieux correspond à un moment de changement technique majeur de la chaîne opératoire de fabrication du fer. En l'occurrence, il s'agit du passage d'un procédé direct à un procédé indirect qui produit de la fonte. Ce dernier diffuse progressivement dans le royaume de France dans le courant du XV^e siècle et, de manière plus précoce, sur le territoire belge avec le procédé dit « Wallon ». Grâce à la datation par radiocarbone de ce corpus bruxellois inédit, de nouveaux éléments chronologiques affinent notre perception de la dynamique de diffusion du procédé indirect dans le territoire wallon pour une période jusqu'ici peu documentée. La fourniture métallique des bâtiments étudiés, du fait qu'elle émane, dans la plupart des cas, à la fois des deux filières techniques de production a donc diverses origines. Celles-ci sont liées au procédé technique d'élaboration du fer mais également à la provenance géologique de la matière première. En effet, l'analyse des éléments chimiques présents en traces, pour les objets issus de la filière directe, montre plusieurs groupes de provenance.

L'analyse statistique des signatures chimiques trouvées dans les renforts métalliques montre que chaque chantier de construction a été alimenté par des sources plurielles. De plus, nous avons pu mettre en évidence des sources d'approvisionnement communes aux différents chantiers. Étonnamment, les données chimiques ne présentent que peu de liens avec les gisements métallifères que nous connaissons, à ce jour, dans le proche territoire wallon. Bien qu'un grand nombre d'origines géologiques restent à déterminer, il y a fort à parier qu'une partie non négligeable des fournitures métalliques induisent des approvisionnements à des échelles géographiques plus importantes. Cela nous engage à repenser les critères qui président à la circulation des matériaux, notamment la notion d'optimisation, qu'elle se rattache à un volet économique, énergétique ou à l'opportunité des acteurs.

Mots-Clés : Circulation, Statistique, Fer, Procédés techniques, Provenance

Reconsidering Garus ware in early Islamic Iran

Sylvie Yona Waksman¹, Mahdi Kazempour²

¹ CNRS, UMR5138

² UMR5138 Arar, Collegium de Lyon, Tabriz Islamic Art University

“Garus” pottery is known from museums, through beautiful examples collected in Iran and the Caucasus at the beginning of the 20th century. They are identified stylistically, by their motives created in the sgraffito and champlevé techniques. Although their name designates a geographical area in North-Western Iran, their production sites are not identified.

Ongoing excavations in Agche Rish, North-Western Iran, provide for the first time the opportunity to reconsider this ware, based on archaeological and archaeometric data. Garus ware was found in Agche Rish in stratigraphic contexts, and pottery production is attested on

the site by kiln furniture and pottery wasters. Such features enable us to contextualize Garus ware chronologically, and to test the hypothesis of a local production using chemical analysis. This constitutes a first step in research on Garus pottery, thought to have been manufactured by the nomadic Garus tribes which controlled the crossroads between the Caucasus, Central and Western Iran in the early Islamic period.

Keywords: Pottery, Iran, Nomadic tribes

Results of Organic Residue analyzes of Commercial Amphorae from Parion (Canakkale, Turkey)

Ismail Akkas¹

¹ Karamanoglu Mehmetbey University, Archaeology Department – Turquie

Amphorae show a heterogeneous physical type and petrographic structure according to their production place, date, capacity and type of product carried. Therefore, the determination of the production areas of the amphorae, the products transferred, their commercial dates, as well as the commercial relations of the period in which they were imported/exported, is very important for the advancement of scientific studies of ancient cities. Ancient amphorae are very common archaeological finds in the Mediterranean. This ceramic product, used for the storage and transportation of olives, wine, oil, spices, fish products and other liquid or semi-liquid products, was widespread and customary. Organic remains were unearthed from 10 different amphora forms found during excavations in the city of Parion (Çanakkale, Turkey) in the ancient Troad region. The possible organic remains contained in the amphora finds unearthed as a result of archaeological excavations were determined by archaeometric analysis methods. The aim of this presentation is to introduce the chemical results of the properties of organic food residues in commercial amphorae that were heavily imported between the 7th century BC and the 13th century AD in the city of Parion. Samples were analyzed using GC-MS and HPLC/MS, markers of pine resin were found in seven samples. Biomarkers of vegetable oils (including saturated and unsaturated fatty acids, alcohols and alkanes) were detected in three samples. The results shed light on the function of different types of amphora, traditionally interpreted as vessels for olive oil, wine, and fish sauce, and provide new evidence to reassess the trade system between Parion and other regions in antiquity.

Keywords: Parion, Organic Residue, GC, MS, HPLC

Thème 2

SOCIO-ÉCOSYSTÈMES : BIODIVERSITÉ, ADAPTATIONS ET TRAJECTOIRES

Coordination : Auréade Henry, Lionel Gourichon

La nature des liens que les humains ont tissés avec leur milieu est une question centrale pour la compréhension de l'organisation économique, culturelle et sociale des sociétés passées. Des toundras aux forêts tropicales, des hauts plateaux aux zones littorales, les groupes humains ont peuplé une grande diversité d'écosystèmes. Ce faisant, certains ont relevé des défis de taille, tirant parti d'environnements parfois extrêmement contraignants en développant des schémas adaptatifs complexes grâce à des stratégies aussi variées qu'innovantes sur le plan des modes d'occupation et d'exploitation du territoire, et à travers notamment les modalités d'acquisition, de gestion et de transformation des ressources et les systèmes techniques associés. En tant que partie intégrante des écosystèmes quaternaires, dont l'histoire est aussi complexe que dynamique, les sociétés ont pu subir les aléas du climat et les variations du milieu, mais aussi contribuer aux forçages et aux bouleversements écologiques. Les différentes trajectoires empruntées par ces socio-écosystèmes ont des répercussions jusqu'au cœur des organismes vivants, affectant l'évolution des agents pathogènes et plus généralement, l'état sanitaire des populations humaines, animales et végétales.

Les quatre sessions proposées dans ce thème portent sur l'évolution de la biodiversité et des écosystèmes et les adaptations humaines, animales et végétales au milieu, l'exploitation de territoires écologiquement contrastés, la gestion des ressources sauvages et domestiques et les questions liées à la santé humaine et animale dans le passé. Elles visent à explorer les trajectoires et les systèmes socio-écologiques, notamment par des approches intégrées, toutes les disciplines archéologiques, archéométriques et paléoenvironnementales étant les bienvenues, les plus classiques comme les plus exploratoires. Au sein du périmètre de chaque session les contributions pourront porter sur des restitutions sur le temps long ou encore des instantanés des relations humains-milieus dans le passé, sans restriction géographique ou chronologique.

SESSION 2.1 : ÉVOLUTIONS, FLUCTUATIONS ET BASCULEMENTS DES ÉCOSYSTÈMES PASSÉS : SUCCESSIONS ÉCOLOGIQUES, FORÇAGES CLIMATIQUES ET ANTHROPIQUES

Coordination : Tatiana Theodoropoulou, Emmanuel Desclaux, Sophie Martin

Les écosystèmes ne sont pas statiques au cours du temps, ils peuvent évoluer suivant des successions écologiques naturelles, se transformer graduellement sous l'influence de changements climatiques ou environnementaux lents, subir des basculements brusques suite à des perturbations ponctuelles, ou encore être impactés à des degrés variables par les activités anthropiques. Cette session s'adresse à toutes les disciplines paléoenvironnementales et paléocologiques qui proposent d'étudier ces variations à différentes échelles spatio-temporelles, se reposant sur le registre fossile ou se dotant de méthodes bio-, géo- ou physico-chimiques ou de modèles/proxies écologiques. Elle s'intéressera en particulier aux approches intégrées permettant de lever les verrous du registre archéologique dans l'objectif de mieux appréhender les interactions entre climat, paysage et écosystèmes passés, de mesurer le degré de résilience de ces derniers, et d'identifier des indicateurs de pression anthropique.

Mots-clés : Ecosystèmes, Dynamique des milieux, Successions écologiques, Fluctuations climatiques, Impact anthropique, Approches interdisciplinaires

Évolutions des écosystèmes oasiens à partir du bioindicateur malacologique : le cas de l'oasis d'AlUla (Arabie Saoudite)

Hatem Djerbi¹, Louise Purdue¹, Pauline Garberi¹, Alain Carré¹, Chaïma Bousaada¹, Laurent Lespez², Valentina Villa¹, Claude Rouvier, Sophie Costa¹, Eric Andrieux, Gourguen Davtian¹, Vladimir Dabrowski

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR7264 – France

² LGP – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne – Paris 12, CNRS, UMR8591 – France

Les oasis sont des paysages anthropogéniques qui ont été occupés et exploités depuis des millénaires dans la péninsule arabique. Sur le long terme, ces paysages ont pu être influencés par des variations environnementales et les activités anthropiques. L'analyse malacologique peut fournir des informations permettant de questionner la nature et les effets de ces changements sur les paysages oasiens. Dans le cadre de récents projets dédiés à l'étude intégrée des paysages oasiens (ArcAgr-AU, oasis d'AlUla, Arabie Saoudite, Dir. L. Purdue), nous avons développé une approche systémique de terrain et de laboratoire pour étudier les assemblages malacologiques, afin d'aider à reconstituer l'évolution de ces paysages, les pratiques agraires associées et de mesurer l'impact de la gestion de l'eau et du sol sur les biocénoses malacologiques.

Pour ce faire, nous avons constitué des référentiels dans divers espaces oasiens (cultivés, abandonnés) afin d'identifier des groupes écologiques spécifiques. Clé d'interprétation des paysages anciens, nos observations ont été appliquées à l'étude de séquences stratigraphiques qui couvrent les 4 derniers millénaires. Nos données ont été confrontées à des analyses sédimentaires, pédologiques et physico-chimiques menées en parallèle.

Nos résultats mettent en évidence :

- La quasi-absence de populations malacologiques en dehors des oasis.
- La préservation différentielle de ce proxy en lien avec la salinité de l'eau et de la teneur en matière organique des sols.
- La présence localisée d'une espèce (*Vallonia pulchella* O.F. Müller, 1774) considérée comme absente de la péninsule arabique, mais actuellement connue dans des régions limitrophes (Égypte, Israël, Iran...), favorisée par la pérennité de conditions locales humides.
- Des phases de mise en culture à l'Âge du fer (≈ 800 .AEC).
- Une organisation spatiale et une gestion des ressources variables, notamment à la période Islamique.

Ces résultats suggèrent que l'anthropisation des espaces oasiens (ex. agriculture, circulation) favorise la dispersion spatiale des espèces. De plus, les communautés agricoles, par leur gestion des ressources (irrigation, amendement, réorganisation des parcelles, abandon) influent sur

les facteurs édaphiques des biotopes qui conditionnent le maintien et le développement des populations malacologiques. La composition des assemblages est donc liée à la structuration et à l'organisation des oasis étudiées.

Mots-Clés: Arabie Saoudite (K.S.A), Oasis, Agroécosystème, Bioindicateur malacologique, Reconstitution paléoenvironnementale

Analyse des isotopes stables du Lithium des invertébrés marins (*Bittium* sp.) du Pléistocène moyen final (MIS 7 et 6) de la grotte du Lazaret à Nice (Alpes-Maritimes, France)

Lucas Weppe¹, Nathalie Vigier¹, Fanny Thibon¹, Maryline Montanes¹, Jessica Cohen, Tatiana Theodoropoulou², Emmanuel Desclaux^{2,3}

¹ LOV – Sorbonne Université, CNRS, UMR7093, Institut de la Mer de Villefranche – France

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

³ Laboratoire de préhistoire du Lazaret

Les recherches mises en œuvre au Lazaret se concentrent principalement sur les successions de présence humaine et les mammifères terrestres durant la période d'occupation de la grotte (MIS 6). Une étude exploratoire a été initiée sur les concentrations et les compositions isotopiques en lithium contenues dans les coquilles de *Bittium* sp. (Gastéropode benthique et côtier, espèce subaquatique). Elle a pour but de voir si l'analyse des isotopes du lithium est susceptible de donner des informations sur les paléotempératures de la Méditerranée et sur les liens entre le climat, la végétation et l'usage des sols au cours des alternances glaciaire/interglaciaire, ou si elles peuvent être corrélées à d'autres paramètres comme le métabolisme des *Bittium*.

Dans le cadre de cette étude, 22 échantillons, provenant des différents ensembles stratigraphiques continentaux (ensembles CIII et CII, MIS 6) et marins (plage marine B, MIS 7) de la grotte du Lazaret, ont été sélectionnés et étudiés. Nous avons ensuite appliqué une méthode récemment développée afin d'extraire la signature isotopique en lithium de la partie carbonatée des coquilles (1).

Après traitement des données et des signes d'altération post-dépôt au sein du sédiment, les mesures isotopiques effectuées mettent en avant des différences notables entre les sédiments continentaux (MIS 6) et marins (MIS 7), ces derniers étant caractérisés par un $\delta^7\text{Li}$ important (19,2% et 18,1%), bien supérieur aux valeurs obtenues pour les *Bittium* sp. provenant des niveaux datant du MIS 6. Concernant les niveaux continentaux, il apparaît que les moyennes des compositions isotopiques et des concentrations en lithium sont plus faibles au niveau de l'ensemble CIII (MIS 6.2 = période glaciaire) alors qu'elles sont plus fortes au niveau de l'ensemble CII (incluant l'ensemble CII supérieur) qui correspond à un interstade (MIS 6.3). Ces premiers résultats démontrent en premier la possibilité de réaliser des mesures très fines en concentration et en isotopie du lithium dans des coquilles fossiles marines de la grotte du Lazaret. Les données obtenues montrent que cette méthode permet d'examiner les liens

entre les variations climatiques, l'extension de la végétation, le développement des sols et la chimie des eaux du littoral.

1. Bastian L, Vigier N, Reynaud S, Kerros M-E, Revel M, Bayon G (2018) Lithium Iso- tope Composition of Marine Biogenic Carbonates and Related Reference Materials. *Geostand Geoanal Res* | doi: 10.1111/ggr.12218.

Mots-Clés: Lithium, Isotopes, Paléotempératures, Pleistocène moyen final, Méditerranée, Grotte du Lazaret

Human-environment interactions through a high-resolution archaeomalacological archive

Danai Theodoraki^{1,2}

¹Römisch-Germanisches Zentralmuseum (RGZM)/Leibniz-Zentrum für Archäologie (LEIZA) – Allemagne

²Johannes Gutenberg Universität Mainz – Allemagne

Our work focuses on the reconstruction of human-environment interactions during the Early Holocene using archaeological shells as palaeoclimatic proxies. For this purpose, we are analyzing *Patella spp.* shells from the site of Franchthi in southern Greece, a well investigated prehistoric site with a long sequence of occupation. Limpet shells allow us to approach paleoclimatic variability at time scales that would have been perceived by the prehistoric inhabitants of the site in contrast with other widely used paleoclimatic and paleoenvironmental proxies. In this context, we are interested in assessing to what extent subsistence and social practices were influenced by changes in the paleoclimate during the Early Holocene. In order to achieve this we employ Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), an analytical technique allowing us to obtain relative temperature data, together with stable isotope analysis in order to detect seasonal fluctuations in the paleoenvironment at the advent of the Neolithic period. In this talk, we will present some first results of our high-resolution climatic data extracted from the archaeomalacological archive and how these may reflect fluctuations in the local paleoenvironmental long- or short-term conditions. Keywords: Palaeoclimate, Archaeomalacology, LIBS, Isotope analysis

Le gisement paléolithique des Bossats à Ormesson (Seine-et-Marne, France), un paléo-incendie OIS 5 comme jalon paléo-environnemental dans l'archéo-séquence

Pierre Bodu¹, Mathieu Lejay, Isabelle Théry-Parisot, Henri-Georges Naton, Ivy Notterpek, Noemie Seveque, Mathieu Leroyer, Gaëlle Dumarcay, Camille Lallauret

¹ UMR TEMPS 8068, CNRS – France

Le site de plein air d'Ormesson (Seine-et-Marne) est fouillé depuis 2009. Il a livré, à minima, 6 niveaux d'occupation paléolithiques, allant du Solutréen moyen daté des environs de 20 000

ans au Moustérien de tradition Levallois à pointes dont l'âge est antérieur à 100 000 ans. Ce sont des dépôts de loess et de sables, ces derniers hérités de la désagrégation des formations stampiennes encadrant le site, qui ont assuré la préservation de l'ensemble de ces niveaux archéologiques, relativement inédits pour certains dans le Bassin parisien. La fossilisation des occupations préhistoriques a aussi concerné les écosystèmes au sein desquels ces différents groupes ont vécu. L'évolution des contextes environnementaux et climatiques est ainsi perceptible à travers les analyses malacologiques, les pollens étant malheureusement absents de ces formations sédimentaires, mais aussi via les études archéozoologiques et anthracologiques, les charbons de bois étant préservés dans la quasi-totalité de ces niveaux d'occupation. C'est notamment le cas d'un événement postérieur à une occupation moustérienne à industrie lithique levallois (-90 000 ans) qui se traduit par la formation d'une couche d'incendie épaisse de plus d'une quinzaine de centimètres et répartie sur plusieurs dizaines de mètres carrés. Cette phase d'incendie a certes impacté le niveau archéologique en entraînant des altérations thermiques du mobilier lithique et osseux, mais elle traduit vraisemblablement un événement climatique majeur durant cette phase du début Weichselien. Par le déploiement de différentes méthodes (anthracologie, biochimie, géomorphologie, etc.), nous tentons de mieux appréhender cet événement à l'échelle du site et de le mettre en perspective avec les données paléo-environnementales et paléoclimatiques régionales.

Mots-Clés: Paléolithique Moyen, Incendie, Approches multi-proxy, Ecosystèmes, Paléoclimats

Contribution of isotopic analysis (^{13}C) of charcoal from Palaeolithic hearths to the improvement of environmental and climatic reconstructions: a local and high temporal resolution signal

Benjamin Audiard^{1,2}, Pierre-Antoine Beauvais³, João Zilhão⁴, Zapata Josefina⁵, Valentín Villaverde¹, Diego Angelucci^{4,6}, Nicolas Teyssandier³, Patricia Guillermin³, Giovanna Battipaglia⁷, Isabelle Théry², Ernestina Badal García¹

¹ Universitat de València. Departament de Prehistòria, Arqueologia i Història Antiga. PREMEDOC – Espagne

² Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR 7264 – France

³ TRACES – Université Toulouse 2, CNRS, UMR5608 – France

⁴ UNIARQ-Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras – Portugal

⁵ Área de Antropología Física, Facultad de Biología, Universidad de Murcia – Espagne

⁶ Dipartimento di Lettere e Filosofia. Università degli Studi di Trento – Italie

⁷ Department of Environmental, Biological and Pharmaceutical Sciences and Technologies University of Campania "L. Vanvitelli" – Italie

The Late Pleistocene is a long geological period marked by numerous climatic and environmental fluctuations, of unequal duration and variable intensity, responsible for major transformations of the landscape. Understanding how these changes influenced the way prehistoric societies lived is an important question for prehistorians. In this respect, characterizing the environmental and ecological context in which these societies evolved is a crucial

step. However, it is important to limit correlations with extra-regional sources (*e.g.* distant ice cores), while trying to obtain signals with the best possible temporal resolution, in order to get as close as possible to the real living conditions of these societies.

In this field, the charcoal analysis provides information on the local woody environment as well as on human wood gathering strategies. From a methodological point of view, the palaeoecological representativeness of the anthracological remains is based on the study of numerous wood charcoals scattered in the sediments and reflecting a relatively long occupation period. But, in Pleistocene contexts the low taxonomic diversity combined with occasionally poor preservation of charcoal may limit the interpretations. Conversely, charcoal from combustion zones is often better preserved, but represent a shorter accumulation period, with consequently a reduced taxonomic spectrum. In addition to these difficulties, evolutions in vegetation composition are occurring less rapidly than climate change.

To overcome these obstacles, the recent development of the isotopic ($\delta^{13}\text{C}$) approach to the study of charcoals from European Pleistocene sequences has proved to be a reliable and complementary method for reconstructing past local climatic and environmental conditions (especially related to water availability).

Here we present a methodological assessment of the relevance of isotopic signal from Palaeolithic hearth charcoal to paleoenvironmental high temporal resolution reconstructions. We rely on the results obtained at “la Baume d’Oulen” (Ardèche, France) and “al Abrigo de la Boja” (Murcia, Spain) sites. This approach allows to highlight the intensity and timing of Pleistocene-Holocene warming in the Ardèche Gorges, overcoming the difficulties associated with the stratigraphic palimpsest of the deposits. In eastern Spain, the isotopic record from La Boja has helped to characterize with precision the major climatic fluctuations that occurred both during the second half of the MIS3 and around the Last Glacial Maximum, faced by prehistoric inland groups (from the Aurignacian to the Solutrean). In this respect, it is noted that the inhospitable conditions of the interior during the most rigorous phases of the Solutrean may have been a hindrance to the exploitation of this territory.

We will discuss the potential of this approach to improve reconstructions of the living conditions experienced by human groups and to establish correlations between human behavior and environmental changes.

Keywords: Paleoenvironment, Paleoclimate, Anthracology, Isotope, Spatio-temporal resolution

Évolution géohistorique de la forêt d’Écouves (Orne, France) : apport de l’étude palynologique des tourbières

Nicolas Blanchard¹, David Aoustin², Arthur Glais³, Chantal Leroyer², Damase Mouralis¹, Dominique Todisco¹

¹ Université Rouen-Normandie – UMR 6266 IDEE – France

² UMR 6566 CReAAH – CNRS – France

³ UMR 6566 CReAAH – Service archéologique du Calvados – France

L'étude pluridisciplinaire engagée sur la forêt d'Écouves participe à un courant de recherche, initié depuis plusieurs années, sur l'évolution morphologique et structurelle des massifs forestiers actuels. Cet intérêt pour les forêts implique des approches variées (histoire, géographie, archéologie, palynologie) et a bénéficié de nouvelles technologies (télédétection et imagerie Lidar). Si plusieurs études ont montré que les espaces forestiers se sont étendus, en plaine, aux dépens d'anciens agrosystèmes antiques, la forêt domaniale d'Écouves offre des conditions particulières en raison de son relief et de son altitude (414 m). Il apparaît donc particulièrement pertinent d'interroger les relations sociétés-environnement dans un contexte qui diffère du corpus habituel et ce, dans un secteur (l'Orne) très peu documenté en archéologie et en paléo écologie.

L'étude de la forêt d'Écouves repose donc sur l'usage parallèle de quatre types d'archives : historiques, archéologiques, LIDAR et paléo-écologiques. Les sources historiques (manuscrites et planimétriques ; XII^e-XIX^e siècles) ont permis la découverte de parcellaires agraires inconnus. Des vérifications de terrain ont validé la conservation de ces structures en forêt. L'imagerie LIDAR est venue confirmer la très forte anthropisation du massif forestier avec 13 500 entités reconnues dont près de 9500 plateformes de charbonnage.

Afin de documenter l'environnement associés à ces structures et l'histoire de cet espace forestier, un recensement des tourbières (54 signalées en 1781) a été mené. Si les plus petites sont relativement préservées, les plus vastes ont été drainées. Une localisation et une typologie de 440 km de fossés de drainage a pu être établie par imagerie LIDAR. Deux des différentes tourbières prospectées ont fait l'objet d'une étude palynologique, doublée d'un modèle âge-profondeur : la tourbière de Goult et celle des Ponts-Besnard, distantes d'une dizaine de kilomètres. Les deux séquences relatent la même histoire de la végétation avec toutefois une emprise humaine toujours plus marquée à Goult.

À l'extrême fin du Néolithique et durant l'âge du Bronze, l'environnement est fermé avec une chênaie claire sur les versants et une aulnaie-boulaie sur la zone humide. Ces niveaux témoignent d'une très faible anthropisation du milieu, même à Goult.

Au début de l'âge du Fer, une hêtraie s'implante sur le massif d'Écouves ; plus distante de Goult, elle semble entourer la tourbière des Ponts-Besnard. Cette hêtraie va perdurer jusqu'à la fin du XIII^e siècle. Localement les deux tourbières sont moins boisées : ouverture qui profite à des prairies humides, vraisemblablement pâturées au regard de la progression des plantes rudérales et des champignons coprophiles. Néanmoins, la céréaliculture n'est attestée que durant l'Antiquité.

Au début du XIV^e siècle, la hêtraie est défrichée au profit de parcelles cultivées et de prairies pâturées. Localement, les deux zones humides sont colonisées par une lande à callune.

Le XVIII^e siècle témoigne d'une petite reprise de la chênaie-hêtraie aux Pont-Besnard mais pas à Goult où les microfossiles carbonicoles sont plus abondants. Néanmoins, les deux séquences enregistrent alors un recul des activités agricoles, surtout de la céréaliculture. Le sommet des deux profils transcrit clairement les plantations de résineux sur l'espace forestier : le pin durant le XIX^e siècle puis le sapin et l'épicéa courant XX^e.

Mots-Clés : Forêt, Orne, Géohistoire, Paléoécologie, Socio-écosystèmes, Anthropisation

4500 years of phenotypic evolution in wild boars (*Sus scrofa*) during the Neolithic Transition in Western Europe

Thomas Cucchi¹, Hugo Harbers¹, Marie Balasse¹, Dimitri Neaux¹, Anthony Herrel², Rose-Marie Arbogast³, Stephanie Brehard¹

¹ AASPE – MNHN, CNRS: UMR7209 – France

² MECADEV/MNHN – France

³ Université de Strasbourg – UMR 7044 – Archimède – France

Recently, evolutionary biologists have pleaded archaeologists to help document and understand the morphological evolution of animals in response to human activities and more globally to help reconstruct the history and significance of the anthropogenic impact on worldwide ecosystems. Artificial selection associated with domestication is the best known example of a major anthropogenic morphological evolution preserved in the archaeological record. However, the impact of the domestication process and dispersal on the morphological evolution of animals has been far less explored. To fill this gap, we here focus on 5000 years of Neolithic transition in Western Europe as major anthropogenic ecological disturbance with landscape modification and translocation of domestic mammals. Using geometric morphometrics on key phenotypic markers preserved in the archaeological record associated with isotopic studies, we explored how and according to which cultural drivers the Neolithic niche construction has influenced the morphological evolution of *Sus scrofa*. The decoupling of size and shape components from bone morphological variation has facilitated the identification of several process of phenotypic diversification of *Sus scrofa* in response to human behavior during the Neolithic transition in Western Europe.

Keywords: Phenotypic evolution, Human niche construction, Neolithic

Les bouquetins maralpins : écomorphologie des bouquetins des Alpes (*Capra ibex*) présents dans l'arc liguro-provençal entre la fin du Pléistocène moyen final supérieur et le début de l'Holocène

Manon Vuillien^{1,2}, Evelyne Crégut-Bonnoure³, Jean-Philip Brugal⁴, Abdelkader Moussous⁵, Olivier Notter⁵, Elena Rossoni-Notter⁵, Lionel Gourichon², Emmanuel Desclaux^{2,6}

¹ AASPE – CNRS, MNHN, UMR7209 – France

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

³ TRACES – CNRS, UMR5608 – France

⁴ LAMPEA – Aix Marseille Université CNRS, UMR7269, MCC – France

⁵ Musée d'Anthropologie préhistorique – Monaco

⁶ Laboratoire du Lazaret – Département des Alpes-Maritimes – France

Les études paléontologiques réalisées sur les ossements attribués au genre *Capra* dans le Sud de la France montrent une diversité des morphotypes présents au cours du Pléistocène moyen

final et supérieur (*Capra ibex*, *Capra pyrenaica*, *Capra caucasica praepyrenaica*). Parmi ceux-ci, le bouquetin des Alpes (*C. ibex*), animal rupicole emblématique des terroirs alpins a constitué un gibier de choix pour les communautés de chasseurs-cueilleurs paléolithiques présentes dans l'arc liguro-provençal et, plus généralement, en France méridionale depuis 200 000 ans. Toutefois, il est encore difficile d'appréhender les adaptations écomorphologiques de ces caprinés présents sur le littoral maralpin affecté par les oscillations climatiques majeures de la fin du Pléistocène moyen au début de l'Holocène. Pour tenter d'apporter de nouveaux éléments de connaissances, notre recherche s'appuie sur une approche inédite combinant paléontologie et morphométrie géométrique 3D d'un os majeur du tarse : le talus. Le matériel étudié provient de 5 sites datés entre 300 000 ans (MIS 9) et 18 000 ans (MIS 2) : la grotte du Prince de Monaco (Ligurie), la grotte des Enfants (Ligurie), la grotte de l'Observatoire (Monaco), la grotte du Lazaret (Alpes-Maritimes) et l'abri de Pié-Lombard (Alpes-Maritimes). Comparés à un corpus de données archéologiques plus large, les premiers résultats obtenus en morphométrie géométrique permettent de se questionner sur la diversité morphologique des populations de bouquetins alpins et de leurs interactions, au cours du temps, avec les écosystèmes rocheux des bords septentrionaux de la Méditerranée, entre les Alpes-Maritimes, Monaco et la Ligurie.

Mots-Clés : Bouquetin des Alpes, Arc liguro-provençal, Morphométrie géométrique 3D, Ecomorphologie.

Éco-anatomie du bois d'arbousier (*Arbutus unedo*): approche exploratoire pour une meilleure caractérisation des formations ligneuses holocènes à Ericacées en Corse

Thomas Camagny¹, Laurent Bouby², Sarah Ivorra², Jean-Frédéric Terral², Claire Delhon¹

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR 7264 – France

² ISEM – CIRAD: UMR 116, École Pratique des Hautes Études, IRD: UR226, CNRS: UMR5554, Université de Montpellier – France

Les données disponibles sur la végétation holocène de la Corse montrent que les essences sclérophylles, en particulier la bruyère arborescente (*Erica arborea*) et l'arbousier (*Arbutus unedo*), se sont étendues dès le réchauffement post-glaciaire. Adaptées aux conditions environnementales de l'île, ces espèces ligneuses sont surtout connues comme des éléments constitutifs du maquis. Celui-ci peut être maintenu à un stade bas, plutôt ouvert et caractérisé par des buissons et des arbustes s'il est soumis à des perturbations récurrentes; au contraire, en l'absence de perturbations, la bruyère arborescente et l'arbousier peuvent former des arbres de plus de 10 m de haut, constituant ainsi des formations paraforestières.

L'arbousier et la bruyère sont deux taxons identifiés systématiquement dans les assemblages anthracologiques corses aux périodes pré- et protohistoriques, mais l'approche anthracologique classique ne permet pas de préciser leur port, ce qui laisse ouverte la question de la physionomie et de la structure des anciennes formations végétales. Une meilleure caractérisation des boisements à Ericacées permettrait de discuter de l'impact des activités agro-pastorales pré- et protohistoriques sur le couvert forestier et de leur potentiel pour les activités humaines.

L'approche éco-anatomique permet, à partir de la quantification des éléments anatomiques du bois, d'inférer la réponse du fonctionnement cambial en fonction des conditions de croissance de l'arbre.

Aussi, nous proposons de développer une approche d'éco-anatomie quantitative appliquée au bois d'arbousier dont l'objectif est de caractériser la taille et le port des arbres en fonction de traits fonctionnels anatomiques mesurés en section transversale et longitudinale tangentielle. Un référentiel actuel prenant en considération la diversité environnementale et structurelle des formations à Ericacées ainsi que la variabilité des traits (de l'individu aux populations) permet d'évaluer, à partir des attributs anatomiques des charbons de bois archéologiques, la taille des branches et donc d'inférer le port des arbres exploités par les sociétés humaines dans les formations végétales anciennes.

Mots-Clés: Éco-anatomie quantitative, Paléoenvironnement, Paléoécologie, Physionomie, Arbousier

Contexte environnemental du nord du bassin morbihannais du Blavet (56, France)

Pierre Charretier¹, Mathieu Le Diagon¹, David Aoustin¹, Yoann Chantreau^{1,2}, Aurélie Crowch^{1,3}, Chantal Leroyer¹, Simon Puaud¹

¹ UMR 6566 CReAAH- Archéosciences – Université de Rennes 1, MCC – France

² DRAC-Service Régionale de l'Archéologie Bretagne, Ministère de la culture – France

³ DATC-DAAAM-Service départemental d'archéologie du Morbihan – France

Mis en place depuis 2020, le projet collectif de recherche «En remontant le fleuve ... Paysages et sociétés du Blavet préhistorique», dirigé par Aurélie Crowch, vise à étudier les dynamiques d'occupations de la vallée du Blavet dans sa partie morbihannaise, ainsi que l'évolution des paysages depuis le Paléolithique final jusqu'à la fin du Néolithique.

Les recherches paléoenvironnementales reposent sur une démarche interdisciplinaire regroupant prospections de terrain, sédimentologie (granulométrie, teneur en matière organique), palynologie (pollen, microfossiles non polliniques, micro-charbons) et datations.

Trois campagnes de terrain ont permis de localiser 28 zones humides dont 12 ont fait l'objet de carottage. Leur étude a permis d'appréhender le phénomène de turfigenèse et de retracer l'histoire de la végétation holocène.

L'Holocène ancien est documenté par 2 profils. Le paysage du début du Préboréal (Mésolithique ancien) est encore dominé par une steppe à armoise mais bouleaux puis noisetiers se développent. Cette steppe laisse ensuite place à la corylaie, formation dominante durant le Mésolithique moyen (Boréal), alors que les fonds de vallée sont colonisés par des formations de bas-marais (cariçaie). D'un point de vue sédimentaire, des dépôts organo-minéraux ont été observés à la base de 2 séquences.

L'Holocène moyen est mieux documenté (5 séquences). Dès l'Atlantique ancien (Mésolithique récent/final) se développent conjointement une chênaie-tillaie sur les versants et une aulnaie sur les zones humides aux dépens des bas-marais.

Ces 2 formations atteignent leur optimum durant l'Atlantique récent (Néolithique ancien et moyen). À cette période débute la turfigenèse sur plusieurs sites, elle est liée à l'arrêt de la dynamique sédimentaire. La mise en place des tourbières est synchrone de l'apparition discrète des premières traces d'activités agropastorales qui illustrent la présence de groupes du Néolithique moyen autour des sites de sondage.

Ces activités se poursuivent et s'intensifient au cours du Subboréal : période au cours de laquelle le hêtre remplace le tilleul au sein de la chênaie et où la ripisylve est peu à peu défrichée pour laisser place à quelques parcelles cultivées mais surtout à des prairies pâturées. Ces pratiques agro-pastorales sont le fait de groupes du Néolithique récent/final puis de l'Âge du Bronze qui s'installent à proximité.

Pendant cette période, la turfigenèse se poursuit, et aucun apport sédimentaire perturbant ce phénomène n'a été observé.

Initiés depuis peu, ces travaux pluridisciplinaires documentent un secteur jusque-là très peu renseigné d'un point de vue environnemental dont ils soulignent le potentiel ; ils offrent déjà un référentiel pour l'essentiel de l'Holocène.

Mots-Clés: Vallée du Blavet, Bretagne, Holocène, Préhistoire, Anthropisation, Tourbière, Sédimentologie, Palynologie

Reconstruction des changements environnementaux et climatiques entre ca 50 – 35 ka et potentiel impact sur les changements culturels des Néandertaliens et des Hommes anatomiquement modernes dans le sud de la France

Tiffanie Fourcade^{1,2}, Maria Fernanda Sanchez Goñi^{2,3}, Christelle Lahaye¹, Jonathan Lesven^{4,5}, Anne Philippe⁶

¹ Archéosciences Bordeaux – Université Bordeaux Montaigne, CNRS, UMR6034 – France

² EPOC – Université de Bordeaux, CNRS, UMR5805, EPHE – France

³ École Pratique des Hautes Études – PSL University – France

⁴ Laboratoire Chrono-environnement – Université de Bourgogne-Franche-Comté, CNRS, UMR6249 – France

⁵ Institut de Recherche sur les Forêts, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda – Canada

⁶ Laboratoire de Mathématiques Jean Leray – Nantes Université – France

Déterminer l'impact des variations climatiques sur les changements culturels passés est une tâche difficile en raison des incertitudes chronologiques inhérentes aux méthodes de datation appliquées aux archives archéologiques et paléoclimatiques, mais également de la différence de résolution temporelle de ces deux archives.

Nous présentons deux séquences paléoenvironnementales à partir d'une étude pollinique à haute résolution, provenant du golfe de Gascogne (45°21'N, 5°13'W) et du golfe du Lion (40°29'N, 4°01'E). Ces séquences sont bien contraintes par des datations numériques (nouveaux âges IRSL pour la carotte marine du golfe de Gascogne) et de nouveaux modèles âge-profondeur bayésiens, incluant des contraintes stratigraphiques entre les profondeurs datées. Ces séquences permettent l'identification des changements climatiques et de végétation à l'échelle millénaire dans le sud de la France associés aux événements de réchauffement et de refroidissement du Groenland (cycles de Dansgaard-Oeschger, D-O) et aux décharges massives d'icebergs dans l'Atlantique Nord (événements de Heinrich, HE).

Les deux nouvelles chronologies des paléoenvironnements et climats ont été confrontées à une chronologie actualisée des changements culturels des Néandertaliens et des Hommes anatomiquement modernes (HAM) dans le sud de la France, lors de la période de transition du Paléolithique moyen au Paléolithique supérieur (ca 50 – 35 ka).

Les deux enregistrements paléoenvironnementaux du sud-ouest et du sud-est de la France montrent différentes amplitudes régionales des expansions de la forêt tempérée aux réchauffements de D-O et du semi-désert pendant les HE. Malgré l'amélioration des chronologies

paléoclimatiques et archéologiques, l'identification d'un impact potentiel du climat et des environnements sur les changements culturels reste encore difficile en raison de nouvelles incertitudes notamment liées au nouveau modèle d'âge. Néanmoins, cette étude suggère que l'ouverture progressive du paysage depuis le D-O 12 (ca 47 ka) aurait favorisé l'arrivée des HAM en Europe occidentale, entraînant une compétition avec les Néandertaliens pour les mêmes niches écologiques, et donc la disparition de ces derniers dans la région vers 40 ka.

Mots-Clés : Paléoenvironnements, Climats, Variabilité climatique millénaire, Chronologie, Néandertal, Hommes anatomiquement modernes, Palynologie, Changements culturels, Synchronisme, Sud de la France

Estimer l'impact réel des anciennes populations de montagne sur les forêts. Étude de cas interdisciplinaire en Haute Bléone (Alpes françaises du sud)

Emma Gamba¹, Delphine Isoardi², Lisa Shindo³, Brigitte Talon¹

¹ IMBE – Aix Marseille Université, UMR7263 – France

² Centre Camille Jullian – Aix Marseille Université, MCC, CNRS, UMR7299 – France

³ ROOTS cluster of excellence, Christian-Albrechts University of Kiel – Allemagne

Cette étude propose une approche multidisciplinaire entre paléoécologie (dendrochronologie, pédoanthracologie) et archives historiques pour reconstituer les trajectoires forestières soumises aux activités humaines sur le long terme. Nous nous focalisons sur une zone des Préalpes du sud de la France, la vallée de la Bléone, pour laquelle un large corpus historique est disponible mais les données paléoenvironnementales restent pauvres jusqu'à présent. Nous présentons ici les résultats préliminaires d'une étude pédoanthracologique menée du côté de Chourges, complétée par des analyses dendrochronologiques dans le secteur de la vallée de la Bléone et une synthèse des sources textuelles sur la gestion forestière. L'objectif de cet article est de démontrer que la comparaison entre différentes données est délicate mais pertinente pour une meilleure compréhension des écosystèmes forestiers passés et des relations humains-forêt. Nous montrons que la distribution spatiale de la forêt et la position de la limite des arbres ont été perturbées mais pas la composition. Ceci est certainement dû principalement aux activités agro-sylvo-pastorales, à travers l'utilisation du feu pour entretenir les pâturages et la coupe de la forêt pour la construction locale depuis au moins le Moyen Âge. Cependant, les communautés locales n'étaient pas libres de disposer de leurs propres ressources en bois et leur rôle dans la déforestation doit être relativisé. Ce n'est pas seulement leur utilisation de la forêt qui a conduit à sa dévastation, mais aussi d'autres activités contrôlées par une autorité supérieure, comme la Marine royale.

Mots-Clés : Écologie historique, Dendrochronologie, Pédoanthracologie, Archives historiques, Forêt, Bois.

Hypothèses d'évolution morphodynamique de la Cadière sur les rives de l'étang de Berre au début de l'Holocène

Geoffrey Leblé^{1,2}, Julien Collombet

¹ Géoarchéologue – Archeodunum – France

² CreAAH – CNRS, UMR6566 – France

Une opération d'archéologie préventive s'est déroulée en 2016 dans la plaine de la Cadière, directement au sud des pistes de l'aéroport de Marseille-Provence. Les vestiges occupent un secteur de la plaine littorale de Marignane à moins de trois kilomètres des rives actuelles des étangs de Bolmon et de Vaine. La fouille a permis d'identifier deux vastes paléochenaux entre lesquels se concentrent les vestiges de plusieurs phases d'occupation s'étendant du Néolithique à l'époque contemporaine.

L'étude des corps sédimentaires des paléochenaux a permis la restitution de différentes phases alluviales. La première phase sédimentaire correspond à la mise en place d'un cône de déjection en contexte terrestre, charriant de grandes quantités de sédiments éoliens issus de l'environnement amont du paléosystème. La seconde phase, datée du Boréal, est représentée par la manifestation d'un processus de turfigenèse, correspondant probablement au développement d'un milieu palustre. La troisième phase exprime la mise en place d'un processus cyclique caractérisé par la récurrence de 1^o une période caractérisée par la précipitation de carbonate de calcium sous la forme de travertins dans une faible tranche d'eau, à laquelle succède toujours 2^o un dépôt de limon fin organique. Cette troisième phase est datée de la fin du 7^e millénaire avant notre ère, faisant peut-être écho à l'«événement climatique» de 8 200 cal BP. La quatrième et dernière phase est celle du remblaiement définitif du paléochenal, en dehors de tout chenal fonctionnel, et ce faisant de l'aplanissement des reliefs dans la vallée. L'analyse des données sédimentaires est complétée par une étude des microreliefs de la plaine par le biais de l'exploitation de données LIDAR partagées par l'IGN. Ces différentes phases sont discutées en regard des principales variations climato-eustatiques du début de l'Holocène autour du Golfe du Lion, dans le but de proposer un schéma d'évolution du paléosystème de la Cadière au début de l'Holocène.

Mots-Clés: Transgression flandrienne, Boréal, RCC, Holocène, LIDAR

Investigations archéobotaniques autour des sites romains dans l'est algérien

Tassadit Smaili¹

¹ Centre National de Recherche en Archéologie – Algérie

L'histoire du paysage écologique et climatique de la rive sud de la Méditerranée demeure très largement méconnue en raison d'un nombre très insuffisant d'études pluridisciplinaires, et les pistes d'investigations très limitées.

L'investigation dans le domaine archéobotanique dans une approche spatio-temporelle nous aide à comprendre l'évolution du tissu végétal d'une région précise à travers le temps, la dégradation et la formation du paysage sous l'action conjuguée de facteurs climatiques et anthropiques. Elle vise à reconstituer l'histoire de l'environnement végétal et à mesurer sur la longue durée l'impact des perturbations anthropiques sur la dynamique de ces écosystèmes passé et actuel. Cette évidence sur la nature de l'interaction homme/milieu a donné naissance au concept d'anthroposystème, dont la caractérisation est abordée par les sciences de la nature et par la palynologie en particulier.

L'état de l'art sur les études paléoenvironnementales au Maghreb a montré un réel manque de travaux sur les milieux humides, et pourtant ils représentent un potentiel informatif considérable. Les lacs apportent grâce à la palynologie, comme principal outil de leur investigation, des réponses aux questions majeures sur la connaissance des dynamiques passées des écosystèmes, et constituent une documentation particulière tant par la largeur de l'échelle chronologique, que par la diversité et les quasi inépuisables champs d'investigations concernés. À ce titre ils ont alors été dotés du terme « d'archives naturelles ».

Situé dans la zone du nord-est de l'Algérie, le lac noir d'El Kala repose sur des grès et argiles de Numidie miocènes et des dépôts quaternaires, c'est l'un des plus importants lacs naturels des zones humides en Afrique du Nord.

Autours de ce site naturel, la concentration des foyers historiques atteste de l'existence d'une activité agricole caractérisée par la céréaliculture, et la culture de l'olivier principalement. Et pourtant, l'écosystème forestier actuel est caractérisé par le peuplement naturel de chêne de liège, de chêne de zeen et du pin d'Alep, Ceci nous renseigne sur un changement brusque des méthodes de subsistances.

Ce travail s'inscrit dans une ambition amorcée qui considère que de nouvelles pistes de recherches voient le jour du croisement de disciplines, il tente de répondre aux questions suivantes :

Quelle contribution peut apporter l'investigation palynologique de la tourbière du lac noir d'el Kala- pour compléter les collaborations et recherches sur les sites archéologiques de la région ?

Quel est le rôle de l'anthropisation dans l'évolution du paysage de la région ? Quel est l'apport de cette étude pour la reconstitution du paysage en zones méditerranéennes et l'évolution végétale et écologiques d'un secteur d'intérêt archéologique et écologique à travers le temps ? Cet enregistrement nous renseigne sur l'évolution historique de la végétation, et permet de saisir l'impact de l'homme sur son environnement et les différentes phases d'utilisation du même espace : Les analyses palynologiques montrent un paysage déboisé depuis au moins deux millénaires. Des temps forts dans l'évolution de l'impact anthropique sur l'environnement, des marqueurs polliniques indiquent un fait marquant dans la dynamique de la couverture végétale, l'accroissement des plantes rudéro-nitrophiles, de prairies et pâturage. Ces données ont livré également des informations sur l'apparition des premières occurrences des céréales et l'ancienneté des pratiques agro-pastorales dans la région.

Mots-Clés : Palynologie, Végétation, Anthropisation, Archéobotanique, Tourbière

Coordination : Lydie Dussol, Lionel Gourichon, Manon Vuillien

Une large part des interactions entre les sociétés humaines et leur environnement se manifeste à travers l'usage des ressources végétales et animales, sauvages ou domestiques, que ce soit pour la subsistance ou pour diverses raisons techno-économiques, culturelles, sociales voire symboliques. Les stratégies d'acquisition et de production de ces ressources, leur gestion, les techniques de transformation des matières premières ou des produits associés constituent un vaste champ de recherche qui a depuis fort longtemps suscité la création de nouvelles approches archéométriques et leur développement au sein de diverses disciplines de l'archéologie. Cette session fait appel aux contributions scientifiques qui s'appuient sur ce type d'approches pour explorer des questions relatives aux pratiques et stratégies de chasse, de pêche ou de cueillette, à la domestication des plantes ou des animaux, aux systèmes agropastoraux et aux pratiques agraires, agroforestières et zootechniques, ainsi qu'aux techniques de boucherie ou de traitement des végétaux, et à la pyrotechnologie, dans des contextes culturels, socioéconomiques et environnementaux variés. Les contributions articulant étroitement ressources sauvages et domestiques, ou ressources animales et végétales, sont particulièrement attendues.

Mots-clés : Ressources biologiques, Stratégies de subsistance, Chasse, Pêche, Elevage, Cueillette, Agriculture, Pastoralisme, Agrosystèmes, Zootechnies, Technologies, Approches interdisciplinaires

“Vous reprendrez bien du gigot?” L’exploitation du renne sur le site magdalénien moyen de Solutré « Route de la Roche», Saône-et-Loire

Céline Bemilli^{1,2}, Grégory Bayle^{3,4}, Jean-Baptiste Lajoux^{1,5}

¹ INRAP – France

² UMR 7209 AASPE – MNHN – France

³ INRAP, centre archéologique de Pantin – France

⁴ UMR 7194 HNHP – MNHN – France

⁵ UMR 8068 TEMPS – France

Une fouille préventive menée par l’Inrap sous la responsabilité de J.-B. Lajoux en 2015-2016 sur la commune de Solutré-Pouilly, Route de la Roche, en Saône-et-Loire (France), a révélé un niveau magdalénien moyen, inédit, exceptionnellement riche et bien conservé. Le niveau, couvrant une superficie de 120 m², a livré plus de 56000 artefacts lithiques, une riche industrie en os et bois de renne, des éléments de parure variés, quelques restes humains et des vestiges fauniques dont la préservation s’apparente à ce qui est observé en grotte. L’intégralité des sédiments a été tamisée, ce qui a permis, entre autres, la récolte de 80 % des éléments de parure. Le nombre de vestiges osseux est estimé à 80 000 restes, sans compter les centaines de milliers d’esquilles issues du tamisage. Les premiers résultats proviennent d’une étude effectuée sur un échantillon issu d’une fenêtre d’étude de 7 m², parmi les plus riches en mobilier. Avec plus de 3000 restes déterminés, cet échantillon apporte déjà beaucoup d’informations. Composé principalement de renne, de cheval et de lièvre, et de quelques espèces rares, cet ensemble s’avère original par rapport à ce qui avait été observé jusqu’alors dans les autres niveaux d’occupation de Solutré. L’une des particularités de cette faune est la prédominance du renne par rapport au cheval. De nombreuses traces de découpe ont été enregistrées, permettant la reconstitution des différentes étapes du traitement des carcasses. L’examen des surfaces osseuses a aussi permis de constater la présence de traces partielles de combustion, récurrentes sur certaines parties anatomiques. Ainsi, les modalités d’acquisition, de traitement et de consommation ont pu être abordées avec finesse et apportent des informations inédites.

Mots-Clés: Archéozoologie, Magdalénien moyen, Renne, Cheval, Lièvre, Consommation

Investigating the cultural control of animals by sedentarising communities: a microcontextual biomolecular approach

Aroa García-Suárez^{1,2}, Marta Portillo¹

¹ Spanish National Research Council – Espagne

² University of Reading – Royaume-Uni

The domestication of plants and animals at the beginning of the Holocene fostered a major transformation in human ecology. Animal domesticates, in particular, provided a regular and predictable supply of services and products such as meat, milk, leather, fibres, and dung that had a profound effect on the settlement organisation, economic strategies, and health conditions of prehistoric communities. However, the identification of the early stages of domestication remains difficult, in particular because defining human intervention in animal behaviour before the appearance of morphologically identifiable domesticates is still an ongoing challenge. In this scenario, animal faecal remains have an untapped potential as an indicator of greater human proximity to animals pointing to the emergence of early animal management practices.

In this contribution, we present a multi-proxy study of settlement contexts from Near Eastern Neolithic sites aimed at securely identifying and analysing animal faecal matter, a material particularly prone to degradation. Our research integrates thin-section micromorphology, plant and faecal microfossil analysis, and biomarkers (sterols) to shed new light into herding practices, domestic uses of animal dung, and foddering strategies. Data from the earliest sites reveals the presence of herbivore faeces in combustion features, suggesting the use of dung as fuel might pre-date or coincide with the development of cultural strategies of animal control. Results from later sites point to shifts in the penning locations and grazing grounds of herds over time, likely a response to environmental changes.

Keywords : Neolithic, Pastoralism, Faecal matter, Micromorphology, Phytolith, Spherulite, Biomarker

Constraining the animals: looking for subsistence adaptations in regard to climatic events in Jordan and Sudan

Louise Le Meillour¹, Pernille Bangsgaard², Lisa Yeomans³, Matthew Collins^{4,5}, Frido Welker¹

¹ Section for Molecular Ecology and Evolution, Globe Institute, University of Copenhagen – Denmark

² ArchaeoScience, Globe Institute, University of Copenhagen – Denmark

³ Department of Cross-cultural Studies, University of Copenhagen – Denmark

⁴ Section of GeoBiology, Globe Institute, University of Copenhagen – Denmark

⁵ McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge – Royaume-Uni

Studying past human-animal relationships does not only reflect on subsistence strategies, but covers a wide range of ancient human behaviours, from culinary practices to ecological constraints. In response to climatic changes, past populations had to integrate new subsistence strategies based on the domestication of species, along with the already hunted wild species. In the Near East, the domestication of *Ovis orientalis* and *Capra aegagrus* lead to one of the most currently herded and consumed species : sheep, *O. aries*, and goat, *C. hircus*. The incorporation of domesticated caprines into diets and their relative proportion into it, besides wild hunted species, is often difficult to assess in archaeological assemblages of Jordan and Africa due to

the high fragmentation of the remains and to particularly harsh burial conditions. Here we present the combination of zooarchaeology, palaeoclimatic and palaeoproteomics data to assess the subsistence strategies of past human populations in response to intense climatic events. We focused on the specific identification of faunal remains from four archaeological sites located at comparable latitudes in the Levant and Africa: Shubayqa 1 and 6 and Shaqarat Masiad in current Jordan and SJE170 from the Scandinavian Joint Expedition in current Sudan. We hereby use the combination of palaeoproteomics, -the study of preserved proteins in bones-, and zooarchaeology to attempt to assign the remains to genus or species level. After careful selection of medium-sized bovids from each phase or layer within a site, they were sampled (less than 20mg of bone/tooth powder) and preserved proteins extracted, hydrolysed and characterised using liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). Molecular species identification was then carried out using search against a custom database of type I collagen sequences for the species of interest, including both wild and domesticates. The reconstructions of the specifically consumed species were carried out and, coupled with palaeoenvironmental data, allowed to document the putative changes in the dietary behaviour of past human populations.

Keywords: Palaeoproteomics, Zooarchaeology, Subsistence strategies, Arid environments, Levant, Africa

Le projet CENTAURO : Introduction des équidés, hybridation et intensification agricole dans la vallée de l'Èbre du Néolithique final à l'époque romaine

Nieto-Espinet Ariadna¹, Isidro Aguilera Aragón², Natàlia Alonso¹, Alba Castellano¹, Laia Font³, Isabel Gil⁴, Aurora Grandal D'anglade⁵, Pilar Iborra⁶, Pauline Hano⁷, Thomas Huet⁸, Félix J. Montón Broto⁹, Marta Morán⁴, Andreu Moya Garra^{1,10}, Arturo Oliver Foix¹¹, Ludovic Orlando¹², Adriano Orsingher¹³, Joana Oronich Coll¹⁴, Africa Pallardó Latorre¹⁴, Xavier Payà⁴, Leopoldo Pena¹⁵, Jesús V. Picazo¹⁶, Georgina Prats¹, Marta Portillo¹⁷, Xènia Roselló Molinero¹⁴, Xavier Sánchez Salguero¹⁴, Sofía Seguí Barrio¹⁶, Ada Torra Burgués¹⁴, Angela Trentacoste¹⁸, Silvia Valenzuela Lamas¹⁷, Daniel Villalba Mata¹⁴

¹ GIP, Departament d'Història, Universitat de Lleida – Espagne

² Museo de Zaragoza – Espagne

³ Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona – Espagne

⁴ Servei d'Arqueologia de l'Ajuntament de Lleida – Espagne

⁵ Universidade da Coruña – Espagne

⁶ Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació IVCR+i (Secció Arqueologia) – Espagne

⁷ MNHN, CNRS: UMR 7179 (MECADEV) – France

⁸ School of Archaeology, University of Oxford – Royaume-Uni

⁹ Museo de Huesca – Espagne

¹⁰ Iliirta Arqueologia SL – Espagne

¹¹ Servicio de Investigaciones Arqueológicas y Prehistóricas, Diputación de Castellón – Espagne

¹² CAGT, CNR, Université de Toulouse Paul Sabatier, UMR 5288 – France

¹³ Universitat Pompeu Fabra, Barcelona – Espagne

¹⁴ Departament de Ciència Animal, Campus Agroalimentari, Forestal i Veterinari (ETSEA), Universitat de Lleida – Espagne

¹⁵ Grup de Recerca en Geociències Marines, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Universitat de Barcelona – Espagne

¹⁶ Departamento de Prehistoria y Ciencias de la Antigüedad, Universidad de Zaragoza – Espagne

¹⁷ Group Archaeology of Social Dynamics, Institució Milà i Fontanals – CSIC, Barcelone – Espagne

¹⁸ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – Allemagne

CENTAURO (www.centaur-o.com/) est un projet de recherche archéozoologique qui vise à évaluer l'impact de la domestication des équidés et de la traction animale sur le développement des économies humaines entre le Néolithique final et la romanisation (2900 avant J.-C. – 200 après J.-C.). L'objectif principal du projet est d'analyser l'évolution et les changements dans la gestion des équidés sur le temps long afin de mieux comprendre les transformations politiques et économiques qui ont eu lieu dans le Nord-Est de la péninsule ibérique.

La zone de la vallée de l'Èbre a fourni des découvertes exceptionnelles qui témoignent d'une interaction intense entre communautés humaines et équidés depuis des périodes très anciennes. Des recherches antérieures ont montré que les chevaux sont devenus un élément clé dans les processus de complexification sociale et de consolidation des élites au cours de l'âge du Fer. Souvent associés au monde de la guerre et de la mort, on les retrouve fréquemment dans certaines tombes et sépultures rituelles, en tant qu'expression de pouvoir et élément de prestige. En revanche, l'étude de leur contribution au développement des économies productives reste mal connue. A fortiori, le rôle des autres espèces d'équidés domestiques (ânes et mules) est souvent sous-évalué et ces derniers restent généralement les grands oubliés du discours archéologique.

Grâce à l'étude de centaines de restes osseux provenant de 26 sites archéologiques de la vallée de l'Èbre, il va être possible d'analyser les changements dans la gestion des équidés, l'introduction de nouvelles espèces (telle que l'âne), et les premières expériences d'hybridation, à travers de l'étude conjointe de la morphologie, de la mobilité, du régime alimentaire et de l'incidence des pathologies sur squelette. Cela sera rendu possible grâce à l'application d'une approche innovante et multidisciplinaire combinant archéozoologie, paléopathologie, ADN ancien, chimie isotopique, morphométrie géométrique et ethnographie.

Dans cette communication, nous présenterons l'ensemble du projet CENTAURO ainsi que les premiers résultats obtenus. Un des points qui sera également mis en avant seront les initiatives et les collaborations en matière de transfert et de socialisation des connaissances scientifiques. Les lignes de recherche du projet s'enracinent et s'approfondissent dans les enjeux actuels de la préservation de la diversité génétique et de la survie de nombreuses races autochtones d'équidés en Europe. En effet, l'abandon progressif de leur exploitation est un fait, de sorte que le débat sur leur préservation et la récupération de leurs usages traditionnels est un défi pour notre société.

Mots-Clés: Archéozoologie, Equidés, Domestication, Traction animale, Agriculture, Péninsule Ibérique, Diachronie, Interdisciplinarité, Transfert de connaissances

Caprinés et Porcins entre le Rhône et l'Ebre durant l'Âge de Fer et l'Antiquité : Lien, Echange et Homogénéisation

Marine Jeanjean¹, Cyprien Mureau¹, Silvia Valenzuela-Lamas², Ariadna Nieto-Espinet^{2,3}, Armelle Gardeisen⁴, Lúdia Colominas⁵, Carole Lespes⁴, Audrey Renaud^{4,6}, Sergio Jimenez-Manchon², Isabelle Rodet-Belarbi^{7,8}, Maria Saña⁹, Allowen Evin¹

¹ ISEM, EPHE, IRD : UR226, Université de Montpellier, CIRAD : UMR116, CNRS : UMR 5554 – France

² ASD, Institució Milà i Fontanals de Recerca en Humanitats, IMF-CSIC – Espagne

³ GIP, Departament d'Història, Universidad de Lleida – Espagne

⁴ Labex ARCHIMEDE – ASM, UMR5140, Université Paul Valéry, CNRS – France

⁵ Institut Català d'Arqueologia Clàssica – Espagne

⁶ Mosaiques Archéologie, Domaine La Barthe – MCC – France

⁷ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

⁸ INRAP, MCC – France

⁹ Laboratori d'Arqueozoologia, Autonomous University of Barcelona – Departament de Prehistòria – Espagne

La transition entre l'Âge du Fer et l'Antiquité, avec le début de l'empire romain, est bouleversée par de nombreux changements, qui se reflète notamment dans des modifications de morphologies animales, notamment des bovins. Néanmoins, l'étude des modifications morphologiques chez les autres mammifères domestiques d'importance économique majeure tels que les moutons, chèvres et cochons est plus rare. L'objectif de cette étude est d'appréhender les facteurs environnementaux et culturelles ayant façonné la diversité des espèces domestiques et leur évolution au cours du temps entre le Rhône et l'Ebre durant l'Âge du fer et l'Antiquité. Pour ce faire, nous avons analysé les changements morphométriques des cochons, moutons et chèvres par les outils de la morphométrie géométrique appliqués sur les troisièmes molaires inférieures. Cette méthode, se base sur des approches de points repères homologues (landmarks) et de points glissants (sliding semi-landmarks). Plus de 70 sites en Languedoc et en Catalogne couvrent l'Âge du Fer et l'Antiquité et permettent l'étude de plus de 1000 dents. Les résultats mettent en évidence des changements morphométriques au cours du temps, comme cela est documenté dans la littérature, mais également dans l'espace. L'espace sera défini à différentes échelles, entre le Rhône et l'Ebre, mais aussi entre le littoral et l'intérieur des terres. Ce travail permet d'appréhender la question du lien entre les différentes zones du Languedoc et de la Catalogne, et de leur évolution dans le temps. Ces résultats s'intégreront dans le projet ERC-DEMETER « 8 millénaires de changements dans les plantes et animaux domestiques, comprendre l'adaptation locale face aux changements socio-économiques et environnementaux ».

Mots-Clés : Morphométrie géométrique, Catalogne, Languedoc, Morphotype

Adieu veaux, vaches : vèlages dystociques et mortalité fœto-maternelle en archéozoologie

Annelise Binois-Roman¹

¹ Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – CNRS: UMR 7041 ArScAn – France

En élevage bovin actuel, les vèlages dystociques liés à une malposition fœtale représentent environ 2% des naissances, parmi lesquels 95% requièrent une assistance humaine spécialisée. Lorsque celle-ci fait défaut, l'immense majorité des cas aboutissent au décès du veau et/ou de la mère. Ces décès obstétricaux, encore courants aujourd'hui, devaient ainsi également constituer une réalité quotidienne pour les populations agricoles passées.

Pourtant, il est exceptionnellement rare que de tels événements soient documentés archéologiquement. Cette communication présentera le cas d'une inhumation bovine datée du XIV^e siècle en provenance de Tèteghem (Nord), pour laquelle une origine obstétrique du décès de la vache et de son fœtus à terme ne fait aucun doute. L'identification sur le veau d'une fracture métacarpienne laisse de plus supposer une malencontreuse intervention humaine lors du vèlage; dans ce contexte, les connaissances obstétricales et les options thérapeutiques à disposition de l'éleveur du Moyen Âge seront discutées.

Le cas de Tèteghem, bien que particulièrement illustratif, n'est pas unique; d'autres cas de vèlages dystociques peuvent en effet être identifiés au sein de la documentation photographique issue des rapports de fouille. Nous présenterons ainsi quatre autres cas certains ou probables, et concluons notre exposé par des recommandations pour une meilleure identification de ces événements dès la phase de fouille.

Mots-Clés: Santé Animale, Paléopathologie, Soins vétérinaires, Obstétrique

Diversité de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans le Nord-Ouest du Bassin Méditerranéen occidental depuis 8 millénaires d'après l'analyse morphométrique des caryopses archéologiques

Angèle Jeanty¹, Jérôme Ros¹, Cyprien Mureau¹, Camille Dham¹, Célia Lecomte¹, Vincent Bonhomme¹, Sarah Ivorra¹, Natàlia Alonso Martínez², Ferran Antolín^{3,4}, Ramon Buxó⁵, Isabel Figueiral¹, Charlotte Hallavant⁶, Dani Lopez Reyes⁷, Philippe Marival⁸, Lucie Martin^{9,10}, Rachèl Pinaud-Querrac^h⁸, Núria Rovira⁸, Marie-Pierre Ruas¹¹, Laurent Bouby¹, Allowen Evin¹

¹ ISEM – Université de Montpellier, CNRS: UMR5554, EPHE, IRD: UMR226 – France

² Grup d'Investigació Prehistòrica, Universitat de Lleida – Espagne

³ IPAS, Department of Environmental Sciences, University of Basel – Suisse

⁴ German Archaeological Institute, Berlin – Allemagne

⁵ Museu d'Arqueologia de Catalunya-Girona, Catalonia – Espagne

⁶ TRACES – EHESS, Université Toulouse – Jean Jaurès, MCC, CNRS, UMR5608 – France

⁷ Arqueovitis sccl – Espagne

⁸ ASM – MCC, Université Paul-Valéry – Montpellier 3, CNRS, UMR5140 – France

⁹ EDYTEM – CNRS, Université Savoie Mont-Blanc, UMR 5204 – France

¹⁰ Laboratoire d'archéologie préhistorique et anthropologie, Université de Genève – Suisse

¹¹ AASPE – MNHN, CNRS, UMR7209 – France

Le Néolithique voit la domestication de l'orge au Proche-Orient et sa diffusion progressive jusque dans l'ouest du Bassin Méditerranéen. Elle y représente depuis une céréale majeure des systèmes agraires. Deux sous-espèces coexistent, orge à 2 rangs (*H. v.* subsp. *distichum*) et à 6 rangs (*H. v.* subsp. *vulgare*), subdivisées en formes nues et vêtues, en lien avec des usages et caractéristiques agronomiques variés.

Les dynamiques passées de cette diversité sont peu connues car les approches paléogénétiques qui permettraient de les appréhender sont fortement limitées par la carbonisation qui, tout en assurant la conservation de la plupart des grains archéologiques, détruit l'ADN. L'essor de la morphométrie géométrique en bioarchéologie procure cependant une série d'outils applicables à grande échelle pour décrire et étudier quantitativement la diversité de l'orge au cours du temps. Cette étude a pour but (1) de comparer les diversités passée et actuelle de l'orge, (2) d'en documenter la diversité depuis le Néolithique dans le Sud de la France et le Nord-Est de l'Espagne, (3) d'envisager des relations entre les dynamiques de cette diversité et des évolutions socio-économiques, culturelles et environnementales.

Cette étude repose sur la création d'un référentiel de 85 variétés actuelles carbonisées en laboratoire. Les vues latérale et ventrale de 3347 grains ont été photographiées, puis des Transformées Elliptiques de Fourier ont été calculées à partir des contours de ces grains. Les résultats morphométriques indiquent que, malgré les déformations induites par la carbonisation, la diversité de l'orge peut être documentée par l'analyse des variables de taille, de conformation et de forme des caryopses. Ces résultats ont ensuite permis de s'intéresser aux orges archéologiques.

Pour cela, 11633 caryopses archéologiques provenant de 103 sites ont été pris en photo puis analysés. Les résultats montrent que le Néolithique semble se séparer des autres phases chronologiques par les tailles et formes des grains. En effet, on note une diminution durant cette période de leurs longueurs, largeurs et épaisseurs alors que ces variables augmentent depuis la fin du Néolithique jusqu'à l'actuel. Enfin la morphométrie a permis de documenter des différences de taille et de forme entre sites au cours de certaines phases chronologiques qui peuvent s'expliquer de manière multifactorielle. Ces résultats soulèvent des questions sur les dynamiques de la diversité au cours du temps en lien avec des variations climatiques, des différences de terroirs, des pratiques agricoles dont la sélection agronomique, et les choix culturels des populations.

Cette étude fait partie du projet DEMETER (ERC Starting Grant #852573, 2020-2025, PI A. Evin) qui a pour but de caractériser l'évolution des espèces domestiques dans le Nord-Ouest du Bassin Méditerranéen Occidental du Néolithique à nos jours, et d'identifier les facteurs culturels, socio-économiques et environnementaux ayant façonné cette agrobiodiversité et son évolution.

Mots-Clés: Agriculture, Morphométrie, Céréales, Nord Ouest du bassin méditerranéen, Diachronie, Diversification

Were different varieties of pulses farmed? Methodological approach and first results of observing possible intraspecific differences in archaeological legumes

Miguel Tarongi¹

¹ Universitat de Lleida – Espagne

Geometric morphometry is a non-invasive technique that is providing very good results in different archaeological materials. One of the fields in which it is being applied in recent years is the study of archaeological seeds. Research on different species has provided very useful information to improve doubtful taxonomic identifications or even to detect interspecific differences in some of them.

On the other hand, the study of archaeological pulses has been somewhat limited and difficult, mainly due to the scarcity of remains and the difficulty of some taxa in their identification. The application of these morphometric analyses in these species is providing new ways to identify them. So, why not try to see interspecific differences?

In this paper we present the results obtained on legume seeds cultivated in the Western Mediterranean during the II and I millennium BC, specifically on grass pea (*Lathyrus cicera/sativus*), lentils (*Lens culinaris*), peas (*Pisum sativum*), bitter vetch (*Vicia ervilia*), broad beans (*Vicia faba*) and vetches (*Vicia sativa*). Two analysis models were applied for this study. The first, based on shape variables, was obtained through morpho-geometric analysis of closed outlines, transforming the Cartesian coordinates of the seed shape into mathematical coefficients through elliptic Fourier transformations. The second model has been performed through traditional biometric data of length, width and thickness. Both analyses have been performed independently, subsequently interpreting all the data as a whole. In order to observe possible intraspecific differences, a non-hierarchical cluster analysis has been performed, establishing how many types of groups can be best identified in each species.

This type of study is pioneering in archaeological pulse seeds, so it has been decided to create the different clusters of shape and size through the data of archaeological materials, not using current references for now. The purpose of this is to observe if there are intraspecific differences within the same species, extending this methodology with current references in case the results are positive.

We believe that this type of analysis can help to open a new avenue of research that can help to establish the possible introduction of different cultivars and/or varieties of legumes in the Western Mediterranean during the II and I millennium BC, especially in taxa in which there are wild varieties or species of these cultivars.

Keywords: Western Mediterranean, Geometric Morphometry, Traditional Biometric, II and I Millennium BC, Pulses

La fertilisation des champs en Gaule durant le second âge du Fer et la période romaine, abordée par la biogéochimie des restes céréaliers

Sammy Ben Makhad¹, Marie Balasse¹, François Malrain², Mònica Aguilera³, Denis Fiorillo¹, Matteredne Véronique¹

¹ AASPE – CNRS, MNHN, UMR7209, – France

² INRAP – UMR8215 TRAJECTOIRES, CNRS, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – France

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

Le dynamisme de la démographie et de l'économie des sociétés gauloises du second âge du Fer et de la période romaine s'appuie sur l'efficacité du système agricole. Un des paramètres qui accroît le potentiel des cultures, et qui a été étudié lors d'une thèse soutenue récemment, est la gestion de la fertilité des sols. Les archéologues ont souvent traité de cette question à partir de sources disparates (agronomes latins, études des stabulations et des latrines, mobilier hors-site, écologie des plantes adventices), mais qui n'attestent souvent que de la capacité de production de fumier. La biogéochimie appliquée à l'archéobotanique a bénéficié de récents développements méthodologiques afin de mieux renseigner les pratiques agricoles passées. Les analyses isotopiques des plantes informent sur leurs conditions de croissance et peuvent servir à mettre en évidence la fertilisation des champs à l'échelle de chaque récolte. Ces analyses isotopiques ($\delta^{15}\text{N}$), appliquées sur des restes céréaliers issus de 68 sites archéologiques, ont montré que l'utilisation de fumier était largement répandue dans toute la moitié nord de la France tout au long du second âge du Fer et de la période romaine. Dans certaines régions, il a été montré que les agriculteurs utilisaient moins de fertilisant, probablement à cause des contraintes géologiques qui limitent l'agriculture. Un deuxième apport de cette étude a été de mettre en évidence le traitement spécifique de certaines espèces de céréales, en particulier les blés nus, qui bénéficient de la fumure dans un plus grand nombre de cas. Bien que l'occupation du territoire change avec la conquête, nous n'observons pas d'évolutions particulières dans les pratiques de fumure entre les périodes gauloises et romaines.

Mots-Clés: Agriculture, Fumier, Carpologie, Isotopes, Gaule septentrionale

New data on Iron Age adhesives document continuous production and wide-ranging use of birch tar in north-eastern France

Tabea Koch^{1,2}, Marion Saurel³, Hervé Bocquillon⁴, Martine Regert¹

¹ Université Côte d'Azur, CEPAM, CRNS, Nice – France

² YEAR Centre/PalaeoHub, Department of Archaeology, University of York – Royaume-Uni

³ UMR 8546 AOROC, Paris – France

⁴ Inrap, Grand Est Nord, Châlons-en-Champagne – France

Adhesive technologies date back to the Stone Age, but archaeological evidence often remains scarce. From the Palaeolithic on, birch tar was the most widely manufactured and used

adhesive until the advent of the Metal Ages. More recent periods attest to a diversification in terms of the materials used as adhesives and the ranges of their application. Some studies have shown that conifer resins and beeswax were added to compound adhesives. For the Iron Age, no comparative large-scale studies were conducted to provide a global aspect on adhesive production and use. To resolve this question, we identify adhesive substances produced and used during the Iron Age in the Champagne region of France. We applied organic residue analysis (including GC-MS) to over 50 archaeological samples from multiple sites mainly dating to the La Tène period. We also conducted tomographic analysis to investigate potential adhesive production proxies. We included samples adherent to ceramics, from vessel surface coatings, repairs and contents, and lumps. Our findings show that birch tar was the predominant adhesive in this region and used over a period of at least 400 years. We also report, to a lesser extent, the use of conifer resins and beeswax. This has implications for our understanding of late Iron Age birch tar use in north-eastern France. Our study is the first large-scale investigation into Iron Age adhesive technologies that highlights the wide range of functional applications for which birch tar remained the preferential material.

Keywords: Birch tar, Pyrotechnology, Adhesive technologies, Conifer resin

Les sapins du plafond à caissons du complexe culturel gallo-romain de Saint-Martin-au-Val, Autricum-Chartres (Eure-et-Loir) : projet d'approches interdisciplinaires pour la caractérisation des boisements, de la provenance, du choix et du travail du bois

Magali Toriti¹, Yannick Le Digol², Bruno Bazin^{3,4}, Clothilde Azzi⁵, Emmanuel Bouilly⁴, Sonia Papaian⁴, Christophe Hano⁶, Jean-Philippe Blondeau⁷, Wolfram Kloppmann⁸

¹ CreAAH – Le Mans Université, MCC, INRAP, CNRS, UMR6566 – France

² Dendrotech – France

³ UMR 8546 AOROC – Service archéologique de la ville de Chartres – France

⁴ Direction Archéologique de la ville de Chartres – Ville de Chartres et Chartres Métropole – France

⁵ Faculté des lettres, langues et sciences humaines – Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne – Paris 12 – France

⁶ LBLGC – Université d'Orléans : EA1207, INREA : USC 1328 – France

⁷ CEMHTI – Université d'Orléans, CNRS : UPR3079 – France

⁸ Bureau de Recherches Géologiques et Minières – France

Depuis une quinzaine d'années, un programme de recherche dirigé par la Direction de l'Archéologie de la ville de Chartres, porte sur la fouille et l'étude d'un complexe culturel gallo-romain à Chartres en Eure-et-Loir. Construit entre la fin du I^{er} siècle et le début du II^e siècle, ce dernier d'une superficie estimée à plus de 10 hectares est implanté à moins d'un kilomètre au sud du centre administratif et politique de la ville romaine. Il regroupe un grand temple avec galeries de circulation, longé à l'est par un portique rythmé de plusieurs bâtiments. Au nord, en contrebas du podium d'un autel dédié à Apollon, une fontaine

monumentale, particulièrement bien conservée, a été mise au jour. Au sein de cet édifice, dont les placages de marbres colorés importés d'Italie, de Grèce et de Turquie sont encore visibles, trois bassins ont été dégagés dont deux d'apparat. Ces derniers contenaient près de 2000 pièces de bois d'un plafond à caissons hexagonaux et rhombiques décorés et d'une charpente dans un état de conservation exceptionnel. C'est un incendie et une remontée rapide de la nappe phréatique qui sont à l'origine de sa préservation. Les épais remblais de démolition de la rivière l'Eure ont achevé de sceller cet ouvrage. Ce corpus ligneux inédit dans le monde romain occidental se compose de chêne (*Quercus* à feuillage caduc) pour les éléments de charpente, de sapin (*Abies alba*) pour quelques pièces de charpente et les poutres, poutrelles et planches constitutives des caissons, et de tilleul (*Tilia* sp.) pour les décors sculptés de ces derniers.

Ce sont les 560 sapins du corpus, une essence exogène au territoire d'Autricum, et plus largement de la région, qui retiennent notre attention pour cette présentation.

En Gaule, les données bioarchéologiques révèlent que le sapin est une essence régulièrement attestée dans l'architecture romaine, mais la question de son origine est souvent posée. Archéologiquement, il semble y avoir un avant et un après période romaine, symptomatique peut-être, d'une gestion particulière du sapin. En parallèle, les auteurs latins décrivent et connaissent très bien les qualités techniques et mécaniques de cette espèce. Le cas des bois de Saint-Martin-au-val vient renforcer ces observations et permet la mise en place d'un projet scientifique interdisciplinaire.

L'un des objectifs de cette recherche sur ce corpus est donc ici de caractériser la provenance et la morphologie des boisements choisis pour la confection du plafond et ainsi se poser la question de l'économie du bois pour une ville telle qu'Autricum. C'est également à partir de l'analyse du travail des artisans qu'il est possible de renseigner la gestion et la transformation d'un arbre en élément de caisson.

Pour ce faire, c'est toute une chaîne opératoire analytique et interdisciplinaire qui est mise en place alliant Sciences Humaines et sociales, Sciences végétales et animales, et géosciences : xyloentomologie, dendrochronologie et dendroprovenance, relecture des textes antiques, tracéologie, géochimie isotopique, analyse ADN, encore l'utilisation de l'infrarouge (FTIR) alliée à la phytochimie.

Mots-Clés : Xyloentomologie, Dendrochronologie, Géosciences, Environnement, Bois de construction.

Etude palynologique du sanctuaire antique de Saint-Martin-au-Val (Autricum/Chartres, 28)

Charlotte Herpin¹, David Aoustin¹, Bruno Bazin², Fabien Colleoni¹, Chantal Leroyer¹

¹ UMR 6566 CReAAH – Université Rennes 2 – Haute Bretagne, CNRS, MCC, UMR6566 – France

² UMR 8546 AOROC – Service archéologique de la ville de Chartres – France

En 2018, la fouille archéologique du sanctuaire antique de Saint-Martin-au-Val (Chartres, 28), dirigée par Bruno Bazin, a mis au jour un bassin qualifié « d'exceptionnel ». En effet, en son sein, ont été découverts plusieurs centaines d'éléments de bois en partie calcinés et imbibés, qui constituent les restes de plafonds à caissons ornés et décorés de nombreux motifs. La résurgence de la nappe phréatique au sein du bassin au moment de l'abandon du bâtiment a permis la conservation de ces bois mais également des éléments organiques contenus dans les sédiments (restes carpologiques, palynologiques, entomologiques...).

Dans ce contexte, une large approche pluridisciplinaire a été mise en place, visant à appréhender l'environnement végétal du sanctuaire mais aussi l'utilisation de certains végétaux dans ce contexte culturel.

L'étude palynologique a porté sur les niveaux liés à la destruction et à l'abandon du bassin. Les résultats ont pu être confrontés à ceux obtenus à proximité mais hors site et en fond de vallée. L'environnement du sanctuaire est apparu très ouvert avec cependant quelques boisements clairs et hygrophiles principalement constitués d'une chênaie-ormaise sur les zones exondées et d'une petite ripisylve sur les sols hydromorphes. Excepté ces quelques espaces boisés, la végétation autour du bassin reste principalement constituée de prairies humides et de friches qui correspondent possiblement à l'abandon du sanctuaire. Néanmoins, les marqueurs d'activités agro-pastorales, et notamment de cultures céréalières, témoignent de la continuité des activités humaines malgré la désertion du complexe culturel.

Outre l'information environnementale, l'analyse palynologique a permis d'envisager la présence d'essences volontairement introduites au sein du sanctuaire à vocations ornementales et/ou sacrées. Celui-ci pouvait être agrémenté de haies, clôtures voire de plantes topiaires, participant à une volonté d'ornementation du sanctuaire.

Ainsi, le développement de recherches palynologique apparaît comme une contribution notable à la compréhension des espaces culturels comme à la perception des gestes et rites des sociétés passées.

Mots-Clés: Chartres, Sanctuaire, Antiquité, Palynologie, Eco-systèmes, Plantes ornementales

L'exploitation des substances naturelles en Corse durant les âges des métaux : approche biomoléculaire

Mailys Turini¹, Maxime Rageot², Léa Drieu¹, Arnaud Mazuy¹, Kewin Peche-Quilichini^{3,4}, Martine Regert¹

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

² University Tuebingen, Institute for Prehistory and Early History and Medieval Archaeology – Allemagne

³ ASM – Université Paul Valéry – Montpellier III, CNRS, UMR5140 – France

⁴ Musée de l'Alta Rocca – Collectivité de corse – France

La mauvaise préservation des restes organiques amorphes observée dans l'aire méditerranéenne ne nous permet pas d'avoir une vision globale de l'exploitation des ressources naturelles par les populations pré- et protohistoriques. Toutefois, Cuciurpula, un site corse occupé de l'âge du Bronze à l'âge du Fer, a révélé une excellente conservation des résidus organiques amorphes, allant de fragments libres dans le sédiment aux résidus visibles à la surface des céramiques, y compris des restes invisibles absorbés dans leurs parois. Cela s'explique notamment par l'acidité du sol qui limite la prolifération des micro-organismes responsables de la dégradation de la matière organique.

Un corpus de 112 échantillons a été étudié dans le but de déterminer leur nature, leur(s) fonction(s) et à terme d'appréhender les stratégies d'acquisition et d'exploitation de ces ressources naturelles, qu'elles soient d'origine végétale et animale, et leur évolution dans le temps et dans l'espace. Une stratégie analytique fondée sur des analyses séparatives (chromatographie en phase gazeuse – GC) et structurales (spectrométrie de masse couplée à la GC – GC-MS) a dévoilé une grande diversité de substances naturelles : brai de bouleau, exsudats de conifères, cire d'abeille, huiles végétale et matières grasses animales. Ces divers matériaux ont pu être employés dans le cadre d'activités artisanales, pour imperméabiliser et réparer les céramiques, et dans le cadre d'activités culinaires. L'excellente conservation du signal moléculaire obtenu a permis d'émettre des hypothèses sur les modes de fabrication du brai de bouleau, un goudron d'écorce de bouleau obtenu par processus thermique. Parmi les denrées comestibles détectées dans les céramiques, les huiles végétales semblent occuper une place importante par rapport aux graisses d'origine animale, ce qui distingue Cuciurpula de la plupart des sites méditerranéens pré- et protohistoriques. Ces nouvelles données ont également apporté des informations complémentaires aux données archéologiques concernant la spatialisation des activités techniques, artisanales et culinaires au sein des habitations de l'âge du fer du site.

Ces résultats apportent des données inédites sur les systèmes techniques et alimentaires des populations corses au 1er millénaire avant notre ère et montrent que les sites corses peuvent représenter, dans l'aire méditerranéenne, un atelier tout à fait intéressant pour appréhender l'évolution de l'exploitation de substances naturelles. Elles soulèvent aussi de nouvelles questions sur les réseaux d'approvisionnement de ces matières premières et les aires de production de ces produits naturels et manufacturés (brai de bouleau, huile et cire végétale, produits de la ruche, *etc.*). Le projet doctoral « INVISARCH » vise à systématiser

cette stratégie analytique sur un corpus de sites plus vaste, afin d'appréhender la nature, la gestion et l'évolution des substances naturelles exploitées en Corse.

Mots-Clés : Biodiversité, Systèmes alimentaires, Céramiques, Lipides, Corse

King Khufu's second boat: scientific identification of wood species used for deckbeams, Hull, and ribs

Ahmed Abdrabou¹, Eisaa Zidan, Akiko Nishisaka, Hiromasa Kurokochi, Sakuji Yoshimura

¹ Grand Egyptian museum – Égypte

Despite the historical and archaeological significance of King Khufu's boats (4th Dynasty-Old Kingdom), only few published studies are available on the scientific identification of wood species used in the construction of King Khufu's boats, and these studies are far from comprehensive research. In addition, the identity of some woods is still doubtful. As a result, the purpose this study is to conduct the detailed scientific identification of wood species used in the construction of King Khufu's second boat in order to implement the database concerning the utilization of different timber species used in the construction of different parts of the second boat such as deckbeams, hull, and ribs; and to demonstrate the principal technological characteristics of the identified wood species. After an outline of the difficulties at the boat site and a description of the condition of the boat, the paper describes the analysis, starting from the sampling methodology that was organized and required special techniques to consolidate the degraded wood to perform the subsequent micro-morphological analysis, through macroscopic and portable microscope observation. Wood analyses let us identify different taxa and examine their specific employment in the parts of the second boat. The data evidenced that different woods were suitably used for the construction of the different parts of the boat. As well as the results of our analysis let us to expand the collection of data relating to the exploitation of plant resources by humans in the Mediterranean area in the antiquity, to implement the database concerning the utilisation of different timber species in the boat and finally, to give new information about ancient technology of boats in ancient Egypt.

Keywords : King Khufu, Boats, Wood identification, Deckbeams, Hull, ribs, *Cedrus libani*, *Tamarix* Sp.

Anthraco-chronologie de la forêt métallurgique de la Montagne Noire durant l'Antiquité. Le cas de Laprade-Basse (Ier – III^e s. ap. J.-C.)

Julien Chardonneau-Henneuse^{1,2}, Benoit Brossier², Christophe Vaschalde³, Bernard Micouleau, Jean-Frédéric Terral², Stéphane Mauné¹

¹ ASM UMR 5140 – Université Paul Valéry – Montpellier III – France

En 1984, une opération de sauvetage engagée par le Service régional de l'archéologie sur le site de Laprade Basse (Cuxac-Cabardès, Aude), sous la direction de Bernard Micoulean, avait pour but de renseigner les données archéologiques ayant été mises au jour par les destructions causées lors de travaux sur la voie publique. Rapidement, cette fouille a montré l'ampleur du site et permis de renseigner, entre 1985 et 1988, un bâtiment/dépotoir en lien avec une installation de transformation du minerai, une des nombreuses qui occupent la Montagne Noire dès l'Antiquité. D'après le mobilier découvert, ce bâtiment a été fondé pendant la seconde moitié du I^{er} s. ap. J.-C. et a été abandonné entre la fin du II^e s. et le début du III^e s. ap. J.-C., sans interruption de l'activité.

Malgré l'ancienneté de ces fouilles, habituellement marquée par l'absence de prélèvements archéobotaniques, quelques centaines de charbons ont été ramassés du fait de leur grande taille (> 3cm), et conservés au sein d'un dépôt de fouille depuis. Ces prélèvements ont été rapatriés en juin 2022 vers Montpellier, en vue d'une étude anthracologique dans le cadre d'une thèse qui s'intéresse à l'économie du bois en contexte artisanal en Gaule narbonnaise occidentale durant l'Antiquité (Université Paul-Valéry Montpellier III). Bien qu'ils ne répondent pas à tous les prérequis de l'approche paléoenvironnementale, il a été possible de profiter de la bonne conservation des charbons de bois, ainsi que du nombre important de cernes présents sur certains fragments (> 80), pour appliquer une nouvelle approche, l'anthraco-chronologie. Développée depuis 2018 à Montpellier au sein de l'ISEM (UMR5554) (Brossier, Poirier 2018; Brossier et al 2020), elle consiste à l'application des méthodes de la dendrochronologie sur charbons de bois. Elle permet ainsi de tracer les patrons de croissance de chaque charbon, afin de les inter-dater entre eux et de mettre en évidence des caractéristiques dendrologiques (arrêt de croissance, cerne étroits, etc.), rattachées à des modèles d'exploitation des boisements.

Les études anthracologiques menées sur le site de Laprade Basse concernent cinq contextes et indiquent une exploitation de la chênaie-hêtraie, encore voisine du site. La méthode anthraco-chronologique a été applicable sur une vingtaine de charbons de hêtre, issus de deux contextes, et a permis d'établir une chronologie de 195 ans, mettant en lumière au moins deux coupes alternées par des phases de régénération d'une vingtaine d'années. D'autres indices d'abattage sont encore en cours d'étude. Et si hier, ils pouvaient être pensés qu'aucune disposition n'avait jamais été prise de la part des exploitants dans le but de préserver le patrimoine boisé, cette approche tend à montrer la complexité des systèmes en question, et cela dès l'Antiquité.

BROSSIER B., POIRIER P. (2018) – A new method for facilitating tree-ring measurement on charcoal from archaeological and natural contexts, *Journal of Archaeological Science*, Volume 19, p.115-126.

BROSSIER B., POIRIER P., VASCHALDE C., FIGUEIRAL I., CHABAL L. et al. (2020) – Nouveau protocole de prélèvement et de préparation des macro-charbons pour une généralisation des études anthraco-chronologiques, *Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : Actes du 4e séminaire scientifique et technique de l'Inrap*, 28-29 nov. 2019, Sélestat, Inrap, 14 p.

Combustible d'un atelier de fondeurs de cloche XVIII^e siècle – Côte d'or – France

Isabelle Gillot¹, Nicolas Thomas^{2,3}, Antoine Guicheteau^{2,4}

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

² INRAP – France

³ LAMOP, UMR 8589 – France

⁴ Artheis – Université de Bourgogne, CNRS, UMR 6298 – France

Un diagnostic réalisé au cœur du village d'Alise Sainte-Reine (Côte d'Or, France) a mis au jour une fosse de coulée de cloche et possiblement les fondations d'un four de fusion correspondant à une fonderie installée à la fin du XVII^e siècle ou au début du XVIII^e siècle. Les essences de bois utilisées pour cette activité de fonderie ont été caractérisées dans le but d'enrichir les connaissances sur les pratiques des fondeurs de cloche et de les comparer avec les données déjà acquises pour des périodes antérieures principalement dans le Sud de la France ainsi que d'autres régions. La comparaison des essences utilisées comme combustible dans des contextes de production de cloche permet d'envisager les pratiques des artisans à la fois en fonction des contraintes liées à la fonderie et celles de l'environnement.

La fosse de coulée de cloche a livré la base d'un moule en terre relativement bien conservé au fond avec la trace d'un pieu central carbonisé et des remblais contenant de nombreux charbons de bois résultant du séchage du moule et de sa cuisson.

L'assemblage ligneux est représentatif d'une diversité végétale relativement faible et parmi les 6 taxons identifiés, le chêne à feuillage caduc est de loin l'essence majoritaire, représentée à près de 60 %, accompagnée par le charme autour de 25 %. La viorne ne représente que 9 % de l'assemblage, alors que les autres essences (hêtre, frêne et maloidées) sont en proportion extrêmement réduite (1 % à 3 % seulement du total). Les différents niveaux de remblai étudiés séparément présentent exactement la même liste de taxons et des proportions semblables pour les deux principales essences. La répartition entre bois denses et aérés conjugue vitesse de combustion et pouvoir calorifique. La présence d'un four à réverbère à Alise-Sainte-Reine, nécessitant la production de grandes flammes vives dans un objectif de tirage intense et de production de forte chaleur suggère plutôt du combustible utilisé sous forme de bois pour la fonte du métal.

L'ensemble des données indiquent une récolte du combustible ligneux dans un milieu forestier proche du site, dominé par le chêne à feuillage caduc associé au charme, de type chênaie-charmaie-hêtraie. Cette étude, bien que très partielle et limitée à l'identification de charbons de bois concentrés dans une structure comme une fosse de coulée de cloche, vient enrichir le corpus initié dans le sud de la France. En effet, les données rassemblées montrent une utilisation opportuniste des arbres disponibles à proximité quel que soit la période ou la localisation considérée. On peut aussi remarquer qu'il est extrêmement rare que le combustible soit monospécifique

du fait de la présence quasi systématique d'au moins deux espèces majoritaires associées avec d'autres essences en quantités plus minimales. Cette dernière observation conduit à relativiser l'opportunisme de l'artisan prélevant dans son environnement immédiat le combustible dont il a besoin : même si les choix demeurent contraints, que ce soit par la technique ou la disponibilité, ils semblent se manifester dans l'association des espèces utilisées.

Mots-Clés: Anthracologie, Cloche, Combustible, Fosse de coulée de cloche, Environnement

Biological resources in the economy of the medieval urban settlement of Târgu Neamt, (Neamt County, Romania)

Margareta Simina Stanc¹, Mihaela Danu¹, Vasile Diaconu², Luminița Bejenaru¹

¹ Faculty of Biology, Alexandru Ioan Cuza University of Iași – Roumanie

² History and Ethnography Museum of Târgu Neamt – Roumanie

Some of the medieval urban settlements located east of the Carpathians are still insufficiently known from bioarchaeological perspective. In a such situation is the town of Târgu Neamt, (Neamt County, Romania), founded, most likely, in the 14th century.

The first information about the urban settlement of Târgu Neamt, were recorded at the end of the 70s, when small-scale archaeological research revealed traces of buildings from the 15th-16th centuries. In the last decade, the archaeological data has been substantially enriched thanks to more extensive archaeological excavations in the Târgu Neamt, -*La Damian site*, where the remains of two medieval dwellings and several household complexes dated to 14th-16th centuries were investigated. During archaeological excavations, a consistent archaeological inventory was recovered (e.g., ceramics, iron objects, osteological remains).

The animal remains of the analyzed sample belong to mammals, birds, and fish. Most of them come from domestic mammals. The bird bone fragments come mainly from chicken (*Gallus domesticus*). Identified fish remains belong only to teleostean group. Seven species of mammals have been identified, five of domestic and two of wild species. The mammal species are as follows: *Bos taurus* (cattle), *Ovis aries* (sheep), *Capra hircus* (goat), *Sus domesticus* (pig), *Canis familiaris* (dog), *Lepus europaeus* (hare), and *Cervus elaphus* (red deer). Cattle remains have the largest frequency in the sample, followed by those of sheep/goat and pig. Dog had not alimentary importance for the population of this settlement.

The analysis of phytoliths was also included in this study, to evaluate vegetal resources used by the studied medieval community. The data indicate a diet that was also based on carbohydrates.

This work was supported by a grant of the Ministry of Research, Innovation and Digitization, CNCS – UEFISCDI, project number PN-III-P4-PCE-2021-1180, within PNCDI III.

Keywords: Animal Resources, Paleoeconomy, Phytoliths, Medieval Urban Settlement, Romania

Exploitation et gestion des ressources animales chez les Magdaléniens du Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin, Vienne, France)

Patricia Valensi¹, Nicolas Boulbes¹, Florent Rivals^{2,3,4}

¹ HNHP – MNHN, Université de Perpignan Via Domitia, CNRS, UMR7194 – France

² Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats – Espagne

³ Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA) – Espagne

⁴ Universitat Rovira i Virgili – Departament d'Història i Història de l'Art – Espagne

Le gisement du Roc-aux-Sorciers, situé dans le Centre-Ouest de la France, est aujourd'hui bien connu grâce à l'étude de sa frise sculptée sur la paroi rocheuse, datée du Magdalénien moyen (Pinçon, 2009). Devant la frise de l'abri Bourdois, les fouilles de Suzanne de Saint-Mathurin dans les années 50-60 ont mis en évidence des occupations du Magdalénien moyen contemporaines des œuvres pariétales, surmontées par des niveaux du Magdalénien supérieur. L'étude porte sur les grands mammifères issus de ces anciennes fouilles dans l'abri Bourdois et la Cave Taillebourg. Les populations animales sont analysées sous différentes approches (quantification, saisonnalité, VSI, traitement des carcasses, méso-usure dentaire, micro-usure dentaire, analyses paléoenvironnementales). Ce travail vise à définir, au sein de la séquence magdalénienne, l'évolution des comportements humains sur la faune en interaction avec leur environnement.

Le cortège faunique, riche de 20 espèces, se caractérise par la présence de deux espèces dominantes : renne et cheval, suivies de l'antilope saïga et du bison (Valensi, 2009 ; Valensi et Boulbes, 2018). Les données paléoenvironnementales obtenues soulignent un adoucissement du climat et des modifications environnementales vers le haut de la séquence, c'est-à-dire au Magdalénien supérieur, confirmé par les autres disciplines. Au Magdalénien moyen, le site est occupé toute l'année avec notamment des chasses importantes centrées sur les chevaux et les rennes. Leurs ossements indiquent une exploitation maximale des carcasses dans un but alimentaire et non alimentaire. Ce gisement qui présente la particularité d'être un des rares abris sous-roche ornés magdaléniens où sont associés art pariétal et vestiges d'occupation (Pinçon, 2009) permet d'étudier les animaux en faisant le lien entre les panneaux figuratifs de la frise et la faune découverte en contexte archéologique servant à la consommation, l'art mobilier et la parure (C. Vercoutère, 2009). Ces analyses mettent en évidence les relations complexes entre les magdaléniens et chaque espèce animale et nous éclairent un peu plus sur la fonction de ce gisement exceptionnel.

Au Magdalénien supérieur, le site est occupé de façon saisonnière chez des groupes humains qui pratiquent des stratégies de subsistance et de traitement des animaux différents par rapport à leurs prédécesseurs.

G. Pinçon dir., 2009. Le Roc-aux-Sorciers : art et parure du Magdalénien. Catalogue des collections, Paris, RMN, (en ligne) <http://www.catalogue-roc-aux-sorciers.fr>

Valensi P., 2009. La faune à travers la collection Saint Mathurin. Dans G. Pinçon (ed.), Le Roc-aux-Sorciers : art et parure du Magdalénien, RMN, Paris, http://www.cataloguerocaux-sorciers.fr/html/12/collection/add_7.html.

Valensi P., Boulbes N., 2018. The magdalenian fauna from Roc-aux-Sorciers, a sculpted rock shelter (Vienne, France). Main archaeozoological results. *Quaternaire*, 29, (1) : 7580.

Vercoutère C., 2009. La Parure. In G. Pinçon (ed.), *Le Roc-aux-Sorciers: art et parure du Magdalénien*, RMN, Paris, http://www.cataloguerocauxsorciers.fr/html/12/collection/2_5.html

Mots-Clés : Abri Bourdois, Cave Taillebourg, Taphonomie, Saisonnalité, Méso-usure dentaire, Micro- usure dentaire, *Equus ferus arcelini*

Brucellose et populations corses anciennes

Philippe Biagini^{1,2}, Jean-Pierre Poli², Elodie Guinoiseau², Avril Meffray², Yann Ardagna¹, Catherine Rigeade³, Vianney Forest³, Denis Jouffroy⁴, Angélique Nonza-Micaelli⁴, Antonia Colonna⁴, Liliane Berti⁵

¹ Laboratoire paléopathologie/paléomicrobiologie – UMR 7268 ADES AMU-CNRS-EFS – France

² Laboratoire paléomicrobiologie – Sciences Pour l'Environnement : UMR6134 – France

³ INRAP – France

⁴ ICPP – UMR 6240 LISA – France

⁵ RN – UMR 6134 Sciences Pour l'Environnement – France

Les recherches sur la brucellose au sein des populations corses anciennes s'intègrent pleinement dans une perspective d'amélioration des connaissances des populations insulaires et méditerranéennes du passé, cette zoonose ayant des répercussions sur l'état de santé général par sa chronicité, tout en étant liée à des facteurs tels que l'alimentation et les rapports quotidiens homme-milieu. D'un point de vue historique, il est établi que les échanges et communications, importants entre la Corse et ses voisins méditerranéens, ont été à l'origine de l'arrivée d'agents pathogènes très divers au sein de l'île. Cette fièvre méditerranéenne était ainsi très vraisemblablement présente dès l'antiquité.

Des sites funéraires d'importance sont connus en Corse, toutes périodes confondues. De ce fait, des collections ostéoarchéologiques récentes sont disponibles pour études, notamment dans le cadre de recherches anthropobiologiques comportant des investigations paléopathologiques et paléomicrobiologiques combinées. Regroupées au sein d'un Projet Collectif de Recherche (PCR), nos recherches sur la brucellose s'intègrent dans le développement d'un axe de travail déjà existant, centré sur l'étude des pathogènes des populations corses anciennes, avec un partenariat fort entre spécialistes scientifiques, historiens et archéologues, membres de plusieurs composantes : l'Université de Corse (UMR 6134 SPE et UMR 6240 LISA), l'Université Aix-Marseille (UMR 7268 ADES), l'INRAP et les organismes insulaires DRAC Corse – SRA. Ceci à l'appui d'un laboratoire dédié aux recherches moléculaires sur les pathogènes anciens au sein de l'Université de Corse.

Les protocoles moléculaires mis en œuvre à partir de restes dentaires et osseux combinent approches séquences-dépendantes (amplification génique) ciblant un pathogène donné et approches « en aveugle », séquences-indépendantes (séquençage massif), avec analyse bioinformatique (reconstruction génomique, positionnement taxonomique/phylogénie) des séquences obtenues. Ces protocoles de recherche sont envisagés dans un contexte plus

vaste que celui reposant sur les seuls vestiges anthropobiologiques en intégrant l'étude d'os animaux retrouvés au sein des sites considérés.

Notre approche de travail a également pour vocation d'intégrer le dépouillement d'archives historiques d'origines variées (notamment hospitalières, vétérinaires et administratives); la collecte et l'analyse des données écrites contribuant également à notre compréhension de la diffusion de la brucellose dans les populations insulaires au cours des siècles.

Les différentes approches mises en œuvre dans le cadre de ce projet de recherche sont ici présentées.

Mots-Clés: Brucellose, Corse, Méditerranée, Paléopathologie, Paléomicrobiologie, Histoire, Archives.

Traités comme des chiens – un épisode médiéval d'élimination canine à Fosses-Saint-Ursin (Calvados)

Annelise Binois-Roman¹, Aurélia Borvon^{1,2}

¹ Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – CNRS, UMR 7041 ArScAn – France

² Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique

Le chien errant, autrefois élément incontournable du paysage urbain, a disparu des villes françaises au cours du vingtième siècle, notamment à la suite des campagnes d'éradication menées dans le cadre de la lutte contre la rage. Cette disparition, associée à la diminution du travail canin et à l'émergence des notions de maltraitance et de bien-être animal, a fait du chien contemporain un pur animal de compagnie, ami de l'homme par excellence. Cet état de fait est toutefois récent, et l'on oublie parfois que la population des chiens errants, animaux sans maîtres subsistant par leurs propres ressources, a longtemps égalé voire surpassé celle des chiens domestiques. Les sociétés passées n'étaient pas tendres avec ces animaux au statut liminaire, avec lesquelles elles entretenaient un rapport conflictuel; il faut dire que les nuisances réelles ou perçues occasionnées par les chiens errants à la période médiévale étaient multiples. L'assemblage mis au jour à Fosses-Saint-Ursin (Courseulles-sur-Mer, Calvados, France) nous offre un aperçu frappant d'une telle population canine. Le puits du village a en effet livré une accumulation d'au moins 65 squelettes incomplets de chiens sur une stratigraphie de près de 20 mètres, datée par radiocarbone aux XIV^e-XVI^e siècles. L'étude ostéologique de la collection met en évidence une population canine très majoritairement adulte, au sex-ratio équilibré, présentant une diversité de morphotypes dominés par des chiens graciles de taille moyenne. Ces individus montrent une fréquence atypiquement élevée de pathologies osseuses, et tout particulièrement de lésions d'origine traumatique, dont la répartition squelettique pourrait évoquer des violences répétées d'origine anthropique. L'analyse paléopathologique livre également des indications sur l'origine du décès de ces animaux: certains individus présentent des traces de mise à mort violente, tandis que d'autres paraissent avoir été jetés vivants dans le puits et y avoir survécu temporairement, se nourrissant des carcasses de leurs congénères. Nous interprétons ce dépôt comme témoignant d'un épisode concerté d'éradication d'une population de chiens errants.

De telles pratiques ne sont pas inconnues historiquement : elles émergent dans les sources écrites au tournant du XIV^e siècle, surtout en milieu urbain, et perdurent jusqu'à la période Moderne. Il est toutefois inhabituel de pouvoir les documenter archéologiquement, et le corpus de Fosses- Saint-Ursin est peut-être unique en France par le nombre de ses victimes et la qualité de la documentation paléopathologique permise. Ainsi, son analyse nous permet de caractériser une population de chiens errants et de documenter son état sanitaire, mais également de mieux appréhender les modalités des pratiques médiévales de gestion des nuisibles, et ce faisant, met en lumière un pan méconnu de la relation homme-chien.

Mots-Clés : Paléopathologie, Chiens errants, Violences volontaires, Gestion des nuisibles, Moyen-Âge

Identifier le dimorphisme sexuel chez le chien (*Canis familiaris*, Linnaeus, 1758) : réflexions et perspectives en archéologie

Camille Lamarque¹

¹ ARCHEORIENT – Université Lumière – Lyon 2, CNRS, UMR5133 – France

La détermination sexuelle chez le chien (*Canis familiaris*, Linnaeus, 1758) est une difficulté méthodologique majeure à laquelle les archéozoologues sont régulièrement confrontés en l'absence de *baculum* (os pénien). Face à cette difficulté, la recherche de caractères discriminants, produits par le dimorphisme sexuel, reste le meilleur outil pour permettre la distinction entre les mâles et les femelles.

Chez les Canidae sauvages, le dimorphisme sexuel se manifeste par une différence de taille entre les sexes favorisés par la sélection sexuelle. Ce dimorphisme se réduit fortement sous l'influence de la domestication et semble compromis, de prime abord, par la plasticité réputée du chien domestique. Mais ce dimorphisme sexuel persiste actuellement par la standardisation de la différenciation des mâles et des femelles dans les races modernes canines et a fait l'objet de quelques études de portée limitée car centrées à chaque fois sur une seule race.

Dans cette communication, nous nous proposons d'explorer cette question du dimorphisme sexuel en nous basant sur le pelvis à travers un échantillon hétérogène de races modernes. L'analyse statistique réalisée à partir de seize mesures – mesures de Von Den Driesch et de mesures supplémentaires – permet d'identifier des caractères spécifiques morphométriques entre mâles et femelles chez les spécimens modernes.

Enfin, l'applicabilité des résultats obtenus à partir des races modernes sur les chiens archéologiques constitue un point central de notre réflexion qui s'interroge sur la diversité des morphologies anciennes et modernes et leur comparaison.

Mots-Clés : Dimorphisme sexuel, Chien, Archéologie, Pelvis, Races modernes, Analyse en composantes principales (ACP), Analyse de la variance (ANOVA), Analyse linéaire discriminante (ADL)

Thème 3

DÉVELOPPEMENTS ET RENOUVELLEMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Coordination : Antoine Pasqualini, Manon Vuillien, Thibaut Devière

Les recherches en archéométrie bénéficient régulièrement d'avancées technologiques et analytiques qui contribuent à la consolidation de nos connaissances sur le patrimoine culturel matériel et immatériel (mémoire collective) favorisant ainsi sa sauvegarde sous différentes formes (physique, chimique ou encore numérique). Ce thème s'intéresse aux développements méthodologiques dans l'étude des contextes et des artefacts archéologiques, du site au laboratoire. Il réunira des contributions portant à la fois sur la gestion des jeux des données et leur accessibilité (3.1), sur les protocoles analytiques peu et non invasifs développés en chimie, en physique, en optique ou encore en imagerie (3.2), sur les protocoles expérimentaux et les enquêtes ethnographiques (3.3) ainsi que sur les méthodes de datation et les chronologies (3.4).

Coordination : Antoine Pasqualini, Matthieu Lebon, Thomas Huet

La gestion des jeux de données en archéométrie et archéosciences s'impose comme un élément central de nos stratégies de recherche. Ceux-ci sont représentatifs de nos problématiques à un instant donné et permettent d'interpréter, de comprendre, et ainsi de valoriser notre patrimoine culturel. Il s'agit du socle qui assure la pertinence du traitement et de l'analyse des données et donc la compréhension de nos résultats finaux. Au-delà de leur contexte spécifique de production (une des sous-disciplines archéologiques), la gestion des données est devenue un enjeu majeur tant l'expertise s'est développée et qu'il est probable qu'un seul projet ne puisse exploiter l'ensemble du potentiel des données dont il dispose. La Science Ouverte, qui consiste à rendre «accessible autant que possible et fermé autant que nécessaire» [1], les principes «Facile à trouver, Accessible, Interoperable, Réutilisable» (FAIR) [2], et la planification de la gestion des données (PGD)[3] visent à pouvoir réutiliser ces données sur le long terme pour produire de la sérendipité. Cette session invite à questionner la manière dont nous exploitons et interagissons avec nos jeux de données.

1. CNRS, Science Ouverte, <https://www.science-ouverte.cnrs.fr/>, accédé le 20/09/2022

2. Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., ... & Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*, 3(1), 1-9

3. INIST-CNRS, Plan de gestion de données, <https://doranum.fr/categories/dmp/>, accédé le 20/09/2022

Mots-clés : Collecte, Bases de données, Jeux de données, Stockage, Dépôt (publication), (Re)utilisation (traitement, analyse), Accessibilité, Science ouverte, FAIR

Gestion des jeux de données et Science Ouverte : L'implication des unités d'appui à la recherche

Amandine Henon¹, Isabelle Baly¹, Cécile Callou¹

¹ UAR BBEES – CNRS, MNHN – France

L'accompagnement des personnels de Recherche est au centre du cycle de vie des données afin de mobiliser les équipes dès la naissance du projet (notamment autour de la mise en place d'un Plan de Gestion de Données -PGD-) et de délimiter les besoins, qu'ils soient matériels ou humains.

La pérennisation et l'ouverture des jeux de données permettent de mettre en avant les bonnes pratiques de gestion des données : choix des logiciels au maximum Opensource (ouverts), questions juridiques (licence, propriété intellectuelle, cadre légal...) notamment.

La structuration des données est au cœur de la réflexion ; pour ce faire, une vision d'ensemble des acteurs est nécessaire afin de connaître les forces en présence et de répondre de la manière la plus appropriée à la problématique scientifique mais aussi à la situation de l'équipe et des compétences requises.

Les solutions mises en place le sont toujours en adéquation avec les recommandations des deux Plans Nationaux de la Science Ouverte et des principes FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable) qui en découlent. Ainsi, les jeux de données, structurés et proposés dans des formats pérennes, sont décrits dans des catalogues de métadonnées standardisés et publié avec un DOI dans des entrepôts sécurisés et de confiance.

Par le biais du projet InDoRES (Inventaire des Données de Recherche en Environnement et Sociétés) porté par l'équipe BBEES (Bases de données sur la Biodiversité, Ecologie, Environnement et Sociétés), nous ferons un focus sur les outils en lien avec la Science Ouverte et les principes FAIR qui inscrivent les jeux de données dans un cycle de vie vertueux et pérenne. Les projets (type ANR) sur lesquels nous intervenons au sein de l'unité soulèvent des problématiques intéressantes sur la gestion des jeux de données. Des exemples d'applications dans le domaine de l'archéologie serviront de fil rouge à cette communication.

Mots-Clés : Données, Science ouverte, Principes FAIR, Accompagnement, Outils, Cycle de vie, Entrepôt de données

Euphrosyne : la plateforme numérique de gestion des données de New AGLAE en vue de leur « patrimonialisation »

Claire Pacheco^{1,2}, Ned Baldessin³, Enora Bulting³, Maxime Cattet³, Quentin Lemasson^{1,2}, Laurent Pichon^{1,2}, Kevin Strazsburger³, Witold Wroblewski³

¹ C2RMF – MCC – France

² New AGLAE – CNRS: FR3506, MCC – France

³ Atelier Numérique – MCC – France

Le 15 avril 2019, Notre-Dame de Paris brûlait. Si les vitraux ont été épargnés par les flammes, ils ont toutefois été pollués par du plomb. Ces panneaux colorés emblématiques à l'origine de l'atmosphère chatoyante de l'édifice ont été déposés et certains feront l'objet d'analyses par faisceau d'ions sur New AGLAE dans les prochains mois. Une fois restaurés, ces précieux objets retourneront dans leur cathédrale d'origine, les rendant difficilement accessibles pour de nouvelles analyses physico-chimiques, *a fortiori* par faisceau d'ions.

Cet exemple pourrait être remplacé par une multitude d'objets issus de fouilles ou de collections de musées en France et à l'étranger ayant été soumis au faisceau investigateur de New AGLAE mais qui, pour des raisons de préciosité et/ou de fragilité, ne seront plus déplacés pour examen ou analyse avant longtemps. Mais il illustre parfaitement qu'intégrer et partager des données répondant aux normes et procédures de la science ouverte doit être considéré comme un objectif en soi – d'aucun dirait qu'il s'agit même d'une mission – afin d'assurer la transmission de ces jeux de données, de ce patrimoine numérique unique donc précieux, aux générations futures. C'est dans cette perspective que le projet Euphrosyne a vu le jour. Cette plateforme numérique, homonyme de la sœur d'Aglaé dans la mythologie, est conçue et développée sous l'égide de l'atelier numérique du ministère de la culture et a pour objectif, non seulement de rendre les données de New AGLAE FAIR (pour Facilement trouvables, Accessibles, Interopérables et Ré- utilisables), mais également d'optimiser chaque étape du parcours utilisateur à New AGLAE, depuis la préparation de l'expérience jusqu'à la publication scientifique en passant par la gestion et le traitement des données à distance. Cette communication dressera un état d'avancement du développement de la plateforme dont la première version a été mise en ligne en mars 2022 et une démonstration de l'outil permettra d'en appréhender les fonctionnalités ainsi que les limites actuelles.

Mots-Clés: New AGLAE, Analyse par faisceau d'ions, Euphrosyne, Gestion de données FAIR, Patrimoine numérique

Déterminer l'oiseau à partir de l'œuf, le point sur les recherches alsaciennes

Aurelie Guidez¹

¹ Archéologie Alsace et UMR 7044, Archimède – France

L'étude des ovoresses archéologiques, délaissée jusqu'à il y a peu en France, fait désormais l'objet de travaux novateurs. Pour la zone géographique ici prise en compte, la France de l'Est et ses marges, l'attention soutenue portée à la thématique des œufs a permis de constituer une base de données, dite « Base de données Archéologie Alsace – Ovothèque – Grand-Est, Bourgogne-Franche Comté, 4000 ans d'archéologie de l'œuf dans le quart Est de la France ». Cette base recense des sites archéologiques de contextes différents (contextes funéraires,

déchets domestiques, dépôts particuliers) et couvre un vaste champ chronologique, du Néolithique à la période contemporaine, mettant en avant l'intérêt de la détermination de ces vestiges pour mieux appréhender les sociétés passées. Un projet de recherche engagé depuis 2010 à l'Université de Strasbourg (UMR 7044 et Plateforme Imagerie CNRS UPS 3156 / Institute of Cellular and Integrative Neurosciences CNRS UPR 3212), en collaboration avec le Musée zoologique de Strasbourg et Archéologie Alsace, a permis d'initier de premières déterminations taxonomiques de ces échantillons. Fondé sur l'observation microscopique à balayage électronique (MEB) de la structure des coquilles la méthode prend en compte l'épaisseur et l'observation des parois internes, combinées au comptage du nombre moyen de pores et de mamilles par mm². Les clichés MEB réalisés à cette occasion sont appelés à constituer le socle d'un atlas de comparaison.

Mots-Clés: Archéozoologie, Ovestes, MEB, Détermination

Vers une base de données collaborative sur l'exploitation du minerai de fer dans les Pyrénées: les prolongements du programme FEDER FERMAYR

Laurent Costa¹, Gaspard Pagès¹

¹ ArScAn – CNRS, UMR7041 – France

La moitié orientale des Pyrénées a été intensivement investie par l'industrie métallurgique depuis l'Antiquité, tout au long du Moyen Âge et à la période moderne. Elle le doit à ses richesses naturelles (importants gisements de minerai de fer manganésifère, ressources forestières et force hydraulique) nécessaires à l'exécution des procédés métallurgiques. Elle participe, en outre, des réseaux d'échanges majeurs entre le bassin méditerranéen, la péninsule hispanique et la Gaule, le long de l'axe reliant l'Atlantique et l'Aquitaine à la Méditerranée. Socle et symbole de cette activité dominante, c'est au cœur du massif du Canigou, à l'extrémité orientale de la chaîne, que les dernières mines de fer ont fonctionné sur le territoire français: les mines de Batère, définitivement fermées en 1999.

Le programme FEDER FERMAYR (2019-2022) porté par le CNRS (Gaspard Pagès dir.) en partenariat avec l'université de Paris 8 (Catherine Verna dir.) avait pour but d'étudier sur la longue durée cette industrie du fer. Associé au le consortium Paris Time Machine (Laurent Costa dir.), il intègre une infrastructure WebSIG hébergée par l'IR* Huma-Num. Ce dispositif de webmapping transactionnel, respectant les standards de l'information géographique ouverte (OGC, INSPIRE, FAIR), permet à tous les acteurs du projet FEDER qui le souhaitent de disposer à la fois d'un catalogue de données spatio-temporelles et d'un outil pour explorer ce corpus de données commun à travers une interface en ligne.

Le développement de cette première étape du projet, notamment du référentiel géohistorique intégrant des données archéologiques, historiques et archéométriques dans les principes du FAIR data nous a permis de nourrir une réflexion sur la nature même de cet objet multiforme et sur

les modalités nécessaires à la structuration d'une base de données multisource et hétérogène. À l'issue de cette phase de travail émerge très clairement une double problématique autour des pratiques participatives et autour de l'ouverture aux acteurs territoriaux. Ces réflexions en cours sont intimement liées à la question de la poursuite de nos travaux au-delà du projet financé et de la sphère académique. Elles interrogent les logiques d'enrichissement de nos interfaces et s'inscrivent dans une réflexion sur l'ouverture des données questionnant à la fois les protocoles de mise à jour qui doivent garantir l'intégrité et la qualité de la donnée, mais aussi la typologie et le rôle des acteurs qui peuvent investir dans et sur ces données communes. Construire une pratique collaborative ne peut se développer sans ouvrir et partager une donnée commune. Ouvrir une donnée, pour l'offrir au téléchargement ou à l'enrichissement, c'est d'abord construire une interface partagée permettant l'accès à cette donnée, mais c'est aussi être en mesure de déterminer ses limites, c'est-à-dire sa qualité. Comment alors penser l'ensemble « données / interfaces / acteurs / qualité » autrement que selon les schèmes classiques de la cartographie et à la lumière de ces approches géohistoriques collaboratives ? Comment organiser le contrôle et conceptualiser puis implémenter des éléments qui définissent la qualité des données dans le cadre précis de ces pratiques de la géohistoire et les inscrire dans les territoires ? Nous présenterons dans cette communication un premier état de nos développements et les perspectives que nous entendons développer à l'avenir.

Mots-Clés : Archéologie, Prospection, Enregistrement, Site, Territoire, Acteurs locaux

A combined database of anatomical features and micrographs for selected Southern African woods and charcoals: a perspective on an identification key for anthracological study

Elysandre Puech^{1,2}, Arnaud Barbe¹, Marco Corneli^{1,3}, Isabelle Théry-Parisot¹

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR7264 – France

² University of the Witwatersrand – Afrique du Sud

³ Université Côte d'Azur, Inria, CNRS, LJAD, UMR7351, MAASAI team, Nice, France

The taxonomic identification of charcoal is an inherent step in any anthracological analysis, but it can be challenging in some parts of the world with rich woody species. A combination of several anatomical criteria, or features, is necessary to describe a charcoal specimen. Regions with rich woody species are characterised by a high level of similar anatomical characteristics that often limit wood identification at the family / tribe level, especially when archaeological charcoals are not well preserved, or very fragmented.

In the southern African interior plateau in central Limpopo, the richness of the native woody plants is estimated to include around 1000 ligneous species. The diverse climatic regimes and landforms that characterize the region also contribute to the high *inter* – and *intra*-specific variability in wood anatomy, intrinsically linked to the physiological conditions of tree growth. However, there is currently no comprehensive atlas or identification key for the study area that takes into account both the wide diversity of woody species and their

anatomical variability. Compilation in a single database of anatomical descriptions from wood of the study area is thus needed to allow rigorous taxonomic identification while facilitating the work of bibliographic research. These descriptions, which include more than hundred anatomical characters per specimen, are regularly updated and adjusted according to the International Association of Wood Anatomists (IAWA). They currently include specimen descriptions (with duplicates) from : field sampling (83), the InsideWood online database (ca. 1800), the CIRAD xylotheque in Montpellier (23), the Goethe University xylotheque (40), and various published articles (ca. 400).

1567 micrographs from field-sampled specimens were acquired according to the three anatomical sections of wood under the reflected light microscope as well as the scanning electron microscope (SEM). They were uploaded to the online database Anatom-IA, a collaborative and interoperable image bank dedicated to wood anatomy research and training. In addition, approximately 700 micrographs were acquired in the different xylotheques visited and approximately 1000 micrographs are currently extracted from the literature.

We present here the database of anatomical features in connection with the bank of micrographs, which are under construction. These data are intended to be published as a digital identification key for southern African woods. Throughout these databases, we will discuss the homogenisation of the taxonomical names, the standardisation of the descriptions, the representativity specimen used regarding the current woody vegetation of the area and the available tools which are dedicated to taxonomic classification.

Keywords: Wood anatomy, Bank images, Southern Africa, Anthracology, Identification key.

EAMENA, a massive and open data information system for endangered archaeology and cultural heritage

Bill Finlayson, Bijan Rouhani, Thomas Huet¹, Michael Fradley, Sayantani Neogi,
Melisa Holloway, Andrew Wilson

¹ University of Oxford – Royaume-Uni

Arches, created by the Getty Conservation Institute and World Monuments Fund (1), is a full stack open source information system at the base of many open-source platforms for digital documentation and management of archaeological and cultural heritage sites. Semantic web oriented, based on graphs, Arches natively integrates many of the existing standards (URL/UUID-based, Dublin Core for data description, WGS84 for map projection, CIDOC-CRM and SKOS models, SPARQL endpoint, IIIF for image interoperability, etc). The Endangered Archaeology in Middle East and North Africa (EAMENA) project (2), is one of the biggest Arches-based platforms. Established in 2015, EAMENA is the result of the collaboration of three different UK Universities (Oxford, Leicester, Durham). The project shares its database with the Maritime Endangered Archaeology (MarEA) project at the universities of Southampton and Ulster as well. So far, it has gathered over 348,000 records, including ca 180,000 heritage places in the Middle East and North Africa (MENA)

region, covering both maritime sites and terrestrial sites in about 20 countries. The platform counts more than 450 users, and over 160 archaeological, heritage and IT professionals from different parts of the MENA region have been trained through in-person workshops in the region and multimedia support (MOOC, YouTube channel, multilingual thesaurus, etc.). EAMENA has faced most of the full range of challenges of open science (open-source development, internationalisation, data management with scripting routines, data versioning and FAIR ability, long-term preservation...). Our paper will provide an overview and feedback on a large-scale cultural heritage and archaeological data management project in the context of opening research data.

1. <https://www.archesproject.org/>

2. <https://eamena.web.ox.ac.uk/>

Mots-Clés : Base de Données, Patrimoine culturel, Patrimoine archéologique, FAIR

[POSTER]

Vers l'élaboration et le partage d'un thésaurus et d'un schéma conceptuel de données de matériauthèque

Matthieu Lebon¹, Antoine Pasqualini²

¹ MNHN, CNRS, UMR7194, Université de Périgord Via Domitia – France

² Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR 7264 – France

Le réseau CAIRN (Compétences Archéométriques Interdisciplinaire – Réseau National) de la mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires (MITI) du CNRS a mis en place depuis 2016 un Groupe de Travail (GT) sur les « Bases de données et référentiels ». Plusieurs journées organisées sur ce thème ont mis en évidence, au sein du réseau, des difficultés pour la mise en place et le partage de bases de données. Ces difficultés sont renforcées par le caractère interdisciplinaire de nos études, nécessitant l'emprunt, l'adaptation et l'utilisation de caractères descriptifs relevant de différents champs disciplinaires, notamment celui des géosciences. C'est le cas dans le domaine des matériauthèques, objets d'études archéométriques, et de leurs systèmes descriptifs.

Nous avons ainsi initié un projet visant à la définition d'un thésaurus et entamés une réflexion sur la structuration des données propres aux matériauthèques qui aideront à lever les difficultés mentionnées et qui pourront être partagés entre les membres du réseau CAIRN. Ce travail collaboratif, associant une quinzaine de personnes impliquées dans la gestion et la mise en place de ce type d'outil, a débuté en 2018. L'objectif de cette présentation est d'exposer les motivations de cette action, d'informer la communauté des archéomètres de l'avancée des travaux, notamment en ce qui concerne les contraintes rencontrées et les solutions techniques choisies, et de recueillir les commentaires et propositions des participants à la session.

Mots-Clés : Thésaurus, Base de données, Matériauthèque, SKOS, Science ouverte, Structuration

Coordination : Manon Vuillien, Thibaut Devières

Depuis de nombreuses années, paléontologues, archéologues, historiens, chimistes, physiciens ou encore mathématiciens s'attachent à faire dialoguer leurs disciplines pour reconstituer l'origine, la nature, le parcours et les usages des objets et matériaux patrimoniaux. Bénéficiant des avancées analytiques récentes, nos connaissances sur les artefacts archéologiques se consolident permettant ainsi une meilleure sauvegarde et préservation de notre patrimoine (im)matériel.

En effet, le renouvellement des approches analytiques nécessitant le prélèvement de matière permet aujourd'hui de réduire et de minimiser la quantité nécessaire pour la prise de mesure. En outre, la multiplication des techniques d'analyses non destructives permet d'étudier une large palette de matériaux tout en préservant l'intégrité de l'objet archéologique.

Cette session a pour but de réunir des contributions scientifiques proposant de nouvelles approches, ou des approches renouvelées, sur les analyses peu ou non invasives réalisées sur les artefacts archéologiques, du site au laboratoire.

Mots-clés : Techniques analytiques non/peu destructives, Renouvellements méthodologiques, Mesure, Objet archéologique, Conservation

Inter-comparaison en spectrométrie p-XRF : approches méthodologiques pour l'étude des céramiques

Mai Abdelgawad, Nadia Cantin¹, François-Xavier Le Bourdonnec², Daniel Borschneck³, Perrine Chaurand³, Genevieve Dur

¹ Centre d'études alexandrines (CEAlex), CNRS, IFAO, UAR5134 – CNRS : USR3134 – France

² Université Bordeaux Montaigne, Archéosciences Bordeaux UMR6034 – CNRS – France

³ CEREGE – Aix Marseille Université : UM34, CNRS : UMR7330, IRD : UMR161, Collège de France, INRA : UMR1410 – France

Le développement d'équipements de fluorescence X portables (pXRF) pour l'analyse chimique des céramiques permet d'accéder à de plus grandes quantités de données même si leur sensibilité n'atteint pas celle des équipements utilisés traditionnellement (WDXRF, ICP-MS, NAA etc). Néanmoins leur emploi n'a cessé de progresser ces dernières années et a vu un nombre considérable de données prospérées parmi les publications.

Dans le cadre d'un projet IRN pXRF-CUN (pXRF Ceramic Users Network, 2021-2025), porté par le Centre d'Etudes Alexandrines (CEAlex), différents partenaires méditerranéens collaborent pour comparer et partager les données obtenues par leurs équipements pXRF sur des matériaux céramiques. Pour cela, une première sélection de 18 exemplaires de céramiques et de standards internationaux a été réalisée afin d'élaborer un kit d'intercalibration. Cette sélection recouvre l'étendue des données de compositions céramiques les plus courantes. Dans un premier temps, ce kit, préparé au Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE), se présente sous la forme de perles de verre obtenues par la fusion de poudres et d'un fondant. Dix kits ont ainsi été fabriqués et remis aux partenaires impliqués dans le projet. Les analyses par ICP-MS effectuées au CEREGE ont servi de mesures de référence. Un autre kit sous forme de poudres est venu s'ajouter au premier, afin de questionner également la préparation du support d'analyse et élargir le questionnement méthodologique.

Les résultats obtenus par plusieurs analyseurs seront présentés et comparés ici : deux analyseurs Niton XL3t Gold+ du laboratoire de caractérisation des matériaux du CEAlex, un Olympus Vanta (série C) de Archéosciences Bordeaux et un Bruker Tracer IV SD du CEREGE.

D'une manière générale, les mesures obtenues entre l'ICP-MS et les pXRF montrent de bons résultats sur les éléments majeurs et mineurs. Toutefois, des variabilités importantes entre équipements sont constatées. Elles seront présentées et discutées, en terme de sensibilité de détection, résolution, justesse et précision. La préparation des échantillons sera également abordée à travers les résultats des mêmes exemplaires analysés sous différentes formes (perles / poudres / tessons). A ce stade, les résultats concernant les tessons révèlent un écart de

mesure plus faible avec les mesures de référence. Néanmoins, cela demande à être confirmé en augmentant le nombre d'échantillons et en répliquant les mesures par d'autres équipes. Cette première étape d'intercomparaison de quatre équipements pXRF portables ouvre un débat intéressant sur la qualité des données obtenues, et la possibilité de leur exploitation par d'autres équipes. Les difficultés rencontrées sont davantage liées aux problématiques qui touchent le matériau céramique et ses spécificités. En revanche, les programmes de quantification fournis par les fabricants d'équipements s'avèrent de plus en plus performants. Enfin, la question d'intercalibration d'équipements dédiés à l'analyse du matériau céramique reste plus compliquée à mettre en œuvre.

Mots-Clés : pXRF, Céramique, Intercomparaison, Méthodologie

L'analyse par fluorescence des rayons X portable est-elle applicable à la céramique grossière préhistorique ? Recherches méthodologiques

Corina Gottardi¹, Delphine Schiess¹

¹ Universität Bern, Institut für Archäologische Wissenschaften – Suisse

Le projet FNS MOVE (Mobility, Vulnerability and Resilience of Middle European Neolithic Societies at the end of the 4th millennium BC) porte sur la période comprise entre 3400 et 2700 av. J.-C. Dans le cadre de ce projet, des analyses pXRF (analyses par fluorescence des rayons X portable) doivent être effectuées sur la céramique de Horgen et de Lüscherz. L'objectif de cette analyse chimique des récipients est d'examiner si l'on peut distinguer différents groupes de fabrication et si ceux-ci peuvent être déterminés comme étant présents localement ou non en fonction des matières premières utilisées. Comme peu d'analyses de céramiques contenant beaucoup de dégraissant ont été réalisées jusqu'à présent par pXRF, il s'agit d'abord d'examiner méthodologiquement si cela est possible. Pour ce faire, la céramique du site de Montilier, Platzbünden (Lac de Morat, CH) a été analysée. On a étudié l'importance de l'écart-type et du coefficient de variation lorsqu'un tesson très hétérogène est échantillonné plusieurs fois, quel est le nombre idéal de points de mesure et quelle devrait être la durée de la mesure. Le projet FNS précédent, MET (Mobilities, entanglements and transformations in neolithic societies of the Swiss Plateau (3900-3500 BC)), a déjà montré qu'il est possible de distinguer différents groupes de céramiques et d'identifier les matières premières qui ne sont pas présentes localement pour la céramique de l'époque précédente (1ère moitié du 4e s. av. J.-C.) en Suisse. S'il s'avère que les céramiques de Horgen et de Lüscherz, encore plus grossièrement dégraissées maigries, permettent d'obtenir des résultats aussi significatif et représentatif pour l'ensemble du récipient, l'analyse pXRF pourra définitivement faire son entrée dans l'étude de la céramique néolithique grossière, à condition de choisir la bonne procédure méthodologique. Outre la détermination du temps de mesure idéal et du nombre de points de mesure, il s'agit également de calibrer correctement l'appareil, qui doit être adapté au matériau à analyser. À Montilier, Platzbünden, mais aussi dans de

nombreux autres sites, le problème était qu'une grande partie de la céramique avait déjà été consolidée avec de la colle lors de la conservation-restauration. Mais comme il existe aussi des pièces non traitées, ce site permet de montrer l'importance des différences de résultats de mesure entre la céramique traitée et non traitée et s'il est judicieux d'échantillonner la céramique traitée. Dans ce cadre, il s'agit également de montrer si la même durée de mesure et le même nombre de points de mesure peuvent être utilisés pour la céramique non traitée et la céramique traitée. Comme il n'existe pas encore de données XRF de laboratoire pour le projet MOVE, il s'agit de montrer sur le site de l'âge du Fer de Bâle, Gasfabrik (CH), s'il est possible de comparer les résultats du pXRF avec les données WDXRF de laboratoire. Sur ce site, des analyses WDXRF ont déjà été effectuées dans les années 1980, et les mêmes récipients ont pu être à nouveau échantillonnés par pXRF en 2019 dans le cadre d'un travail de master. Cela a permis de constater l'ampleur des différences entre ces deux méthodes.

Mots-Clés : pXRF, Horgen, Lüscherz, 3400 BC-2700 BC, Méthodologie, Céramique.

Les analyses pXRF (fluorescence X portable) : premiers résultats et comparaisons de séries céramiques préhistoriques (3400-2700 av. J.-C.)

Delphine Schiess¹

¹ Universität Bern, Institut für Archäologische Wissenschaften – Suisse

Dans le cadre du projet de recherche du Fonds National Suisse « MOVE » (Mobility, Vulnerability and Resilience of Middle European Neolithic Societies at the end of the 4th millenium BC), les thématiques principalement abordées sont les interruptions de peuplement, la continuité culturelle et les transformations, ainsi que la mobilité spatiale en tant que capacité de résilience des communautés lacustres dans le cadre circum alpin à la fin du 4e millénaire av. J.-C. Deux sites situés dans la région des Trois-Lacs en Suisse occidentale sont d'une importance majeure, "Sutz-Lattrigen" et "Montilier, Platzbünden". Ils englobent plusieurs établissements datés par dendrochronologie des unités typo-chronologiques dites "Horgen" et "Lüscherz", datées entre 3400 et 2700 av. J.-C. Les questions de continuité culturelle, de transformation et de mobilité spatiale mentionnées ci-dessus sont abordées via l'étude du mobilier archéologique, en particulier de la céramique, comprenant des analyses chimiques des matières premières.

Ces analyses sont conduites au moyen d'un appareil portable à fluorescence X et ont plusieurs avantages : l'appareil peut être installé et utilisé en toute sécurité n'importe où grâce à sa taille réduite et une boîte en plomb protégeant du rayonnement ; la méthode est relativement simple et rapide ; les coûts sont limités ; et surtout, elles sont très peu invasives. Grâce à cette méthode, plusieurs corpus de céramiques préhistoriques ont été analysés et les résultats préliminaires du regroupement des céramiques en fonction de leur composition chimique peuvent être présentés. Ces derniers découlent du traitement des données de mesures brutes, via des méthodes statistiques développées au moyen d'un programme informatique.

Le but d'une telle démarche est d'assurer la première estimation macroscopique des dégraissants utilisés dans la production des poteries, de définir des groupes de matériaux plus précis et ainsi de les comparer non seulement au sein d'une même série, mais aussi entre plusieurs sites archéologiques afin de déceler les similitudes et les différences des matières premières. De même, en croisant les données chimiques et typologiques, nous pouvons en outre reconstituer les pratiques de fabrication des céramiques locales. L'analyse donne également des indications sur les récipients fabriqués sur place en utilisant une autre technique ou si certains récipients n'ont pas été fabriqués localement et ont été apportés d'une autre région, où les styles et les techniques de production sont différents. Pour étayer cette présentation, les corpus céramiques des sites Horgen et Lüscherz de Sutz-Lattrigen (au bord du lac de Biemme, Suisse), de Montilier Platzbünden (au bord du lac de Morat, Suisse) et des sites alsaciens de Morschwiller-le-Bas et d'Ensisheim seront présentés et comparés.

Pour en savoir plus : <https://data.snf.ch/grants/grant/197383>

Mots-Clés : Suisse occidentale, Alsace, pXRF, Céramiques néolithiques, Horgen, Lüscherz

Identification rapide et automatique des agrégats et du liant pour la caractérisation des mortiers de chaux : traitement des données spectrales d'imagerie LIBS par réseau de neurones artificiels

Clothilde Comby-Zerbino¹, Nicolas Herreyre^{1,2}, Adèle Cormier¹, Sylvain Hermelin¹, Christine Oberlin², Anne Schmitt², Valérie Thirion-Merle², Aldo Borlenghi², Daniel Pringent³, Catherine Coquide⁴, Antoine Valois⁴, Christophe Dujardin¹, Philippe Dugourd¹, Ludovic Duponchel⁵, Viencent Motto-Ros¹

¹ ILM – Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, UMR5306 – France

² ArAr – Université Lumière – Lyon 2, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, UMR5138 – France

³ Service archéologique départemental de Maine-et-Loire – UMR 5594 ARTetHIS – France

⁴ INRAP – UMR 5138 – France

⁵ LASIR – CNRS : UMR8516, Université de Lille – Sciences et Technologies – France

Le mortier de chaux est un matériau de construction largement employé de la période antique jusqu'à la Révolution industrielle. Il s'agit d'un mélange complexe de chaux et d'agrégats, dont certains composants sont de même nature chimique, notamment les carbonates de calcium qui nécessitent d'être différenciés au préalable d'une datation ¹⁴C. La caractérisation des mortiers de chaux par imagerie micro-LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) est en développement et a déjà montré son potentiel pour la différenciation du liant et des agrégats calcaires et siliceux (Richiero, *et al.*, 2022). Cependant, l'hétérogénéité du matériau et la taille toujours plus grande des ensembles de données (parfois > 1 million de spectres) rendent le traitement des données spectrales long et difficile. Des méthodes statistiques avancées sont devenues nécessaires pour les traiter. La plupart d'entre elles nécessitent encore une forte expertise et ne sont pas adaptées à un traitement rapide des données ou à une analyse à haut débit. Pour résoudre ces problèmes, nous avons développé un réseau de neurones

artificiels (ANN) pour le traitement des données spectrales d'imagerie LIBS, afin d'identifier les différentes phases minérales dans le mortier de chaux. Nous avons entraîné l'ANN pour la détection automatique des différentes phases dans ces échantillons complexes grâce à plus de 1300 spectres LIBS de référence, obtenus à partir de divers matériaux présélectionnés qui peuvent être présents dans les mortiers.

Les paramètres de l'ANN (prétraitement des données, nombre de neurones et d'itérations) ont été optimisés pour assurer la meilleure reconnaissance des composants du mortier, tout en évitant le surentraînement. Les résultats montrent une identification rapide et précise de chaque composant. L'utilisation d'un ANN semble être un moyen efficace pour fournir une caractérisation LIBS rapide et automatisée du mortier. Un concept qui pourrait plus tard être généralisé à d'autres types de matériaux.

Richiero, S., Sandoval, C., Oberlin, C., Schmitt, A., Lefevre, J.-C., Bensalah-Ledoux, A., Prigent, D., Coquidé, C., Valois, A., Giletti, F., Pelascini, F., Duponchel, L., Dugourd, P., Comby-Zerbino, C. and Motto-Ros, V. (2022) 'Archaeological Mortar Characterization Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) Imaging Microscopy', *Applied Spectroscopy*, February 2022, p. 1-10. doi:10.1177/00037028211071141.

Mots-Clés: LIBS, Réseau de neurones artificiels, ANN, Intelligence artificielle, Mortier de chaux

Approches géophysiques multi-méthodes pour la connaissance des sanctuaires gallo-romains dans l'ouest de la Gaule

Gabriel Caraire¹, Bastien Gouhier

¹ Analyse Géophysique Conseil – France

La géophysique est aujourd'hui largement employée pour apporter des solutions non-invasives et non-intrusives pour l'étude des sites archéologiques. Plusieurs méthodes peuvent être mises en œuvre en fonction de la nature et de la problématique du site. Dans cette communication, nous présenterons une approche combinant la prospection magnétique et géoradar pour l'étude des sites culturels gallo-romains. L'utilisation systématique de ces deux méthodes apporte des données essentielles pour la connaissance des sites. La prospection radar permet une cartographie fine de l'ensemble des éléments bâtis (murs, sols, couches de démolition), elle permet également une approche stratigraphique des structures archéologiques. La prospection magnétique apporte quant à elle des informations sur les structures fossoyées, les structures de combustion et les dépôts métalliques. Cette complémentarité de méthodes permet de répondre aux principaux questionnements des archéologues dans ce type de contexte : l'organisation des éléments bâtis, leur phasage, la présence ou non de structures fossoyées, la contemporanéité des structures gallo-romaines mais également, la présence de dépôts votifs. Pour cela, nous nous appuierons en particuliers sur trois sites qui ont fait l'objet de prospections en double méthode et dont les résultats sont significatifs ; le sanctuaire de Ladapeyre dans la Creuse (dir. Florian Baret), le sanctuaire de Cherré à Aubigné-Racan en

Sarthe (dir. Stanislas Bossard) et le sanctuaire d'Ardin dans les Deux-Sèvres (dir. Romain Storaï). Ces différents sanctuaires et leur contexte recoupent parfaitement les connaissances actuelles de ce type d'édifices.

À travers ce comparatif, nous proposons un regard critique des prospections en prenant en considération les caractéristiques intrinsèques des sites (nature du sol, état de conservation des vestiges, état de la recherche). Cette approche méthodologique non invasive répond à un large éventail de problématiques et permet de dresser un nouvel état des lieux de la géophysique pour l'archéologie.

Mots-Clés: Multiméthodes, Sanctuaires, Fanum, Géophysique.

A multispectral imaging approach integrated into the study of an ancient Egyptian decorated wooden artifacts

Ahmed Abdrabou¹

¹ Grand Egyptian museum – Égypte

This work explores for the use of multispectral imaging (MSI) techniques in the investigation of polychrome layers and decoration materials (such as colored glass and semi-precious stones) applied to wooden artifacts from ancient Egypt. The aim of this work is to demonstrate how this non-invasive, relatively inexpensive, and portable methodology can be used to map the photoluminescence and reflective characteristics of polychrome layers and decoration materials under different wavelengths of light, as well as to provide qualitative and holistic insights into the chemical nature of the materials that compose them, as well as to evaluate the method's advantages and limitations when integrated into an analytical protocol.

Standardised acquisition and post-processing methods were applied to produce visible-reflected (VIS), ultraviolet-induced visible luminescence (UUVL), infrared-reflected (IRR), infrared-reflected false colour (IRRFC), ultraviolet-reflected (UVR) and ultraviolet-reflected false colour (UVRFC) images. Additionally, two recently novel MSI methods (VIVL and multiband imaging) have been explored, which are believed to be of particular value for the study of Polychrome layers.

The application of MSI imaging to a variety of decorated wooden artefacts from ancient Egypt showed that it could help to reveal residual traces of patterns, characteristic pigments such as Egyptian blue, orpiment and indigo, and reconstruct original patterns and past restoration interventions. Furthermore, MSI proved to be a valuable tool in developing more targeted and effective sampling strategies, as well as in facilitating object comparisons. Aside from exploring the use of MSI techniques for the investigation of decorated layers and aiding in the interpretation of the images produced, this work illustrates how these techniques can be integrated into a multi-analytical protocol in combination with single spot analysis such as XRF and vis-RS to provide a better understanding of decoration materials such as colored glass applied to wooden artifacts from ancient Egypt.

Keywords: Multispectral imaging, Wooden artifacts, Decoration materials, VIVL, Multiband imaging, Indigo, Cobalt blue.

Utilisation d'une approche métabolomique par GC-MS pour la recherche de chimiomarqueurs de résines naturelles issues d'espèces méditerranéennes de Pinacées et de Cupressacées utilisées dans le domaine du patrimoine

Elodie Mezzatesta¹, Mohamad Reza Khodadadi¹, Océane Pollet¹, Céline Joliot¹, Carole Mathe De Souza¹, Gérald Culioli¹

¹ IMBE – UMR CNRS 7263, IRD 237, Aix Marseille Université, Avignon Université – France

Les matériaux résineux archéologiques constituent des vestiges du passé susceptibles de renfermer des chimiomarqueurs organiques encore bien conservés. Dans certains cas, ces marqueurs chimiques peuvent permettre de retrouver l'origine botanique des résines naturelles utilisées à des fins utilitaires ou rituelles et plus largement de donner des informations sur les pratiques ancestrales diverses et complexes liées à de telles matières premières.

Les travaux de recherche présentés ici visent à évaluer la pertinence de l'utilisation de la métabolomique pour l'étude de telles matrices naturelles via une approche originale menée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Plus précisément, la finalité première est d'identifier et de caractériser des marqueurs chimiques permettant de distinguer des résines diterpéniques de Pinacées, d'une part, de celles produites par des Cupressacées, d'autre part. Le but ultime étant de faciliter l'identification et la discrimination de ces deux familles d'espèces productrices de résines naturelles au sein d'échantillons patrimoniaux ou archéologiques.

Dans ce contexte, une analyse métabolomique par GC-MS a été menée à partir d'échantillons de résines naturelles issues d'espèces certifiées botaniquement (4 espèces de la famille des Pinacées et 4 espèces de Cupressacées) ainsi que de matrices résineuses commerciales (colophane et sandaraque). Suite à l'obtention des profils chromatographiques de l'ensemble de ces résines, plus de 200 métabolites ont été détectés. Des analyses statistiques multivariées supervisées (analyse en composantes principales, ACP) et non-supervisées (analyse discriminante par les moindres carrés partiels, PLS-DA) ont été mises en œuvre et ont permis de discriminer chimiquement les deux types de résines naturelles et de mettre en évidence des chimiomarqueurs propres à chacune de ces deux familles. La pertinence de cette méthode a été validée par le fait que, parmi ces molécules, des chimiomarqueurs bien connus, tels que par exemple les acides abiétique et palustrique pour les résines de Pinacées ou le totarol et le ferruginol pour les résines de Cupressacées, ont été identifiés. En outre, plusieurs autres chimiomarqueurs non répertoriés en tant que tels dans la littérature sont en cours d'isolement et de caractérisation structurale par une approche phytochimique menée sur les échantillons de résines commerciales.

Enfin, les chimiomarqueurs précédemment mis en évidence dans le cadre de ces travaux ont été recherchés au sein d'un panel d'échantillons archéologiques et certains, principalement caractérisés de résines de Pinacées, ont été détectés.

Mots-Clés: Métabolomique, GC/MS, Résines végétales naturelles, Diterpènes, Archéologie moléculaire.

Non-destructive proteomics of archaeological and palaeontological bones based on tape strip sampling

Fabrice Bray¹, Stéphanie Flament¹, Oueslati Tarek², Patrick Auguste³, Claire Delhon⁴, Christian Rolando¹

¹ MSAP – Université de Lille, CNRS, USR3290 – France

² HALMA – Université de Lille, CNRS, MCC, UMR8164 – France

³ Evo-Eco-Paleo – Université de Lille, CNRS, UMR8198 – France

⁴ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR7264 – France

Since many years, studies of ancient biomolecules have changed our understanding of the evolution. The old molecules like proteins offer a window on the biological past. Proteomics has become attractive for fossil analysis and has become an alternative to DNA analysis which is limited by the amplification of DNA present in ancient samples and its contamination. Our best proteomics optimized protocol requires 1 mg of bone, which is an order of magnitude less than described in the literature. Nevertheless, to avoid damaging paleontological bones this quantity must be decreased. We describe here a non-destructive proteomic workflow based on tape strips sampling of archaeological and paleontological bones for identifying extinct species.

We analyzed 25 bones from a Neolithic until Pleistocene. D-Squame tape strips were applied on bones for 10 sec with a gentle squeeze. Five consecutive tapes strips were used on each archaeological bone. Tape strips were cut into four pieces and placed into an Eppendorf tube. The thin bone powder on each tape piece was washed out and analysed using our optimized protocol for archaeological bones. After washing the bone powder was digested with eFASP without acidic treatment by trypsin. Then, peptides were analysed using nanoESI nanoLC- MS/MS Q-Exactive plus. Raw data were analysed with Proteome Discoverer and PEAKS X software.

Archaeological and paleontological bones are usually sampled by drilling a small hole with a miniaturized milling machine to reach the inner part of the bone. Tape strips have been shown to be very efficient for sampling skin on human allowing non-invasive proteomics. We report here the use of tape strips for sampling bones invisibly. Tape strips application with a gentle squeeze removed a thin layer of bone powder stuck to the adhesive strip. The stuck bone powder is collected by rinsing the tape strip with lysis buffer. Most proteomics protocols for archaeological and paleontological bones perform acidic demineralization of bones before tryptic digestion, inducing artifactual posttranslational modifications, whereas

digestion with trypsin on tape-strip-sampled bone powder is very efficient without this acidic treatment. We tested 1, 2 or 5 consecutive tape strip allocations on modern bones. The number of identified peptides including specific peptides increased with the number of patches. For modern bones more than

185 peptides were identified giving a sequence coverage on COL1A1 and COL1A2 higher than 80%. Using 5 patches proteomics analysis on archaeological bones afforded 65% coverage and 125 peptides. The taxa of the 25 archaeological and paleontological bones were identified. The percentage of deamidation increases significantly ($p > 0.05$) with the age of the samples. We detected a variety of *in vivo* and diagenetic PTMs (post translational modifications) in these samples such as methylations, lysine oxidation or amino acid substitution. These amino acids variations may provide phylogenetic information about the ancestor of the current species. Tape strip sampling of archeological bone affords all the proteomics information obtained with classical methods including amino acid substitutions without degrading the bone.

Keywords: Paleoproteomics, Tape strips, Post translational modifications, Amino acid substitution, Mass spectrometry

Analyses protéomiques des archives de l'abbaye de Morimond (XII^e – XV^e s.) : apport de la technique de l'eZooMS sur l'étude du parchemin

Auréli Artizzu¹, Annelise Binois-Roman¹, Christophe Petit¹, Benoit Rouzeau², Matthew Collins^{3,4}

¹ Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – CNRS, UMR 7041 ArScAn – France

² TRAME – Université de Picardie Jules Verne, UR4284 – France

³ McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge – Royaume-Uni

⁴ Section of GeoBiology, Globe Institute, University of Copenhagen – Danemark

Le parchemin, support majoritaire de l'écrit à travers tout le Moyen Âge, n'a jusqu'à récemment que rarement fait l'objet d'études portant sur sa matérialité en tant que produit d'origine animale. Pourtant, les millions de folios de parchemin conservés dans les bibliothèques et les fonds d'archives sont tout autant des peaux animales, conservées dans des conditions optimales et souvent datées à l'année près. La nouvelle discipline de la biocodologie s'intéresse à ce matériau en tant qu'archive biologique. Les documents étudiés étant bien souvent précieux, il s'avère indispensable de développer des approches analytiques non- ou peu destructrices. C'est à cela que s'applique le projet ERC Beast to Craft, sous l'égide duquel s'inscrit le travail de recherche présenté ici.

Notre étude porte sur l'identification par typage de collagène des différentes espèces animales employées dans les documents d'archives d'une abbaye cistercienne, et sur l'analyse des facteurs présidant à leur choix entre les XII^e et XV^e siècles. L'abbaye de Morimond, quatrième fille de Cîteaux, fut l'une des plus grandes figures du rayonnement du monde cistercien aux XII^e-XIII^e siècles. Détruite à la Révolution française, elle laisse néanmoins un

fonds d'archives exceptionnellement conservé, dans lequel 209 documents sur parchemin ont été échantillonnés par prélèvement non-invasif à l'aide de gommages en PVC.

L'analyse par eZooMS (electrostatic Zooarchaeology by Mass Spectrometry; Fiddyment *et al.* 2015) de ces manuscrits souligne une transition brutale d'une exploitation très majoritairement de peau de veau vers celle quasi-exclusive de peau de mouton au tournant du XII^e siècle. L'analyse statistique multifactorielle (ACM) de 10 variables (date, origine géographique, forme et type de document, rang de l'auteur...) pouvant expliquer cette modification, met en évidence une forte corrélation entre l'espèce exploitée et la chronologie. Elle illustre une tendance qui ne semble ni limitée à l'abbaye, ni même au monde cistercien, mais elle semble plus générale.

Notre présentation met en lumière ainsi l'utilité d'une approche non-invasive pour comprendre les choix dans l'utilisation du parchemin tout en respectant les normes de conservation et de préservation.

Fiddyment, S. *et al.* (2015). Animal origin of 13th-century uterine vellum revealed using non-invasive peptide fingerprinting. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(49), 15066 – 15071.

Mots-Clés : Parchemin, Archéozoologie, Moyen, Âge, Protéines, eZooMS

Évaluation de propriétés physico-mécaniques d'os d'ongulés par interférométrie ultrasonore

Philippe Lasaygues¹, Bilal Surugue¹, Pierre Magniez², Laurent Sabatier¹, Cécile Baron³, Jean-Philip Brugal²

¹ LMA – Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, UMR 7031 – France

² LAMPEA – Aix Marseille Université, CNRS, MCC, UMR 7269 – France

³ IRPHE – Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, UMR 7342 – France

Les gisements quaternaires livrent des assemblages osseux hétérogènes en termes d'espèces, de nombre d'individus (avec des âges ontogéniques divers), de nature des restes squelettiques, et de milieux de dépôt (grotte vs plein-air humide, tempéré ou sec). Leur étude est essentielle pour reconnaître certains comportements de subsistance (fracturation osseuse) ou pour évaluer l'impact des conditions d'enfouissement. La conservation de matériel osseux soumis à des actions destructrices (sédimentaires, climatiques, chimiques ou mécaniques de la part de carnivores ou d'humains) constitue une étape majeure des analyses archéo-zoologiques. La probabilité qu'un os se conserve suite à de nombreux processus taphonomiques est en particulier liée à leur densité. Quelques études ont été menées sur ces questions de 'densité' mais elles restent cependant limitées et des approches complémentaires pour déterminer d'autres propriétés physico-mécaniques sont aujourd'hui envisagées. Parmi les techniques de l'ingénieur, celles basées sur la propagation d'ondes ultrasonores sont particulièrement adaptées à l'étude *in vitro* des os longs, matériaux élastiques du fait de leur composition chimique organique et inorganique. S'il existe une abondante littérature sur le sujet de l'interaction ultrasons/os en général (os humains ou animaux, adultes ou juvéniles), la quasi-totalité des

études porte sur des os de faibles délais post-mortem (DPM (1) < 2 ans, âge de l'individu < 80 ans) ou sur des os de boucherie (os frais avec tissus mous). Notre consortium (2) a établi un protocole expérimental d'interférométrie ultrasonore pour identifier des propriétés mécaniques de tissus osseux comme les vitesses (compression, cisaillement) des ondes et les constantes élastiques. Dans l'exposé, nous discuterons de la masse volumique, de l'élasticité (plexiforme vs haversienne), et de l'anisotropie (orthotropie vs isotropie transverse) de 2 tibias de cerf élaphe (*Cervus elaphus*) d'origine différente, l'un sub-adulte à DPM bas et l'autre plus jeune à DPM élevé.

1. Intervalle de temps écoulé depuis le décès d'un individu.
2. Travaux soutenus par l'Institut Arkaia (Actions Interdisciplinaires), Aix-Marseille Université.

Mots-Clés: Ultrasons, Élasticité, Os, Zooarchéologie

Développement d'une méthodologie pour l'étude de la stratigraphie des dépôts présents sur les vitraux de Notre-Dame

Astrid Tazzioli^{1,2,3}, Brice Moignard^{1,2}, Laurent Pichon^{1,2}, Quentin Lemasson^{1,2}, Alexandre Girard⁴, Claudine Loisel⁵, Claire Pacheco^{1,2}

¹ New AGLAE – CNRS: FR3506, Ministère de la culture – France

² C2RMF – MCC – France

³ IRCP – Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris – Chimie ParisTech-PSL – France

⁴ EDF RD PRISME – EDF Recherche et Développement – France

⁵ IRMH – MCC, CNRS, USR3224 – France

Suite à l'incendie de Notre-Dame, de multiples opérations de restauration sont menées en vue de sa réouverture. Elles ont montré la présence de dépôts sur les vitraux des baies hautes de la cathédrale. La caractérisation de ces dépôts est nécessaire à la fois pour faciliter les opérations de nettoyage mais aussi pour en apprendre plus sur les conditions environnementales dans lesquelles la cathédrale a évolué depuis leur mise en place à la fin du XIX^e siècle. Une des problématiques est alors de distinguer la proportion du plomb provenant de l'incendie et de celle des décors peints. Ces dépôts présentent une stratigraphie complexe, qu'il convient de déterminer de façon non invasive et non destructive.

Dans le cadre d'un partenariat entre le Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, ainsi que le département Prisme d'EDF R&D, l'objectif de cette thèse est de concevoir un outil qui permet de faire de l'imagerie chimique en profondeur sur des objets patrimoniaux.

Depuis l'installation de l'Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire, les techniques d'analyse par faisceaux d'ions utilisées dans le laboratoire ont évolué conjointement aux besoins des chercheurs. La mise en place de l'Equipex NewAGLAE a permis l'automatisation de la ligne de faisceau, la conception et le développement d'un multi-détecteur PIXE ainsi que le développement de l'imagerie chimique systématique. Ces mesures ont l'avantage d'être à la fois non invasives et non destructives. Parmi elles, la technique RBS (Rutherford

Backscattering Spectroscopy) permet de faire de l'analyse stratigraphique. Néanmoins son traitement n'est pas trivial car un même spectre comporte des informations corrélées et multiples concernant la composition, le nombre et l'épaisseur de ces couches. La technique PIXE (Particle Induced X-ray Emission) permet d'obtenir une composition plus globale de l'échantillon. Combiner les résultats de ces deux techniques permettrait d'avoir une base pour le traitement des spectres RBS.

En outre, les matériaux étudiés sont souvent inhomogènes, il est donc nécessaire de faire des cartographies de ces échantillons.

Contrairement au traitement des cartographies PIXE qui a déjà été automatisé à New AGLAE grâce au développement d'un logiciel de visualisation, de manipulation et de quantification de ces cartographies (Pichon et al, 2015), le traitement de l'imagerie RBS a peu été étudié pour l'instant. L'utilisation du Deep Learning permettrait de l'automatiser, le rendre plus efficace et moins chronophage. De plus, la mise en place d'un nouveau set-up avec l'ajout d'un autre détecteur RBS améliorerait la précision des profils de concentration. Ainsi, la stratigraphie d'objets du patrimoine pourrait être déterminée par analyse par faisceaux d'ions.

La communication présentera la méthodologie et l'état d'avancement de la conception de ce nouvel outil d'imagerie PIXE-RBS dont l'ambition est de pouvoir apporter des informations sur tous types d'objets aux stratigraphies fines et complexes qui ne peuvent être étudiés que de façon non destructive (décors et couches d'altérations des verres, glaçures, céramiques, métaux, objets archéologiques) pour en étudier les techniques de fabrication ou l'état de conservation des différentes couches. Seront également présentés les premiers résultats obtenus sur des jeux de données acquis sur des éprouvettes.

Mots-Clés: NewAGLAE, RBS, Imagerie, Stratigraphie, Notre Dame

Imagerie chimique à la ligne PUMA, synchrotron SOLEIL, d'échantillons de pigment rouge provenant l'art pariétal polychrome de plusieurs grottes paléolithiques du nord de l'Espagne

José Tapia Reguera¹, Myriam Eveno², Katharina Muller³, Sebastian Schoeder³,
Pablo Arias⁴, Ina Reiche^{1,5}

¹ Physicochimie des Matériaux Témoins de l'Histoire – Chimie ParisTech, C2RMF, IRCP – France

² C2RMF – MCC – France

³ IPANEMA – MNHN, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CNRS: UAR3461 /
USR3461, MCC – France

⁴ Universidad de Cantabria – Espagne

⁵ New AGLAE – CNRS/MCC/ENSCP – CNRS, FR3506 – France

Les peintures paléolithiques sont généralement réalisées avec des pigments noirs, rouges ou jaunes. L'étude de la matière colorante noire paléolithique a été bien établie, contrairement aux études sur la matière colorante rouge. L'objectif de cette étude est donc d'élargir nos

connaissances sur cette dernière. L'étude poursuit deux objectifs principaux. D'une part, on cherche améliorer la caractérisation des pigments Paléolithiques rouges par rapport aux analyses *in situ* dans une grotte qui pourraient être entreprises avec un instrument portable. De l'autre part, on souhaite trouver des critères de différenciation entre la composition des parois et des pigments qui pourraient nous aider à améliorer les analyses *in situ*.

Les matières colorantes paléolithiques rouges provenant des principales grottes paléolithiques du nord de l'Espagne dont Altamira, La Garma et Errotalde ont été analysées par imagerie en micro-fluorescence et absorption X au seuil K du Mn et du Fe à la ligne PUMA du synchrotron SOLEIL. Ces méthodes sensibles et non destructives nous permettent d'étudier des éléments à très faible concentration dans l'échantillon d'une manière qui n'est pas possible en laboratoire ou *in situ* à ce jour (à savoir MEB-EDX et FX portable). Cette étude donne des nouvelles indications sur la composition chimique, l'état d'oxydation et l'environnement de coordination d'éléments chimiques caractéristiques, la différenciation chimique entre les couches de peinture et la confirmation de la présence de phases distinctes portant des oxydes de Fe dans les couches de peinture.

Les éléments traces caractéristiques identifiés dans la matière colorante rouge nous permettent de comparer les figures entre elles. De plus, ces éléments traces caractéristiques de la matière colorante sont de nouveaux critères à rechercher lors de mesures *in situ* avec un équipement portable de fluorescence X. Ces nouveaux critères de différenciation de la matière colorante aident à distinguer les éléments chimiques caractéristiques confinés dans le mur et dans les peintures lors de futures mesures *in situ*. Enfin, l'étude des peintures rouges provenant de différentes grottes paléolithiques permet de les comparer entre elles et de donner une image plus large des matières colorantes utilisées à une échelle plus régionale au Paléolithique dans le nord de l'Espagne.

Références :

- Gay, M. et al 2015, J. Anal. At. Spectrom., 767-776.
- Chalmin, et al 2006a, Appl. Phys. A 83, 213-218.
- Chalmin, et al. 2006b. Discovery of Unusual Minerals in Paleolithic Black Pigments from Lascaux (France) and Ekain (Spain). In: HEDMAN, P. & PIANETTA, P., eds. X-ray Absorption Fine Structure XAFS 13, Stanford (US). American Institute of Physics, 220-222.
- Chalmin, E. and Reiche, I. 2013. Synchrotron X-ray microanalysis and imaging of synthetic biological calcium carbonate in comparison to archaeological samples coming from the large cave of Arcy-sur-Cure (28000-24500 BP, Yonne, France), Microscopy and Microanalysis 19, 1-1.
- Reiche, I., Chalmin, E. 2014. Synchrotron methods: Color in paints and minerals, chapter 14.15 in: Treatise on Geochemistry, vol. 14 " Archaeology and Anthropology ", Elsevier, 2nd Ed., ed. Thure Cerling, 210-239

Mots-Clés : MicroXRF, MicroXANES, μ XRF, Analyse élémentaire, Spéciation chimique, Art pariétal paléolithique, Oxydes de fer.

Nouvelles approches analytiques par diffraction des rayons X sous rayonnement synchrotron pour l'étude des techniques d'élaboration de l'armement

Emilie Bérard¹, Philippe Dillmann², Solenn Reguer¹, Eddy Foy², Cristian Mocuta¹, Enrique Vega², Caroline Toffolon-Masclét³, Thomas Guilbert³, Sebastian Schoeder¹, Ivan Guilloit⁴

¹ Synchrotron SOLEIL – CNRS, CEA – France

² IRAMAT – Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération – UMR7065 – France

³ Service des Recherches Métallurgiques Appliquées (SRMA) – CEA – France

⁴ (ICMPE) – CNRS : UMR7182, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (UPEC) – France

À la fin du Moyen Âge les armures étaient des produits élaborés par des artisans spécialisés et échangés sur de longues distances. L'étude de la nature et l'origine des alliages utilisés pour leur fabrication constitue ainsi un excellent observatoire pour documenter la circulation des techniques, des marchandises et des savoirs anciens. Si les études métallographiques en laboratoire sont très efficaces pour identifier la nature des matériaux employés, elles demeurent rarement envisageables dans le cas de pièces d'armures, du fait de leur caractère invasif. Par ailleurs, cette approche permet uniquement d'accéder à une information localisée, limitée à la taille du prélèvement. Le développement de méthodes d'analyses moins invasives s'avère par conséquent crucial, pour estimer l'hétérogénéité des alliages à l'échelle des pièces complètes. La diffraction des rayons X (DRX) est bien adaptée pour identifier les différentes phases cristallines, caractéristiques des alliages ferreux anciens. Néanmoins sa mise en œuvre soulève d'importantes difficultés dans le cas des armures, en raison de la forme complexe des objets. Cette étude propose un nouveau protocole analytique pour la réalisation de mesures par DRX sous rayonnement synchrotron, sur des pièces d'armures de musée complètes, datées du XVI^e siècle, issues d'atelier de production nurembergeois. Outre l'identification des principales phases cristallographiques contenues dans les alliages ferreux (cémentite, ferrite...), les résultats mettent en évidence l'utilisation de traitements thermiques spécifiques, documentant ainsi le choix des alliages, les techniques de fabrication et les savoirs mis en œuvre dans les ateliers.

Mots-Clés: Armement, DRX, Rayonnement synchrotron, Alliages ferreux, Histoire des techniques

Reconnaissance et quantification du traitement thermique du silex : les analyses de surface comme nouvel outil analytique

Julie Bachelier¹, Patrick Schmidt²

¹ TRACES – CNRS, Université de Toulouse Jean-Jaurès, UMR5608 – France

² Institut für Ur- und Frühgeschichte und Archäologie des Mittelalters Eberhard-Karls-Universität Tübingen – Allemagne

En Europe, la chauffe intentionnelle du silex apparaît pour la première fois dans le Paléolithique récent, et plus précisément durant le Solutréen (circa 25,5-23,5/23 ka cal BP). La reconnaissance du traitement thermique au sein d'assemblages lithiques est basée sur des critères macroscopiques tels que le lustre de chauffe, à la fois non quantifiable et pouvant s'avérer biaiser par l'œil de l'observateur. Dans le cadre d'un travail doctoral, la caractérisation de la technique de chauffe employée par les groupes solutréens a entraîné le recours à deux méthodes analytiques permettant de reconnaître et d'étudier les procédés chimiques et physiques impliqués. En plus de la méthode par spectroscopie infrarouge développée par P. Schmidt ces dernières années (Schmidt, 2011 ; Schmidt *et al.*, 2013), les analyses de rugosité de surface ont dans ce cadre été testées comme outil de reconnaissance et de quantification du traitement thermique. Ces analyses, menées au microscope confocal à balayage laser, permettent de mesurer la topographie de surface des échantillons. Les résultats obtenus jusqu'à présent confirment l'évolution de la rugosité de surface des surfaces de fracture des échantillons en fonction des gammes de température auxquels ils ont été soumis. Ce type d'analyses s'avère donc en mesure de quantifier objectivement le lustre de chauffe observé macroscopiquement sur le matériel traité thermiquement.

Mots-Clés : Rugosité de surface, Pyrotechnologie, Roches siliceuses, Feuilles de laurier, Modélisation 3D de surface

Non-invasive approaches for the screening of stone supports in Sicilian epigraphy

Alessia Coccato¹, Germana Barone², Paolo Mazzoleni², Jonathan Prag¹

¹ Faculty of Classics, University of Oxford – Royaume-Uni

² University of Catania, Department of Biological, Geological and Environmental Sciences – Italie

Stone inscriptions represent irreplaceable sources of information on the ancient world, as they are often the only textual evidence preserved from the past. This is surely linked to the high durability of the stone support, which survived the test of time, although often fragmentary or corroded. It appears nevertheless that the support has been disregarded and

not included in the historical interpretation of such texts. Within the ERC funded project “CROSSREADS – Text, materiality and multiculturalism at the crossroads of the ancient Mediterranean” (Grant agreement No. 885040), inscriptions from Ancient Sicily are also considered from the materials point of view. It appears that both local and imported stones were used in Sicily for different types of inscriptions (public works and accounts, religious dedications, funerary texts, etc), but their accurate identification is still lacking. Improved understanding of sources and commercial networks for ancient stone-use, as well as the rationale behind specific choices will aid both historical analysis and future conservation. The number of inscriptions identified so far in Sicily adds up to more than 4000, and they are currently kept in Museums and Antiquariums across the island, being recognized as cultural heritage to be preserved for future generations. Therefore, in order to assess the provenance of the used lithotypes, a multi-level approach has been devised. A first screening is carried out completely non-invasively *in situ* by means of portable X-rays fluorescence and digital microscopy with infrared, visible and ultraviolet light sources. The systematic acquisition of chemical data and micro-photographs is accompanied by a limited sampling on a selected set of objects, in order to perform the traditional minero-petrographic thin-section observations, additional laboratory tests (X-rays diffraction, vibrational spectroscopies) and in the case of crystalline marbles, also isotopic analyses.

Mots-Clés: Archaeometry, Petrography, Epigraphy, Sicily

Le manganèse : un marqueur interprétatif précisé ?

Arthur Laenger¹, Arnaud Martel², Fabien Boucher³, Aline Durand¹

¹ CReAAH – CNRS, Université du Maine, UMR6566 – France

² Institut des Molécules et Matériaux du Mans – Le Mans Université, CNRS, UMR6283 – France

³ IUT Chimie Le Mans – Le Mans Université – France

Depuis les années 1930, l'analyse des sols archéologiques au moyen de la géochimie a rendu possible l'identification d'activités humaines. Sous l'action de ces dernières, des éléments chimiques se déposent dans les sols qui les ont supportées, l'exemple le plus fameux étant sans doute le dosage du phosphore pour mettre en évidence les zones dédiées à l'élevage. Il est cependant possible d'identifier d'autres activités soit par une concentration anormalement élevée d'un élément commun par rapport au substrat géologique soit par la présence d'un élément atypique dans l'environnement. La mise en évidence de ces éléments marqueurs nécessite cependant la multiplication des études sur des sites différents afin de comprendre les tenants et les aboutissants de leurs dépôts. Ainsi le manganèse est un élément chimique observé depuis les années 70 jusqu'à nos jours par les équipes archéologiques effectuant des études chimiques de sols. La présence de cet élément a été enregistrée comme étant liée à la présence d'activités métallurgiques. Cependant, les expérimentations que nous avons menées sur différents sites ainsi que la compilation de la bibliographie, tant archéologique que chimique, nous permettent de proposer une autre interprétation pour cet élément. Cette

dernière semble mieux recouvrir l'ensemble des occurrences du manganèse sur les sites archéologiques et ouvrir la voie à une meilleure interprétation de ce marqueur.

Mots-Clés: Élément marqueur, Géochimie, Interprétation archéologique, Manganèse, XRF

Le couvent des châteliers (Neufchâtel-en-Saosnois, 72) : l'apport de la prospection géochimique

Arthur Laenger¹, Arnaud Martel², Fabien Boucher³, Aline Durand¹

¹ CReAAH – CNRS, Université du Maine, UMR6566 – France

² Institut des Molécules et Matériaux du Mans – Le Mans Université, CNRS, UMR6283 – France

³ IUT Chimie Le Mans – Le Mans Université – France

S'il est connu pour ses implantations urbaines, l'ordre des Minimes a pourtant connu une première phase de développement, moins connue, loin des villes. En effet, l'ordre de François de Paule s'implante lors de sa venue en France dans des lieux reculés, propices à la vie érémitique. Le couvent des châteliers est un des rares représentants de cette première phase de l'ordre, fondé en 1492. Situé dans l'actuelle forêt de Perseigne, le couvent a été identifié par une étude archivistique et une prospection archéologique, qui ont donné quelques éléments sur l'histoire et la composition du site. Seul un vestige présentant de très légères élévations ainsi qu'une plateforme aménagée marquent le site. Si les documents écrits font état d'un second bâtiment, il n'a pas été possible de le mettre en évidence lors de la prospection archéologique. En revanche, l'emploi de la prospection géochimique par spectrométrie de fluorescence des rayons X a permis de repérer la présence d'éléments chimiques particulier, dissonant par rapport au substrat géologique local. Ainsi, il a été possible de proposer un emplacement probable pour le second bâtiment, mais également de fournir des indices interprétatifs précieux afin de mieux comprendre l'occupation du site.

Mots-Clés: Couvent, Géochimie, Minimes, Prospection, XRF

Contrôle non destructif ultrasonore d'urnes cinéraires antiques

Philippe Lasaygues¹, Elise Doveri¹, Matthieu Boutoille¹, Jacques Rebière², Paul Bailet³

¹ LMA – Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, UMR 7031 – France

² LC2R – France

³ Dracénie Provence Verdon agglomération – Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR7264 – France

Les modalités non invasives se développent à mesure que se multiplient les outils informatiques et les capacités de contrôles non destructifs. Dans la même dynamique que celle qui

concerne les objets métalliques corrodés ou les matériaux organiques restitués en 2D et 3D après des examens scanners, nous avons cherché à étudier les urnes cinéraires antiques contenant des os humains. L'exploration des urnes antiques est importante pour comprendre les pratiques de l'inhumation et de la crémation en archéo-anthropologie, et pour comprendre la paléthnologie des sociétés humaines du passé. Mais ces urnes présentes sur des sites archéologiques sont soumises à des environnements diversifiés (milieux humide, tempéré ou sec), et peuvent faire l'objet au cours du temps d'actions destructrices chimiques ou mécaniques. Les urnes cinéraires antiques étant parfois des récipients en plomb, en pierre ou des céramiques, l'utilisation de scanners ou de modalités par rayons X pour déterminer la présence ou l'absence d'assortiments osseux ou de portions d'éléments anatomiques est difficile voire impossible pour une exploitation de terrain. Les anthropologues qui exercent et animent des sections d'archéologie humaine sont donc intéressés par d'autres approches non destructives leur permettant d'analyser en laboratoire et/ou *in situ* les vestiges et les spécimens sans les endommager voire les détruire. Parmi les techniques de l'ingénieur, les méthodes ultrasonores (à la base de l'échographie médicale) sont particulièrement adaptées, et s'il existe une littérature conséquente sur la caractérisation des os par méthodes propagatives, ces derniers sont souvent frais ou avec de faibles délais post-mortem (< 1-2 ans en moyenne). Il n'y a aucune méthode adaptée lorsque les os sont très anciens, antiques voire préhistoriques, et encore moins lorsqu'ils sont conditionnés ou transformés. Notre groupe s'intéresse à la propagation ultrasonore, et à l'imagerie associée, dans les urnes cinéraires. Un modèle analytique a été développé à l'aide d'outils mathématiques de traitement du signal et validé sur des expériences en laboratoire dans des conditions contrôlées de propagation à travers des urnes artificielles. Dans notre présentation, les résultats seront présentés et discutés sur des urnes remplies de sable dans lesquelles se trouvent des os inhumés ou brûlés et d'autres contenant seulement des os (inhumés ou brûlés) sans matériaux les englobant. (Travaux soutenus par l'Institut Archéologie méditerranéenne – Arkaia, Aix-Marseille Université)

Mots-Clés: Ultrasons, Contrôle non destructif, Urnes cinéraires, Os

Non-invasive analyses for ceramic building materials: are they worth it or should we 'hit the bricks'?

Elisa Boccalon¹, Pamela Fragnoli¹, Sabine Ladstätter¹, Stefan Traxler², Eva Thysell³

¹ Austrian Archaeological Institute, Department of Historical Archaeology, Austrian Academy of Sciences – Autriche

² ÖÖ Landes-Kultur – Autriche

³ University of Innsbruck, Department of Archaeologies – Autriche

Obtaining the maximum amount of information by sacrificing the smallest portion of the object is a possibility yet to be fully developed in the study of ceramic building materials. Non-destructive analyses are notoriously reserved for the most attractive, delicate and least abundant finds as the low aesthetic value and often shattered state of building ceramics

makes one feel less guilty about taking off a piece. However, sampling remains a painful operation, even for a brick. Especially if the original object is whole and intact or stamped. Another common reason for neglecting the use of non-invasive analyses is related to the well-known intrinsic limitations of portable instruments such as lower resolution or reduced detection limits. But have we really exploited their full potential?

Through this research, we want to better evidence pros and cons of a series of non-destructive techniques for the study of ceramic building materials. We focus here on the tiles, bricks and heating pipes from the Roman legionary camps of Lauriacum and Albing in Austria dating from the 2nd to the 5th century AD. By combining portable XRF, digital microscope and FTIR, we identify different modes of raw material procurement and processing as well as forming procedures, which reflect typological, functional, chronological and contextual differences across and within the two sites.

Keywords : Ceramic building materials, Portable instruments, Infrared spectroscopy, pXRF

Identification Raman des pigments et des phases associées aux émaux peints jaunes et verts de porcelaines françaises et chinoises des 17^e et 18^e siècles : Intérêt et limitation de l'analyse multivariée par rapport à l'approche spectroscopique des solides

Jacques Burlot¹, Divine Vangu Mpaka², Ludovic Bellot-Gurlet¹, Philippe Colombari¹

¹ MONARIS – Sorbonne Université, CNRS, UMR8233 – France

² IMPMC – MNHN, IRD, UR206, Sorbonne Université, CNRS, UMR7590 – France

Les pigments plomb-antimoine/étain/etc. (un groupe généralement appelé Jaune de Naples) fournissent une belle couleur jaune, pouvant être utilisée en combinaison avec un verre de couleur bleue afin d'obtenir une variété de teintes vertes pour les émaux opaques sur verre, métal ou céramique. Ces pigments sont aussi très utilisés en peinture à l'huile. Du fait de la forte intensité du spectre Raman des phases à base de plomb, l'analyse Raman doit a priori être efficace pour catégoriser ces différentes formes de pigments ; ce qui s'avère être finalement plus compliqué, peu des phases ayant été caractérisées simultanément sur les plans vibrationnels et cristallographiques.

A partir de l'analyse d'une centaine d'objets émaillés – porcelaines et objets métalliques – représentatifs des productions françaises et chinoises (dynastie Qing) des 17^e et 18^e siècles, et des spectres de la littérature, nous présentons dans un premier temps les signatures Raman les plus représentatives des pigments de la famille du Jaune de Naples (pyrochlores et phases similaires) obtenus sur ces émaux jaunes à verts. Dans un deuxième temps, nous comparons plusieurs procédures permettant leur identification. Ces dernières correspondent à la sélection visuelle des spectres les plus différents suivie d'une sélection après extraction (*fitting*) des différentes composantes vibrationnelles des spectres « les plus purs », ainsi qu'aux analyses multivariées comme l'analyse en composantes principales (ACP) utilisant d'abord comme variables les valeurs d'intensité des spectres Raman sur une fenêtre d'analyse globale

ou limitée (intégrant matrice silicatée et/ou pigment), et ensuite, les valeurs provenant des déconvolutions spectrales. Nous effectuons également la comparaison avec les spectres de la littérature de pigments synthétisés qui ont été caractérisés par Diffraction des Rayons X. Il en résulte que l'identification précise de la phase correspondant au pigment à partir de la signature Raman peut ne pas être fiable lorsque seuls les pics principaux sont détectés en raison de la grande non-stœchiométrie des phases pouvant être présentes (PbSnO_3 , $\text{PbSn}_{1-x}\text{SixO}_3$, $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{-x-ySnxMyO}_7$, etc.) et de la similitude de leurs signatures. L'ACP des spectres effectuée sur l'intervalle global est inefficace en raison de la perturbation induite par la signature Raman variable de la matrice silicatée dans laquelle le pigment est dispersé. Au contraire, la combinaison de l'analyse raisonnée basée sur des spectres « purs » avec l'ACP basée sur des paramètres spectroscopiques extraits de la déconvolution de spectres Raman semble efficace. Elle permet en effet de catégoriser les différents pigments à partir de spectres enregistrés *in-situ* via des montages Raman mobiles.

Mots-Clés : Emaux, Jaune, Vert, Pyrochlore, Micro, Spectroscopie Raman, ACP, PbSnO_3 , $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$

Les techniques supercritiques en archéologie

Thibaut Deviese¹, Christelle Crampon², Benoit Legros³, Adil Mouahid², Karine Seauudeau-Pirouley³, Lou Spanneut^{1,4}

¹ CEREGE, Collège de France – Aix Marseille Université, CNRS, UMR7330 – France

² M2P2, Ecole Centrale de Marseille, CNRS, Aix Marseille Université, UMR 7340 – France

³ Innovation Fluides Supercritiques (IFS)

⁴ LAMPEA – Aix Marseille Université, CNRS, MCC, UMR 7269 – France

On qualifie de ‘supercritique’ l'état de la matière soumise à une température élevée et une forte pression. Plus précisément, on parle de fluide supercritique lorsqu'un fluide est chauffé au-delà de sa température critique et comprimé au-dessus de sa pression critique. Ce fluide a alors autant les propriétés d'un gaz (ex : tension de surface inexistante, grande diffusivité) que celles d'un liquide (ex : pouvoir de dissolution, transport d'une plus grande quantité et aussi d'une plus grande variété de solutés qu'un gaz). On peut parler de fluide presque aussi dense qu'un liquide qui tend à se comporter comme un gaz. Autrement dit, un fluide supercritique diffuse à travers un solide comme un gaz, tout en dissolvant des matériaux comme un liquide.

Bien qu'ils soient largement utilisés dans l'industrie – l'extraction de la caféine contenue dans les grains de café étant l'application la plus connue – les fluides supercritiques n'ont pas encore été pleinement mis en œuvre dans le domaine des sciences archéologiques et les quelques applications existantes sont principalement liées au nettoyage, au séchage et à la conservation d'artefacts archéologiques délicats.

Cette communication passera brièvement en revue ces applications et présentera les résultats d'études pilotes pour la décontamination d'ossements archéologiques et l'extraction de

composés organiques piégés dans des matrices inorganiques comme des sédiments ou des céramiques archéologiques. Nous avons en effet optimisé avec succès une procédure utilisant des fluides supercritiques pour extraire les lipides d'une large gamme de fragments de céramiques archéologiques sans avoir à les réduire en poudre comme cela est habituellement fait [1]. Nous avons également réussi, à l'aide de fluides supercritiques, à éliminer les contaminants (ex : matériaux de conservation) d'ossements archéologiques avant leur datation au radiocarbone [2]. Plus récemment, une collaboration entre le CEREGE, l'IFS et le M2P2 a permis la mise en place d'une procédure efficace pour extraire la matière organique présente dans des sédiments archéologiques. Les résultats obtenus pour ces différentes études montrent que les fluides supercritiques peuvent fournir une alternative plus efficace et plus verte aux solvants liquides pour l'extraction 'non destructive' de substances organiques dans les artefacts archéologiques et ainsi contribuer à une vaste gamme de questions de recherche.

1. Devièse T., Van Ham-Meert A., Hare V., Lundy J., Hommel P., Ivanovich Bazaliiskii V. and Orton J. (2018). "Supercritical fluids for higher extraction yields of lipids from archaeological ceramics." *Analytical Chemistry* 90(4): 2420–2424.

2. Devièse T., Ribechini E., Querci D. and Higham T. (2019). "Assessing the efficiency of supercritical fluid extraction for the decontamination of archaeological bones prior to radiocarbon dating." *Analyst* 144: 6128-6135.

Mots-Clés: Fluides supercritiques, Céramiques, Ossements, Sédiments

Building Archaeology and Earth Mortars Analysis in AIUla Old Town. A minimally invasive analytical approach to the study of the built heritage in northwest of Saudi Arabia

Piero Gilento¹, Apolline Vernet¹, Giovanni Pesce²

¹ Archaïos – Entreprise privée – France

² Northumbria University New Castle Upon Tyne – Royaume-Uni

AIUla Old Town, in the Northwest of Saudi Arabia, is part of an area characterised by a rich heritage that includes sites such as Hegra and Dadan. Such region hosts monumental remains of human occupation from, at least, the Iron age (9th c. BC) to the Fatimid period (12th c. AD). Since 2018, the Royal Commission for AIUla (RCU) has embarked on a rich activity programme to promote and give value to the local cultural heritage. Within such context, Archaïos, steered by Afalula (French Agency for the Development of AIUla) in partnership with the RCU, set up the MuDUD (Multiscalar Documentation for Urban Dynamics) research project. This transdisciplinary project gathers experts from various fields of research around Humanities disciplines with the intention to use innovative technological tools in the rediscovery of AIUla's history. The project places the town at the center of the interest with the aim to delve into its historical timeline to exploit its potential as a cultural heritage site. The study of the Old Town is a keystone to illustrate the human settlement in the AIUla valley, by putting the recent past into perspective. The Old Town was gradually abandoned

until 1980, but the standing architecture and archaeological findings are showing that the site has had various phases of occupation which the project is trying to better define historically. The site's continuous occupation and the nature of the resources available (*e.g.*, sandstone, sand-rich soil, and palm trees and its derivatives) led to the creation of a unique vernacular architecture that, over the time, became extremely rich in its stratification. An intense investigation using the methods of the building archaeology, has been carried out since the 2020, aiming at reconstructing the evolution of the Old Town's built heritage. However, the complex stratification and the lack of historical sources (*e.g.*, written texts, epigraphs, decorative apparatuses), led the archaeologists to closely work with specialists in mortar analysis to identify similarities and differences in the building materials used across the Old Town, to get relative and absolute chronologies for the architecture.

This paper presents the transdisciplinary approach used in the MuDUD project to investigate the built heritage of AlUla Old Town. This was based on the analysis of a limited number of small mortar samples closely combined with the stratigraphic analysis of the buildings. From the design of the methodological approach to the on-site activity, and from the on-site sampling work to the laboratory analysis, this paper highlights the process that led to the interpretation of the analytical results in an historical perspective.

Keywords: Urban archaeology, Oasis context, Archaeometry, Production technology, Local materials

La spectroscopie visible appliquée au mobilier en os de la Grotte du Diable

Renaud Gosselin ¹, Nejma Goutas, Yolaine Maigrot

¹ Trajeotires -Université Panthéon-Sorbonne, CNRS, UMR 8215 – France

Une série d'artefacts en os et en bois de cerf, composée en particulier d'aiguilles et d'armatures de projectile, a été découverte sur la commune de Montainville (78) au début du XX^e siècle. Les pièces auraient été mises au jour par un érudit local, Victor Aubert, à l'occasion d'une fouille au lieu-dit «La grotte du Diable» dont l'emplacement n'a malheureusement pas pu être retrouvé.

Outre sa provenance exacte, cette série pose d'autres problèmes tels que : son authenticité ou son attribution chronologique. Autant de facteurs qui ont conduit l'une d'entre nous (N. Goutas) à en reprendre l'étude dans le cadre du PCR « La Vallée de la Mauldre. Evolution d'un site dans son territoire sur la longue durée » (Yvelines, DRAC Ile de France, coord. O. Blin, J.M. Portier, M. Rouffet).

Au cours de cette étude, des traces ténues de coloration, rougeâtre ou verdâtre, ont été observées à la surface des artefacts. Elles ont été interprétées comme résultant d'une imprégnation des tissus osseux par des oxydes métalliques et supposaient que des éléments en métal aient été en contact assez prolongé avec les objets en os tandis qu'ils se corrodait.

Nous avons donc cherché à comprendre les circonstances pouvant aboutir à la mise en relation de ces différents matériaux (utilisation d'un système d'emmanchement à rivets, manipulation, etc.) à l'époque de leur création, pendant ou après leur enfouissement. Et pour en favoriser la résolution, le problème a été abordé selon deux approches complémentaires : par le biais d'une analyse tracéologique à fort grossissement (Y. Maigrot, à venir), d'une part et par le truchement d'une analyse spectroscopique (R. Gosselin), d'autre part. Les deux approches ont été ou seront conduites en s'appuyant sur les ressources de la plateforme microscopie de l'UMR Trajectoires.

C'est de l'approche en spectroscopie dont il sera essentiellement question, ici. Celle-ci, en effet, a été réalisée à l'aide du prototype d'un nouveau type d'instrument : le microspectro-Imageur, conçu et développé au sein du laboratoire Trajectoires et qui exploite la partie visible des rayonnements électromagnétiques. La méthode est à cet égard absolument non invasive.

La spectroscopie a permis de valider une des hypothèses relatives à la mise en contact des os et des métaux qui résulte en définitive d'une pratique muséale et de l'attache des objets sur une plaque d'exposition à l'aide de fils en cuivre ou en fer. Elle a en outre permis, par l'utilisation de nouveaux algorithmes de traitement du signal spectroscopique, d'interroger la nature même des matériaux utilisés comme support de fabrication. Il en ressort que l'analyse spectrale pourrait offrir des perspectives inédites et totalement non invasives pour aider à mieux discriminer l'os du bois de cervidé.

Mots-Clés : Spectroscopie visible, Matériel osseux, Pratique muséale

Identifier et décrypter des aménagements anciens. Apports de la 3D et de la cartographie anthropo-géomorphologique à haute résolution. Application à la grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne)

Jules Kemper¹, Jean-Jacques Delannoy¹, Stéphane Jaillet¹, Pablo Arias², Roberto Ontañón²

¹ EDYTEM – Université Savoie Mont Blanc, CNRS, UMR5204 – France

² IIIIPC – Universidad de Cantabria – Espagne

L'étude de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc a été un accélérateur de la réflexion autour des techniques d'investigation non invasives et d'une démarche de recherche intégrée entre les différentes disciplines. La combinaison de techniques d'imagerie et de modélisation 3D, avec une cartographie géomorphologique exhaustive à haute résolution – mêlant morphologies et vestiges archéologiques – a offert une base commune de travail ainsi qu'une compréhension inédite d'un espace souterrain complexe et investi par l'Homme sur le temps long (Boche *et al.* 2012, De-lannoy *et al.* 2012, 2020). Ce regard anthropo-géomorphologique a permis de rendre compte de la place de l'humain dans la construction des paysages souterrains en identifiant plusieurs aménagements dans la cavité. Cette méthode, ensuite développée sur plusieurs sites (Delannoy *et al.* 2013, 2020, Jaillet & Monney 2016, Monney & Jaillet 2019, Jaillet *et al.* 2017, Genuite 2019) a porté un nouveau regard sur l'étude des sites souterrains

ornés. La galerie Inférieure de la grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne), fermée par un effondrement du porche à la fin du MIS2, a permis une conservation exceptionnelle des sols paléolithiques : ossements, sols d'occupation, empreintes, art pariétal, spéléothèmes brisés, mais aussi structures anthropiques (Arias *et al.* 2020). La diversité de ces vestiges, leur richesse et leur imbrication avec les différents contextes morphogéniques de la galerie, font de cette cavité un site propice au développement de la méthode anthropo-géomorphologique. Au-delà d'une documentation exhaustive, l'utilisation des techniques cartographiques et 3D permettent de discerner de nombreux aménagements anthropiques de l'entièreté de la galerie, et de discuter de leur nature et chronologie. La dimension spatiale de l'analyse anthropo-géomorphologique permet de replacer ces traces dans l'évolution spéléogénique des volumes et de discuter leurs implications paléospéléologiques.

Mots-Clés : Anthro géomorphologie, Traitement 3D, Cartographie haute résolution, Milieux souterrains

Caractérisation par microscopie optique et p-XRF de céramiques glaçurées d'époque contemporaine en Provence. Le cas de l'atelier du Collet du Bayle à Varages (83)

Aline Lacombe¹, Rémi Rêve², Daniel Borschneck³, Claudio Capelli⁴

¹ Ville d'Aix-en-Provence – UMR 7298 LA3M – France

² CCJ – Université de Sfax – France

³ CEREGE, Collège de France – Aix Marseille Université, CNRS, UMR7330 – France

⁴ collaborateur CCJ – Italie

Les problématiques relatives aux productions de céramiques glaçurées d'époque contemporaine en Provence, peu documentées aujourd'hui, font l'objet de nouvelles perspectives. Dans cette dynamique, nous présentons ici le cas de l'atelier du Collet du Bayle situé à Varages (83). Les sondages archéologiques menés en 1998 sur les structures de production de cet atelier, ont permis notamment d'identifier la production céramique constituée de vaisselle de table (céramiques glaçurées et faïences argileuses) et de cuisine, ainsi que de terres cuites architecturales et de matériel d'enfournement. Si l'aire de diffusion des faïences argileuses de Varages est relativement bien connue, il n'en va pas de même pour celle des céramiques glaçurées, dont la présence n'était soupçonnée qu'à Marseille.

Partant de ce constat, un travail d'analyse combinant trois approches – archéologique, pétrographique et géochimique en fluorescence X portable (p-XRF) – a été mené. L'objectif premier était de caractériser les matières premières et les recettes utilisées dans cet atelier pour la fabrication des « terres vernissées » et ainsi de constituer un référentiel.

Dans un second temps, ce référentiel a été comparé avec des tessons typologiquement similaires découverts à Aix-en-Provence sur deux sites de consommation datés de l'époque contemporaine (place de Verdun et hôtel Boyer d'Eguilles, fouilles DAMVA). Les résultats obtenus ont permis d'établir un rapprochement entre la production de Varages et ces

contextes aixois, et par là d'établir un premier débouché des productions de l'atelier du Collet du Bayle dans la ville d'Aix.

Dans cette démarche de détermination de l'aire de diffusion de l'atelier, il reste encore à ouvrir notre enquête à d'autres sites contemporains de redistribution des marchandises comme Marseille ou Fréjus, et à des sites de consommation secondaires de l'arrière-pays marseillais, de la vallée de la Durance et de la Haute Provence.

À terme, cette expérimentation, à laquelle nous prévoyons d'ajouter une étude par MEB-EDX, pourra être étendue à d'autres sites producteurs de la région dans le but de mieux connaître les technologies de production potière et de comprendre les circuits commerciaux en place à cette période.

Mots-Clés: Céramiques glaçurées contemporaines, Provence, XRF, Pétrographie, Circuits commerciaux

Non-destructive identification of prehistoric adhesives by HS-GCxGC-TOFMS: preliminary study

Anika Lokker¹, Pierre-Hugues Stefanuto¹, Ronè Oberholzer², Dries Cnuts², Veerle Rots², Jean-François Focant¹

¹ Organic and Biological Analytical Chemistry Group, MolSys Research Unit, University of Liège – Belgique

² TraceoLab/Prehistory, University of Liège – Belgique

The chemical identification of prehistoric glues on stone tools is important as it could reveal something about tool use and human behaviour. Currently, prehistoric glues are chemically analysed by gas chromatography coupled to a mass spectrometer (GC-MS) which requires extraction and derivatization of the residues (1). Although, this method is often successful in identifying the prehistoric glues, it is destructive for the glue and often requires a fairly large amount. For this reason, not all adhesives on stone tools are chemically investigated. Therefore, there is a need for a minimal invasive chemical identification method, which can complete with the current GC-MS method. In the past, Headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME) in combination with GC-MS and with comprehensive two dimensional GC-time-of-flight mass spectrometer (HS-SPME-GCxGC-TOFMS) has been proposed (2,3). HS-SPME requires no extraction and derivatization of the glue and is minimal invasive. Consequently, it is a good opportunity for the chemical identification of prehistoric glues. Moreover, GCxGC-TOFMS has more peak capacity and is more sensitive than GC-MS3. However, the absorption capacity and the robustness of the SPME fibre remains a problem, hence we investigated a different headspace method; dynamic headspace (DHS) coupled to GCxGC-TOFMS.

The DHS method is optimized and validated via design of experiment on pine resin and evaluated on hide glue. Subsequently, the limit of detection is investigated, and DHS is compared to SPME-GCxGC-TOFMS in terms of robustness of the method and sensitivity.

1. D. Cnuts, K. A. Perrault, P. H. Stefanuto, L. M. Dubois, J. F. Focant, and V. Rots, *Ar- chaeometry*, 2018, 60, 1361.
2. M. Regert, V. Alexandre, N. Thomas, and A. Lattuat-Derieux, *J. Chromatogr. A*, 2006, 1101, 245.
3. K. A. Perrault, P. H. Stefanuto, L. Dubois, D. Cnuts, V. Rots, and J. F. Focant, *Separations*, 2016, 3, 8.

Keywords: DHS, SPME, GCxGC, TOFMS, Pine resin, Hide glue, DoE

Métabolomique non-ciblée et réseau moléculaire : deux outils complémentaires pour la discrimination chimique de colorants jaunes naturels présents dans des objets patrimoniaux

Lindsay Mas-Normand¹, Olivier Chevallier², Djouheina Saouli¹, Céline Joliot¹, Olivier Dangles³, Carole Mathe De Souza¹, Gérald Culioli¹

¹ IMBE – UMR CNRS 7263, IRD 237, Aix Marseille Université, Avignon Université – France

² Plateforme 3A, Pôle Structure et Infrastructure de Recherche Partagée, DARI, Avignon Université – France

³ SQPOV – UMR 408, INRAE, Avignon Université – France

Jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle et l'avènement des colorants synthétiques, les plantes tinctoriales constituaient une des principales ressources pour la teinture des textiles (1). Aujourd'hui, l'étude chimique d'objets du patrimoine culturel peut conduire à l'identification des plantes qui étaient utilisées alors pour les teintures et à l'élucidation des recettes ancestrales (2, 3). Toutefois, la couleur jaune reste un défi analytique particulier. En raison de la grande diversité de molécules souvent communes à plusieurs espèces pouvant produire cette couleur, il est assez complexe d'identifier avec précision les plantes ayant servi à la coloration d'un tissu jaune. Il est donc nécessaire de développer des outils qui permettraient d'identifier des chimiomarqueurs spécifiques à chaque espèce et ainsi de les discriminer.

Dans la dernière décennie, la métabolomique a connu un essor considérable et a été appliquée dans de nombreux domaines tels que la santé, l'alimentation ou l'environnement. Cette discipline, dont l'objectif est d'étudier les métabolites présents dans des systèmes biologiques, peut être mise en œuvre suivant deux approches (4). D'un côté, les méthodes ciblées qui se focalisent sur la détection et la quantification d'un nombre réduit de molécules connues. De l'autre côté, l'approche non-ciblée qui vise à explorer d'une manière plus globale et sans a priori l'ensemble des composés connus et inconnus présents dans un échantillon. Parmi les techniques non-ciblées les plus employées, la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (LC-HRMS/MS) occupe une place de choix. En effet, elle permet de séparer puis de déterminer avec précision la formule brute des métabolites, tout en offrant une bonne sélectivité et une grande sensibilité (5). Il est également possible de remonter à la structure des métabolites d'intérêt grâce à l'étude de leurs schémas de fragmentation MS/MS.

Afin de caractériser les colorants jaunes présents dans des objets du patrimoine culturel, un workflow analytique a été mis au point à partir d'une quinzaine d'espèces de plantes fournie par le « Jardin des Plantes Tinctoriales de Lauris » (Luberon, France). Il consiste

en l'analyse métabolomique non-ciblée par LC-HRMS/MS d'extraits de plantes locales (nerprun, gaude, fustet...) ou d'usage courant.

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible via cette approche de caractériser plusieurs types de chimiomarqueurs (spécifiques, génériques...) et ainsi d'être en mesure de déterminer l'origine botanique de colorants jaunes. En complément à cette analyse métabolomique, l'annotation des chimiomarqueurs a été réalisée par le biais de la construction d'un réseau moléculaire. Dans ce type de représentation, chaque métabolite apparaît sous forme d'un nœud connecté à d'autres molécules en fonction de leurs similitudes spectrales et donc structurales. Un ensemble de nœuds forme un cluster constitué de molécules appartenant à une même famille chimique et facilite ainsi l'annotation de métabolites inconnus (6). Le fait que de tels outils analytiques n'aient encore jamais été appliqués à l'étude des colorants naturels contribue à l'originalité de ces travaux.

Références :

1. Cardon, D. *Le monde des teintures naturelles*, Belin, 2014.
2. Lech, K. *Journal of Cultural Heritage*, 2020, 46, 108-118.
3. Tamburini, D. *Dyes and Pigments*, 2019, 163, 454-474.
4. Courant, F. *et al. Proteomics*, 2014, 14, 2369-2388.
5. Defossez, E. *et al. Mass Spectrometry Reviews*, 2021, 1-13.
6. Nothias, L.-F. *et al. Nature Methods*, 2020, 17, 905-908.

Mots-Clés: Colorants naturels, Plantes tinctoriales, Métabolomique non ciblée, Spectrométrie de masse haute résolution, Réseaux moléculaires

Monumental bronzes of the 11th-12th century: documentation and analyses of bronze doors

Marianne Moedlinger¹, Jarno Bontadi², Martino Negri², Marco Felin², Judith Utz¹, Heike Schlie¹, Giorgia Ghiara¹, Martin Fera³, Serhii Makhortykh¹

¹ Universität Salzburg – Autriche

² CNR-IBE – Italie

³ Universität Wien – Autriche

About 25 bronze doors from the 11th-12th century, most of them located in Italy, represent the only surviving complex of large bronzes from the European Middle Ages.

All doors are made of different copper alloys by the lost wax process: they could be cast as a whole, or individual metal fittings were attached to a wooden support. Some doors have in-lays of various materials that allowed the colored depiction of different biblical scenes or saints. Through comprehensive material analyses of all doors on-site during the course of our project at the University of Salzburg, Austria, we aim to:

1) Characterize materials and techniques used in the construction of the doors; 2) Identify artists, and their specific alloys and techniques; 3) Visualize networks of material knowledge: Properties, affordance and the material iconology in image systems.

Methods used include 1) image based three-dimensional recording of the doors, documenting the relief structure and surface texture for further studies ; 2) non-invasive chemical analyses to identify the alloys used ; 3) dendrochronological analyses to identify and date the types of wood used, providing important information about restorations, additions and the use of local woods ; 4) metallographic and isotopic analyses on selected doors, providing information about material treatments after casting and the origin of the copper used.

The data obtained expand our knowledge of the comprehensive complex of medieval large bronzes, which relate to each other and whose material communicates closely with the meaning of the pictorial representations. We reconstruct the production as well as the cooperation and networks of the individual craftsmen and patrons and thus shed light on an important chapter of medieval craft and art history.

Keywords: Monumental bronzes, Non invasive analyses, Challenges, 3D models, Chemical analyses

Stratégies analytiques développées pour une contribution archéométrique de la ligne de lumière DiffAbs du synchrotron SOLEIL

Solenn Reguer ¹, Caroline Zamon ², Emilie Berard ³, Pierre Gueriau ⁴, Julie Gordon ^{1,5}, Christian Mocuta ¹, Philippe Joly, Dominique Thiaudière ¹

¹ Synchrotron SOLEIL, CNRS, UMRUR1 – France

² Trajectoires, CNRS/Université Paris 1, UMR8215 – France

³ LAPA-IRAMAT/NIMBE – CNRS – UMR 7065 – CEA – Université Paris-Saclay – France

⁴ IPANEMA – MNHN, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CNRS: UAR3461 / USR3461, MCC – France

⁵ MONARIS – Sorbonne Université, CNRS, UMR8233 – France

La ligne de lumière DiffAbs du synchrotron SOLEIL est une ligne versatile où différentes techniques basées sur l'interaction des rayons X avec la matière sont combinées afin d'étudier les matériaux : la diffraction des rayons X (XRD), les spectroscopies d'absorption et de fluorescence des rayons X (XRF) ainsi que les techniques dérivées. L'obtention des données précieuses pour comprendre les propriétés physico-chimiques des matériaux bénéficie de la combinaison de ces techniques mais aussi de la disponibilité d'environnement échantillons spécifiques (fours, contraintes mécaniques, etc.).

Depuis déjà une quinzaine d'année, la ligne de lumière DiffAbs participe à l'étude de matériaux du patrimoine culturels et naturels. Le poster proposé mettra en évidence les résultats obtenus lors de différentes expériences illustrant l'apport des développements et expertises de la ligne DiffAbs en archéométrie. Les thématiques de recherche peuvent concerner les savoir-faire technologiques des sociétés anciennes [1, 2], les problématiques de conservation [3, 4] ou encore les études paléontologiques [5].

En vue d'une meilleure compréhension des premières technologies de l'âge du cuivre et du bronze en Europe, des outils macrolithiques ont été analysés par XRF et tracéologie [1].

Ces mesures ont révélé la présence de résidus de cuivre directement associés à des micropoissures typiques sur plusieurs outils en pierre utilisés pour la production des premiers objets en bronze. Cette étude a profité du développement du mode continu rapide (Flyscan) qui synchronise la collecte de données de plusieurs détecteurs et le balayage de l'échantillon sur une échelle de temps de quelques millisecondes par pixel. Cette approche améliore la possibilité de cartographier des échantillons hétérogènes avec une haute résolution ou permet d'effectuer une cartographie de grande surface sur de grands échantillons. L'utilisation de la cartographie synchrone associant les mesures XRF et XRD est une approche très bien illustrée dans l'étude des processus de minéralisation et de l'anatomie fossile [4].

Le détecteur 2D courbe CirPAD récemment développé sur la ligne DiffAbs [6] pour les mesures XRD couvre une plage angulaire de près de 140° en une seule acquisition et permet de réaliser des mesures cinétiques avec un temps d'acquisition fortement réduit (échelle de temps de quelques ms). Son utilisation lors de mesures XRD directement sur des pièces d'armures a permis d'identifier différentes phases (principalement des alliages ferreux) et leurs particularités (teneur en carbone, texture, etc.) révélant la nature et l'origine des matériaux utilisés ainsi que les connaissances techniques des artisans [2]. De plus, ce détecteur CIRPAD permet des mesures de diffraction anormale rapide, intéressant pour suivre des processus physico-chimiques ou encore d'obtenir une analyse de la fonction de distribution de paires, ce qui est très important dans le cas de matériaux semi-cristallins ou amorphes tels que les verres.

References:

1. Hamon C. *et al.* Bulletin de la Société préhistorique française, 2021
2. Bérard E. *et al.* The European Physical Journal Plus, *soumis*
3. Gervais C. *et al.* Heritage Sciences, 2014
4. Gordon J. *et al.* Proceedings ICOM-CC METAL, 2019
5. Gueriau P. *et al.* Journal of the Royal Society Interface, 2020
6. Desjardins K. *et al.* Journal of Synchrotron Radiation, 2022.

Mots-Clés: Synchrotron, XRD, XRF, XAS, Metal, Fossil, Paint

Caractérisation des éléments légers dans les alliages ferreux anciens par LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy)

Sarah Richiero¹, Xueshi Bai², Philippe Dillmann³, Clothilde Comby-Zerbino⁴, Benoit Mille², Calligaro Thomas², Vincent Motto-Ros⁴, Florian Téreygeol⁵, Emilie Beard³, Nicolas Wilkie-Chancellor¹, Vincent Detalle^{1,2}

¹ SATIE – ENS Paris-Saclay, Université Paris-Saclay, C2RMF, CNRS, UMR8029 – France

² C2RMF – MCC – France

³ LAPA-IRAMAT/NIMBE – CNRS – UMR7065 – CEA – Université Paris-Saclay – France

⁴ ILM – Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, UMR5306 – France

⁵ IRAMAT – Laboratoire Métallurgies et Cultures – CNRS, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, UMR5060 – France

Les alliages ferreux apparentés à l'acier sont des matériaux porteurs d'informations sur les technologies et les transmissions de savoir. Ils peuvent être également des éléments de datation pour l'archéologie. Pour étudier la partie du métal non altérée, les éléments chimiques d'intérêt sont principalement les éléments légers tels que le carbone et le phosphore. Les informations nécessaires à l'études de ces aciers sont en priorité leur concentration en carbone et l'estimation de la présence du phosphore. Ces données permettent de savoir quels traitements mécaniques et chimiques ont subi les aciers, quelles sont leurs propriétés mécaniques et permettent de discriminer une partie des sources de minerais dont la matière première pourrait provenir.

Le problème de ces éléments est qu'ils sont difficiles à détecter pour les techniques de routine et notamment quand ils sont en quantité mineur ou trace. Les analyses employées actuellement par les archéologues répondent à ces questions mais avec parfois de trop grandes incertitudes. De plus, ces méthodes sont couteuses en temps et nécessitent une mise en résine de l'échantillon.

Mon projet de thèse a pour ambition de développer les capacités de la technique LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) pour l'analyse et la quantification des éléments légers dans les aciers archéologiques. La méthode LIBS est une technique d'analyse élémentaire par ablation laser. Un faisceau laser de quelques μm est focalisé à la surface de l'échantillon, l'énergie déposée transforme la matière en plasma. La lumière présente dans le plasma est celle émise par les atomes lors des transitions électroniques. Cette lumière est collectée dans un spectromètre optique et correspond, pour chaque longueur d'onde détectée, à un ou plusieurs éléments présents dans l'échantillon. Ainsi nous obtenons une information qualitative. De plus, l'intensité de chaque pic est relative à la concentration de l'élément dans l'échantillon ce qui permet une estimation quantitative. La LIBS permet des analyses *in situ* en surface et en profondeur ou des cartographies élémentaires de grande taille (plusieurs cm^2) et hautement résolues ($22\mu\text{m}$) pour l'ensemble des éléments du tableau périodique. Elle est rapide et ne prélève qu'environ 1 ng par tir laser. Chaque tir laser permet d'obtenir un spectre atomique de la zone d'interaction sur des images pouvant aller jusqu'à 1 million de tirs.

L'objectif de cette étude est d'établir un protocole expérimental pour l'analyse des aciers archéologiques par LIBS et de définir les capacités de la méthode pour compléter les informations obtenues par l'archéométaballurgie.

Pour évaluer les capacités de la LIBS pour la détection des éléments légers dans une matrice ferreuse, dans un premier temps, des échantillons d'aciers standards certifiés ainsi que des échantillons archéologiques déjà étudiés ont été analysés pour établir un premier protocole dédié à l'imagerie μLIBS . Les résultats des courbes de calibrations ainsi que des images élémentaires ont permis de dégager des images quantitatives pour le Carbone, le Phosphore et le Manganèse. Un corpus d'échantillons d'armures provenant de collections muséales a été analysé pour tester les capacités de la technique LIBS sur des échantillons précieux et compléter les informations ayant fait défauts aux autres techniques d'analyse.

Mots-Clés : Aciers, LIBS, Eléments légers, Quantification, Imagerie, Carbone, Phosphore, Manganèse, Analyse élémentaire, Archéologie

Analyses ^{14}C de micro-échantillons sur l'instrument ECHO MICADAS : les possibilités et limites

François Thil¹, Nadine Tisnérat-Laborde¹, Christine Hatté^{1,2}, Brian Phouybanhdyt¹, Claude Noury¹, Martine Paterne¹

¹ LSCE – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CEA, Université Paris-Saclay, CNRS, UMR8212 – France

² Division of Geochronology and Environmental Sciences, Institute of Physics, Silesian University of Technology – Pologne

En 2015, le Laboratoire des Sciences et du Climat et de l'Environnement (LSCE) s'est doté d'un SMA (spectromètre de masse par accélérateur), ECHO MICADAS permettant la mesure du ^{14}C d'échantillon sous forme solide en graphite via le système Age3, ou le banc de graphitisation GéGé, ou sous forme gazeuse en dioxyde de carbone (CO_2), via le GIS (Gaz Interface System). Par la suite, d'autres périphériques ont été installés afin d'analyser des échantillons de faibles masses (10-200 μgC) : un analyseur élémentaire couplé au GIS en 2016 pour les échantillons organiques, et, en 2021, un CHS (carbonate handling system), pour les carbonates et le CID (carbone inorganique dissous). Les protocoles de chimie et/ou d'extraction du CO_2 ont été adaptés, en fonction de la nature de l'échantillon, de la masse et de l'âge attendu, lorsque cette information est disponible.

Ces couplages d'instruments de dernière génération ont permis de faciliter grandement les analyses des petits échantillons (<200 μgC), que ce soit pour des applications archéologiques ou environnementales. Le travail présenté ici, montre à travers les résultats obtenus sur des matériaux de référence un état des lieux sur la faisabilité technique de la datation des micro-échantillons, que ce soit de la matière organique (charbon, ossement, bois, composés spécifiques...) ou des carbonates (spéléothèmes, biocarbonates), et sur les limites actuelles de ces analyses.

Mots-Clés : Datation, Radiocarbone, Microéchantillons, MICADAS

Coordination : Pauline Debels, Maxime Rageot, Caroline Robion Brunner

Les expérimentations et les enquêtes ethnographiques contribuent en archéologie à la compréhension des faits techniques et permettent une réflexion sur les dynamiques sociales. Ces deux disciplines peuvent être définies comme une « science des référentiels » (Roux, 2007). En construction permanente, ces référentiels reposent sur des méthodes d'enquêtes et des protocoles expérimentaux rigoureux et dont la diffusion auprès de la communauté scientifique relève de la responsabilité de ses créateurs. Ces recherches peuvent porter sur les stratégies d'acquisition, les méthodes de transformation des matériaux, les moyens techniques de production et le fonctionnement des objets, ainsi que sur les processus post-dépositionnels. Dans le cadre de cette session, nous encourageons d'une part les contributions portant sur les protocoles expérimentaux et les méthodes d'enquêtes ethnographiques, en détaillant leurs objectifs et leurs limites. D'autre part, les contributions qui portent sur les applications aux contextes archéologiques seront favorisées. Dans quelles mesures les études ethnographiques et les expérimentations peuvent-elles dépasser les observations techniques pour contribuer aux réflexions socio-économiques ? Quels liens peut-on faire entre la culture matérielle, les gestes techniques et les phénomènes culturels ?

Cet appel à contribution concerne tous les matériaux (métalliques, lithiques, biologiques/organiques, céramiques) ainsi que toutes les méthodes d'exploitation de ces données (étude des chaînes opératoires, analyses physico-chimiques, études macro et microscopiques et traitements statistiques), tout en favorisant les approches interdisciplinaires.

Mots-clés : Expérimentations, Ethnoarchéologie, Techniques, Protocole expérimental, Milieux actualistes, Référentiels, Chaîne opératoire

Regards croisés sur l'architecture de terre : genèse et développement d'un programme ethnoarchéologique à Djibouti, province de Dikhil

Emmanuel Baudouin ¹, Quentin Aubourg ², Jessie Cauliez²

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR7264 – France

² TRACES – CNRS, Université de Toulouse Jean-Jaurès, UMR5608 – France

Ce programme en domaine actualiste sur l'architecture de terre en République de Djibouti trouve ses origines dans une recherche archéologique conduite depuis 2012 sur les échanges techniques en architecture en Mésopotamie et dans le Caucase du Néolithique au Chalcolithique (6e-5e millénaire). À partir d'une étude typo-technologique de l'habitat, il a été possible de distinguer des phénomènes d'invention, de diffusion et d'emprunts que nous avons pu associer à des moments de cohésion ou au contraire de profonde rupture au sein des ensembles culturels considérés. Ces travaux sur le temps long apportent des résultats significatifs sur les transferts de traits techniques et stylistiques. Dans une autre mesure, des changements rapides (modification des modules de briques, accélération de la reconstruction des maisons) ont pu être définis par le recours à des analyses bayésiennes des dates par le radiocarbone comme à Göytepe (Azerbaïdjan). Ces résultats offrent des pistes de réflexion sur la question des changements techniques en architecture et des rythmes d'occupation des établissements villageois.

Toutefois, la seule approche archéologique ne rend pas possible l'interprétation des faits matériels d'un point de vue sociologique et historique (arrivée de populations, processus d'acculturation par exemple) et plusieurs problèmes restent en suspens : quelles sont les dynamiques à l'origine de l'innovation ou des diffusions techniques ? Se superposent-elles à celles d'autres composantes de la culture matérielle (lithique, céramique...) ? Par extension, les frontières techniques se surimposent-elles aux périmètres sociaux et lorsqu'elles évoluent sont-elles le fruit de profondes fractures sociales, économiques ?

La mise en place d'un programme ethnoarchéologique sur les mécanismes de la transmission des connaissances en architecture s'est imposée comme une nécessité afin de répondre à ces interrogations. L'élaboration d'un référentiel actualiste sur les conditions de l'innovation, de l'emprunt et de la diffusion vise à apporter des clés d'interprétation socio-culturelles à l'étude des ensembles archéologiques. Un premier travail ethnographique a été mené dans le district de Dikhil (Djibouti) au sud-ouest du pays où l'architecture traditionnelle des groupes Afars et Issas (Somalis) a pu être observée. Ce terrain offre la possibilité de documenter auprès de sociétés d'éleveurs installées en petits villages ou dans des habitats dispersés la pratique d'une architecture dite vernaculaire toujours vivante – bien qu'en danger de disparition – et de pouvoir dialoguer avec des constructeurs et des propriétaires de maisons en terre. Quatre objectifs orientent notre recherche : 1) documenter des techniques traditionnelles en voie d'extinction dans une optique de patrimonialisation ; 2) pister les techniques de construction

au sein des groupes concernés afin de reconstituer les chaînes opératoires; 3) expliquer les diversités techniques en termes de périmètres sociaux ou écologiques afin de générer des modèles sur les processus de transmission des techniques; 4) comprendre les mécanismes d'apprentissage et d'échanges techniques (emprunt, diffusion, innovation) en architecture de terre au sein des groupes étudiés.

Le propos de cette communication sera de présenter notre positionnement dans la démarche ethnoarchéologique, ainsi que l'élaboration de notre méthode d'enquête ethnographique. Nous apporterons également les premiers éléments de réflexion à partir des résultats collectés sur le terrain afin de présenter les limites et les perspectives offertes par ce travail dans la Corne de l'Afrique.

Mots-Clés : Architecture, Mécanismes d'apprentissage, Echanges techniques, Archéologie, Néolithique, Orient, Caucase, Ethnoarchéologie, Corne de l'Afrique, Djibouti

The puppet knapper method : experimentally disentangling knapping know-how to test the ability to impose form in knapping-naive humans

Nolan Ferar ¹, Elena Moos ², Alexandros Karakostis ³, William D. Snyder ⁴, Mark Moore ⁵, Claudio Tennie ⁴

¹ Interdisciplinary Center for Archaeology and the Evolution of Human Behaviour – Portugal

² Institute of Prehistory, Early History and Medieval Archaeology, University of Tübingen – Allemagne

³ Paleoanthropology, Department of Geosciences, Senckenberg Centre for Human Evolution and Palaeoenvironment, University of Tübingen – Allemagne

⁴ Department of Early Prehistory and Quaternary Ecology, Eberhard Karls University of Tübingen – Allemagne

⁵ Archaeology and Palaeoanthropology/Stone Tools and Cognition Research Hub, University of New England – Australie

Experimental knapping studies represent one source of insight into the cognitive and cultural implications of stone tool production. Producing a lithic artifact requires the application of two distinct kinds of knapping know-how: technical know-how (i.e., the perceptual-motor skills required to predictably remove flakes; *savoir faire*), and the abstract thinking and hierarchical planning towards imposing a particular form onto stone (i.e., *connaissance*) (Pelegriin, 1993).

Some experimental knapping studies employ novice knappers, who are naïve with respect to both kinds of know-how, while others make use of expert modern knappers. In the latter case, knapping *savoir faire* and *connaissance* have both already been learned, remain deeply intertwined, and cannot be suppressed. Thus, the ability to exhibit or learn either kind of know-how cannot be tested individually. Therefore, we developed an experimental protocol – the puppet knapper method – that disentangles these two kinds of know-how, by making one individual solely responsible for each.

So doing enables archaeological and evolutionary questions to be investigated in new ways. For example, the notion of “imposed form” in the lithic record plays a central role

in discussions surrounding the origins of cumulative culture in humans. The reoccurrence of certain lithic forms (*e.g.*, Acheulean handaxes) is frequently taken as evidence that these forms were intentionally imposed, and that the know-how required to produce them was transmitted between hominins via social learning mechanisms that are unique to (or at least, relative to other extant apes, dramatically enhanced in) humans, such as imitation, teaching, and verbal instruction. The ability to faithfully transmit know-how between individuals underpins humanity's uniquely complex cumulative culture, by enabling cultural know-how to accumulate over time. The claim – widely assumed, but until recently untested – that imposing form onto stone by knapping *requires* cultural transmission therefore has implications that are difficult to understate: if true, then the first intentionally imposed lithic artifacts would mark the beginnings of modern human-like culture itself.

Our proof-of-concept study investigated whether the generalized ability to impose form requires cultural transmission using the puppet knapper method. Four knapping-naïve individuals (the “puppeteers”) were given the goal of replicating a series of 12 geometric target forms (unknown to the puppet) from hemispherical glass blanks. The puppeteers did not knap themselves, but rather sought to impose the target forms by directing an expert knapper (the “puppet”) where to remove material from the blank, one blow at a time. In this way, the expert knapper's technical know-how was effectively decoupled from her ability to conceive of and follow a hierarchical plan of action towards the goal of imposing form, which was solely the responsibility of the knapping-naïve individual. The cores produced were analyzed via a blind sorting task and geometric morphometric analyses. The results indicated that the puppeteers successfully imposed the target forms well above what would be expected by chance. As knapping-naïve individuals spontaneously exhibited the ability to impose form via the puppet knapper, this ability, whenever identified in the archaeological record, may not necessarily represent ‘smoking-gun’ evidence for the cultural-transmission of know-how, nor the beginnings of cumulative culture in the hominin lineage.

Pelegriin, J., 1993. A framework for analysing prehistoric stone tool manufacture

Keywords: Knapping experiment, Cognitive archaeology, Cultural transmission, Cumulative culture, Lithic technology

Anthropologie des techniques et tracéologies du quotidien : «lire» un outil avec les Évènes éleveurs de rennes de Iakoutie (Sibérie Orientale)

Nicolas Bureau¹

¹TEMPS – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, CNRS, UMR8068 – France

Il y a quelques années encore, Alain Testart se demandait «comment l'archéologie peut-elle utiliser l'ethnologie?». Ainsi faisant, il montrait que l'anthropologie et l'archéologie pouvaient être complémentaires, et permettaient de déterminer si, par exemple, un objet tel que l'herminette était un outil, ou un marqueur social (2006 : 386, 392). En séparant l'utile du social,

l'anthropologue prend cependant le risque d'examiner les techniques seulement en tant que telles, sans considérer les discours sur ces techniques. Pourtant, fabricant et utilisant des outils, les peuples étudiés discutent de leurs savoir-faire entre eux, et ont parfois des discours riches sur leurs pratiques. Ce sont ces discours que nous souhaitons interroger, afin de voir comment ils sont pleinement intégrés à un système technique, et comment ils contribuent à modifier la trajectoire et le devenir des objets concernés. Ainsi, cette présentation se veut être une tentative d'analyse conjointe de discours et de pratiques sur les techniques, dont la portée pourrait apporter un regard autre sur l'anthropologie des techniques et ses apports à l'archéologie.

À cette fin, nous considérerons le cas des Évènes de Iaktouïe, qui pratiquent un pastoralisme nomade et la chasse. À l'instar de nombreux peuples ayant une même économie de subsistance, ils possèdent un nombre d'outils assez limité, en raison de leur activité technique (Delaporte 1980), tout autant que des limites dues à leur mobilité (Sahlins 1972). Pour les éleveurs de renne de Sibérie, le couteau et le lasso sont au cœur du dispositif technique en raison de leur utilisation polyvalente. Au travers de la description de ces deux objets emblématiques des éleveurs de rennes du monde arctique, nous souhaitons tout d'abord mettre en valeur aussi bien les différentes techniques (savoir-faire) que les savoir-voir (Grasseni 2009) (cf Delaporte 1992) nécessaires à leur fabrication d'une part, et leur utilisation d'autre part. Outre leurs fonctions premières, ces outils sont également des objets que les Évènes lisent au quotidien. Tout comme ils lisent les empreintes dans la neige, ils analysent ces outils, en examinant fréquemment les nouvelles marques et traces laissées dessus suite à leur maniement dans des tâches quotidiennes, ce afin d'obtenir des renseignements sur la manière dont ils ont été manipulés, l'expertise de ceux qui les manipulent et, in fine sur le propriétaire de ces objets. En considérant ces différentes grilles de lecture, nous montrerons que celles-ci sont à la base de stratégies d'échanges particulières, qui organisent la vie sociale de ces objets (Appadurai 1989), à l'intérieur d'un groupe, à l'aune d'un village d'une part, et à l'échelle régionale.

Mots-Clés: Archéologie, Tracéologie, Anthropologie des techniques

La fabrication des vitriols au Moyen-Age: entre laboratoire et archéologie expérimentale

Clément Vuillard^{1,2}, Céline Rémazeilles², Florian Téreygeol^{3,4}, Véronique Rouchon¹

¹ CRC – MNHN, MCC, CNRS, CP21, UAR3224 – France

² LaSIE – UMR 7356 – CNRS – Université de La Rochelle – France

³ IRAMAT – CNRS – UMR 7065 – CEA – Université Paris-Saclay – France

⁴ NIMBE, DRF/IRAMIS, CNRS, UMR3685 – France

Les sulfates métalliques ont reçu, au cours des âges, plusieurs appellations génériques, en particulier le terme vitriol, largement véhiculé, en occident, du Moyen Âge à l'époque moderne. Ils ont été largement utilisés, depuis l'antiquité, pour les teintures des tissus, la tannerie des cuirs et sont souvent cités en pharmacopée pour leurs propriétés astringentes.

Une autre utilisation du vitriol, lorsqu'il contient du fer, est la fabrication d'encre métallurgiques noires. On considère souvent, de manière un peu réductrice, qu'il correspond alors à de la mélanterite ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), un sulfate de fer II heptahydraté qui se forme assez aisément en laboratoire par précipitation d'une solution de sulfate de fer en conditions acides. Ce sulfate de fer a pour particularité de pouvoir incorporer des cations métalliques dans des proportions variables si bien qu'une mélanterite peut contenir d'autres métaux. Des analyses élémentaires menées au cours de travaux antérieurs sur des manuscrits anciens de l'époque médiévale et moderne montrent des encres qui peuvent inclure, outre le fer, du cuivre, du zinc et parfois même du plomb, en quantités significatives, voire parfois supérieures au fer. Ce travail vise à mieux définir ce que pouvait être, au Moyen Âge, le vitriol employé pour la fabrication des encres d'écriture. Il s'agit en particulier d'identifier en quelles proportions cuivre et zinc peuvent se substituer au fer dans la mélanterite, et de mieux caractériser les différentes phases minérales qui peuvent-être obtenues à partir de mélanges de solutions saturées comprenant fer, cuivre et zinc.

La démarche expérimentale s'appuie sur les procédés décrits par Georgius Agricola dans le *De Re Metalica*, livre XII (1556). Les protocoles de synthèse qui y sont décrits ont tout d'abord été transposés en conditions de laboratoire. Puis, dans un second temps, des conditions plus fidèles aux descriptions d'Agricola ont pu être appliquées au cours de synthèses réalisées sur la plateforme d'archéologie expérimentale des mines d'argent de Melle (79). Les cristaux synthétisés ont été analysés par diffraction des rayons X et par spectrométrie de fluorescence des rayons X. Une méthode analytique a été développée pour quantifier et cartographier de manière non invasive, par imagerie XRF, avec une résolution de 100 μm , les proportions et la répartition des ions métalliques incorporés dans les cristaux. Elle a permis d'explorer les phases cristallines qu'il était possible d'obtenir avec les savoir-faire médiévaux. Sur la plateforme de Melle, les expérimentations ont été menées dans un chaudron en plomb pour mieux se rapprocher des processus décrits par Agricola. Cette démarche nous a donné des pistes pour mieux comprendre l'origine du plomb détecté dans certaines encres médiévales. Il a été confirmé que, contrairement au zinc et au cuivre, le plomb ne pouvait être incorporé dans le réseau des cristaux formés. On le retrouve en revanche dans les boues marron qui se déposent dans le fond du chaudron, ce qui ouvre des discussions sur une valorisation possible, par les fabricants d'encres, des produits les moins nobles des synthèses de vitriol.

Mots-Clés: Archéologie expérimentale, Méthode analytique quantitative, Vitriol, Fer, Zinc, Cuivre, Plomb, Encre métallo gallique, Fabrication, Mélanterite

Identifier le contenu des céramiques: une expérimentation tracéologique sur des poteries actuelles de tradition bedik (Sénégal)

Pauline Debels ^{1,2}, Rueff Bastien ^{3,4}, Roberto Vargiolu⁵, Haris Procopiou³, Hassan Zahouani ⁵, Anne Mayor ¹

¹ Laboratoire d'archéologie et peuplement de l'Afrique, Université de Genève – Suisse

² Trajectoires, CNRS/Université Paris 1, UMR8215 – France

³ ArScAn – Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, CNRS, UMR 7041 – France

⁴ École française d'Athènes – France

⁵ LTDS, Ecole Centrale de Lyon, CNRS, UMR 5513 – France

Dans le cadre d'un projet de recherche portant sur les pratiques alimentaires des derniers siècles en Afrique de l'Ouest (FNS Sinergia *Foodways in West Africa*), plusieurs villages ont fait l'objet d'une étude approfondie visant à comprendre la fonction des poteries actuelles et anciennes en Pays bedik (Sénégal oriental). Des enquêtes ethnographiques ont notamment été conduites dans le village d'Iwol, tandis qu'une opération de fouille a été menée en 2022 dans le village proche d'Eguong, abandonné au début du XXI^e siècle.

Afin de comprendre les traces d'usures observées sur les récipients en céramique, un corpus expérimental a été généré dans l'objectif de mieux caractériser les contenus, les matières, les instruments et les gestes qui forment des abrasions. Trois poteries actuelles neuves provenant du village d'Iwol ont ainsi été remplies de denrées consommées dans la région : l'eau, le beurre de karité et la pâte de farine grossière de sorgho. Une cuillère en bois bedik a été utilisée pour remuer le contenu pendant deux sessions de 30 minutes chacune. D'abord observés à l'œil nu, les états de surface ont ensuite été examinés et mesurés à l'aide d'une optique 3D. La rugosité a été mesurée avant, pendant et après chaque opération, afin d'analyser la formation et l'évolution des traces, qui ont ensuite été complétées par des observations au microscope optique. Enfin, les états des surfaces ont été caractérisés par la méthode des ondelettes continues. Ce référentiel expérimental sera utilisé pour l'interprétation des traces observables sur les céramiques archéologiques du site d'Eguong.

Cette approche a mis en évidence une différence notable dans la morphologie, l'intensité et la vitesse de formation des traces en fonction des contenus. Elle montre qu'une démarche expérimentale couplée à des méthodes de pointe dans le domaine de la métrologie de surface se révèlent essentielles pour identifier le contenu des céramiques. Cette étude offre ainsi un développement méthodologique majeur pour les études tracéologiques, qui sont encore peu appliquées au mobilier céramique, et les résultats préliminaires obtenus sont prometteurs pour l'interprétation en contexte archéologique.

Mots-Clés : Céramique, Tracéologie, Abrasion, Expérimentation, Référentiel, Fonction

Expérimenter en contexte ethnographique : limites et apports de cette double approche. L'exemple de la reproduction d'une larnax minoenne en collaboration avec des artisans potiers crétois

Sarah Georgel-Debedde ¹

¹ ArScAn – Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, CNRS, UMR 7041 – France

Expérimentation et Ethnoarchéologie sont deux approches souvent liées, en raison de leur potentiel à la création de référentiels susceptibles d'aider à l'interprétation des vestiges du passé. Pour cette raison, il n'est pas rare que l'archéologue applique une démarche double,

à la fois expérimentale et ethnoarchéologique, dans le but d'interpréter des vestiges, des structures, des objets ou restituer des procédés techniques et leur mise en action.

Ainsi, si en théorie l'application de cette double démarche se justifie dans le cadre d'une problématique archéologique, la pratique met cependant en lumière certaines difficultés dans la mise en place d'un protocole à la fois expérimental et ethnoarchéologique, et ce, particulièrement dans le cadre d'une récréation pratiquée en contexte ethnographique. Il faut notamment considérer le risque que chacune des deux démarches puisse influencer l'autre : le protocole expérimental, fondé sur des observations archéologiques, peut-il s'intégrer au sein d'un contexte ethnographique caractérisé par des traditions culturelles spécifiques ? *A contrario*, ne risque-t-on pas d'influer sur les manières de faire d'un groupe en lui soumettant un protocole, et biaiser ainsi la démarche d'analogie ? Démarche expérimentale et ethnoarchéologique, bien que partageant des objectifs communs, ne reposent-elles pas finalement sur des principes que l'on pourrait qualifier d'antithétiques, dans le fait de chercher, d'une part, à tester des hypothèses spécifiques, issues des observations archéologiques, d'autre part, à mettre en avant une certaine spontanéité des actions observées, traduisant des traditions culturelles ? Cette communication propose d'aborder ces questions à travers l'exemple d'un projet, visant à la reconstitution d'une *larnax*, sarcophage en terre cuite caractéristique de la culture minoenne (ou Âge du Bronze crétois, 3500/3250 – 1100 av. J.-C.), mené en collaboration avec des artisans. Il a pour objectif de répondre à une interrogation archéologique sur le contexte de production de ces artefacts, et s'appuie notamment sur l'expertise d'artisans potiers du village crétois de Margaritès, connu comme l'un des derniers centres de production potière de l'île. Il s'agit ainsi, dans un premier temps, de réfléchir à l'élaboration d'une méthodologie adéquate qui, tout en n'ignorant pas les limites de cette démarche double, à la fois expérimentale et ethnoarchéologique, en considère également les apports. Comment intégrer le facteur humain aux règles parfois strictes de l'expérimentation, et quel va être son impact sur les hypothèses formulées par l'archéologue ? Dans un second temps, nous proposons d'illustrer, à travers des exemples concrets, la manière dont l'application de ces deux approches combinées peut permettre de fournir des hypothèses de travail sur la mise en action des techniques employées au cours des différentes étapes de la chaîne opératoire de fabrication des *larnakès* (procédés techniques et solutions adoptées par les artisans potiers, outils, gestes et positions du corps) et sur leur cadre de production (espace de production et organisation sociale des artisans).

Mots-Clés : Expérimentation, Ethnoarchéologie, Artisans, Méthodologie, Limites, Larnax, *Larnakès*, Minoen, Minoenne

Ten years after : New experiments in anthracology aimed at discriminating the combustion of dry vs. green wood

Aurélie Liard¹, Peter Goebel², Dave Rhode³, Chiranjivi Bhattarai³, Hans Moosmüller³, Auréade Henry¹

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

² University of Idaho – États-Unis

³ Desert Research Institute – États-Unis

Radial shrinkage cracks (RC) on charcoal were traditionally interpreted by anthracologists as resulting from the combustion of green wood until an experimental study showed that RC also form in seasoned wood (Théry-Parisot, 2001). Studies from ten years ago suggest the existence of a relationship between the number and size of RC and the moisture content of the wood prior to combustion (Théry-Parisot & Henry, 2012): smaller and more frequent RC tend to appear on wood that was charred green. Although these first observations on European *Pinus* sp. were confirmed by another experiment on two Patagonian conifers species (Caruso-Fermé *et al.*, 2018), work in this field is still exploratory as there is little reference material and significant anatomical variation between taxa.

Recent microscopic analyses of archaeological charcoal from the prehistoric site of Bonneville Estates Rockshelter (Eastern Nevada, USA) have revealed disparities in the occurrence of RC. The data suggest a differential use of green wood throughout time potentially due to changing environmental conditions, hearth functions or cultural choices.

In order to assess if the observed changes do reflect a differential use of woody resources over time, an experimental reference collection was created from the two species most frequently identified in the archaeological charcoal: big sagebrush (*Artemisia tridentata*) and green ephedra (*Ephedra viridis*). More than fifty experimental combustions with green and dry wood were carried out with the first in controlled settings in a muffle furnace at different temperatures (300, 500 and 750 C) and then in open hearths where the temperature was monitored using thermocouples. This experimental reference dataset is currently being analyzed. Different analytical devices for counting and measuring RC both on charred wood disks and charcoal fragments are being tested. If the results show significant differences between green and dry wood combustions, then the methodology will be applied to the archaeological charcoals from Bonneville Estates Rock-shelter.

In this presentation (i) we present the results of our experimental study and (ii) their applicability to archaeological charcoal.

Keywords: Experimentation, Charcoal Analysis, Radial Shrinkage Cracks, Nevada, Ephedra, Artemisia

Origine géologique et gîtologique des quartz: quelles influences sur les propriétés mécaniques et l'aptitude à la taille ?

Océane Spinelli Sanchez¹, Michel Brenet^{2,3}, François-Xavier Le Bourdonnec¹, Anne Delagnes²

¹ Archéosciences Bordeaux – UMR 6034 – Université Bordeaux Montaigne – France

² PACEA, UMR 5199, Université de Bordeaux, CNRS – France

³ INRAP – France

Les expérimentations de débitage du quartz par percussion sont en général issues d'un même constat : la fracturation souvent imprédictible du quartz complexifie l'identification des pièces archéologiques et des méthodes de taille mises en œuvre. L'attention est souvent portée sur les processus techniques de débitage comme facteur unique permettant de comprendre les caractéristiques techno-morphologiques des assemblages. Pourtant, et malgré la forte diversité macroscopique du quartz (grains, opacité, présence de minéraux secondaires), le choix des quartz testés en expérimentation n'est que rarement décrit ou justifié. Le rôle de la matière première est le plus souvent limité à la question de son origine gîtologique. Dans quelle mesure la qualité de la matière première conditionne-t-elle les possibilités de taille ? Les expérimentations de débitage menées dans le cadre de ce projet ont pour but d'interroger la variabilité des propriétés mécaniques et les facteurs contrôlant l'aptitude à la taille des quartz, à partir d'une série de blocs et de galets prélevés dans la vallée du Chassezac (Ardèche, Lozère et Gard). Ces échantillons, identifiés et caractérisés sur le terrain par une équipe interdisciplinaire, se distinguent par la grande diversité de leur processus de formation et de leur habitus selon leur position gîtologique. Quelles corrélations existe-t-il entre diversité géologique et gîtologique, aptitude à la taille et caractéristiques techno-morphologiques des assemblages taillés ?

Mots-Clés : Quartz, Géologie structurale, Taille expérimentale, Propriétés mécaniques

Le charbonnage en fosse : approche d'une pratique méconnue et impacts environnementaux dans le Rif marocain

Aline Durand ¹, Vincent Bernollin ², Hamid Arioua ³, Hassan Daide ³

¹ CReAAH – CNRS, Université du Maine, UMR6566 – France

² Archéologie et Philologie d'Orient et d'Occident, ENS Paris, EPH, CNRS, UMR8546 – France

³ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah USMBA de Fès – Maroc

Dans la société médiévale, la fabrication du charbon de bois est l'une des sources d'énergie essentielles pour transformer les matières premières. Si la fabrication du charbon de bois en meule commence à être mieux étudiée, celle du charbon de bois en fosse est demeurée longtemps dans l'ombre. En Provence, depuis une quinzaine d'année, l'archéologie préventive a mis à jour des fosses identifiées comme des fours enterrés pour fabriquer du charbon de bois et datées des VII^e-XII^e s. Afin de mieux les comprendre et d'évaluer l'impact de cette pratique productive sur l'environnement, une recherche ethnoarchéologique a été conduite. Le choix du Rif marocain s'est imposé parce que cette pratique y a encore cours et parce que les milieux biogéographiques sont identiques (étage bioclimatique mésoméditerranéen) et donc, de part et d'autre de la Méditerranée, comparables. Le travail d'observation sur le terrain a consisté à suivre 17 cuissons en fosse dans la même région afin d'observer l'ensemble de la chaîne opératoire technique depuis l'acquisition de la matière première jusqu'à l'obtention du produit fini et d'enregistrer les variantes en fonction des pratiquants. Outre le minutage du temps technique de l'ensemble des différentes opérations, un enregistrement

selon les méthodes de l'archéologie des fosses avant et après le processus de cuisson a été réalisée. La matière ligneuse a été pesée avant sa mise en fosse et la quantité de charbon de bois obtenue également afin de pouvoir calculer les rendements pour chaque cuisson. L'aire spatiale de ce prélèvement sur l'environnement peut être ainsi approchée grâce au relevé topographique systématique de tous les arbres sur lesquels la matière végétale mise à pyrolyser a été prélevée.

Mots-Clés: Charbonnage en fosse, Ethnoarchéologie, Rif, Chaîne opératoire technique, Impact environnemental

Peut-on parler de « socioarchéologie » ? Réflexion menée à partir d'un programme expérimental sur la chaîne opératoire du bois de construction protohistorique dans le sud des Balkans

Paul Bacoup^{1,2}

¹ ArScAn – Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, CNRS, UMR 7041 – France

² Projet TiMMA, Agence Nationale de la Recherche

Lorsqu'on parle de protocole expérimental en archéologie, une question revient souvent : qui doit pratiquer l'expérimentation ? Au sein de la littérature, les avis divergent sur la question. On lira très souvent qu'il est nécessaire d'expérimenter avec des professionnels actuels, travaillant dans les domaines héritiers des activités anciennes étudiées. Pourtant, dès les premières expérimentations, menées au 19^e siècle, les archéologues constataient déjà les biais soulevés par la participation de ces professionnels modernes à des expériences sur les techniques anciennes, et particulièrement sur celles des périodes pré- et protohistoriques : mouvements non adaptés aux outils, volonté de rentabilité non compatible, etc.

Comment alors mener une expérimentation en étant certain que ceux qui la réalisent et leurs niveaux de compétences permettent d'obtenir des résultats fiables ? Une solution apparaît : expérimenter avec des personnes qui pratiquent les activités testées, avec des techniques et des outils identiques à ceux des périodes étudiées. Cette expérimentation pourrait par exemple être réalisée par des individus issus de sociétés traditionnelles qui usent encore de ces techniques et dont l'étude relève de l'ethnoarchéologie. Elle pourrait également associer des individus évoluant dans la société dite moderne, qui utilisent des techniques anciennes depuis assez longtemps pour avoir acquis un savoir-faire proche de celui des experts des époques considérées. C'est l'intérêt porté à ces individus dont il sera question dans cette communication.

Lors d'un programme expérimental mené pendant un an sur la chaîne opératoire du bois de construction de la fin du Néolithique dans le sud des Balkans, nous avons demandé la participation de deux individus travaillant depuis plusieurs décennies avec des haches polies. D'autres personnes, réparties sur quatre niveaux d'expérience (dont celui de l'utilisation récurrente de haches modernes) ont participé aux mêmes tâches. En plus de l'approche « classique » expérimentale réalisée (temps de travail, techniques, efficacité en fonction de

l'expérience, etc.), une étude, fondée sur des protocoles ethnographiques déjà éprouvés, a été réalisée sur l'ensemble des expérimentateurs et a permis d'analyser leurs gestes, leurs postures, leurs ressentis et leurs savoir-faire, mais également la transmission des connaissances et les processus d'apprentissage des novices. Cette étude nous a donc permis de proposer quelques réflexions sur des notions sociales et sensorielles importantes pour la compréhension globale des sociétés protohistoriques, en dépassant les seules observations techniques couramment obtenues grâce à l'expérimentation en archéologie.

Mots-Clés: Bois, Compétence, Expérimentation, Néolithique, Protocole, Savoir faire, Transmission

Mesurer et cartographier la propagation du son des cloches d'églises médiévales du Danemark : de l'archéologie expérimentale au paysage sonore

Angela Baranes¹, Sacha Besson

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM – France

Dans le cadre d'une recherche doctorale en histoire et archéologie du Moyen Âge, j'étudie l'implantation des lieux de culte chrétiens dans le royaume du Danemark au lendemain de la conversion (XI^e-XIII^e siècles). Je m'intéresse aux stratégies et aux effets de la construction d'églises sur le territoire vernaculaire et sa population qui devait alors se rendre régulièrement aux lieux de culte. L'usage des cloches comme outil de contrôle religieux, social et territorial des paroissiens constitue un des angles de cette enquête. Si l'étude des paysages sonores en France se développe depuis les années 1990, ce n'est que récemment que des chercheurs proposent des analyses spatiales de propagation du son des cloches depuis les églises (D. Mlekuz, 2004; N. Poirier, 2016). Toutefois, ces deux études se fondent sur des calculs discutables : le volume sonore et la réponse en fréquences des cloches, qui n'ont pas été conservées, sont hypothétiques. Au Danemark, un certain nombre de cloches du début du Moyen Âge (XII^e-XIII^e siècles) sont conservées au sein des églises (F. Uldall, 1906; Danmarks Kirker). En juin 2022, en collaboration avec Sacha Besson, ingénieur du son, nous avons sonné quatre cloches in situ (églises d'Hjembæk, de Lellinge, de Magleby et de Ringsebølle) et mesuré leurs propriétés sonores à l'aide d'outil et de logiciel audio. Le protocole expérimental, établi en amont pour reconstituer les conditions médiévales de sonnerie des cloches, a fait face à des limites inhérentes à l'usage sur la longue durée de ces artefacts (modification de l'état médiéval de la cloche, sonnerie automatisée et/ou régulée pour certaines dans un souci de conservation). Les propriétés sonores enregistrées sur le terrain dépassent largement les propriétés théoriques estimées par les études précédemment citées (différence de 30 à 40 décibels). Il faudrait, dans les prochaines années et de manière collective, élargir ce référentiel à l'échelle de l'Europe afin de comparer les sonneries, dont les propriétés varient certainement en fonction de la taille et des matériaux de la cloche mais

aussi du lieu et de l'époque de sa production. Avec ces mesures sonores, il a été possible de modéliser la propagation du son dans l'espace, à la fois par le biais de calculs mathématiques connus en acoustique mais aussi du logiciel SIG et d'un plugin d'ArcGis développé par des écologues (SPreAD-GIS), permettant l'intégration de l'information topographique. Certains facteurs ayant une influence sur la manière dont le son se propage dans l'espace (température, humidité) ont été pris en compte, à l'aide de recherches paléoenvironnementales établies. D'autres ont été écartés par rareté des données (couvert végétal, vent). Cette modélisation constitue une couche supplémentaire du SIG développé pour le projet doctoral, affichant les églises, les habitats et les routes médiévales identifiés par l'archéologie et des cartes historiques. Il est dès lors possible d'approcher le paysage sonore des médiévaux dont la vie était rythmée par le son des cloches. Ainsi, l'expérimentation et la cartographie sont des moyens pour proposer une reconstitution du paysage dans sa dimension multi-sensorielle, dont les propriétés sonores demeuraient insaisissables pour l'archéologue.

Mots-Clés: Archéologie expérimentale, Paysage sonore, Analyse spatiale, Cloche, Eglise, Territoire, Moyen Âge

Approche croisée sur les flux d'énergie lors de la mouture du minerai : l'exemple du moulin de Castel-Minier (XV^e s.)

Florence Maqueda^{1,2}, Nicolas Florsch¹, Florian Téreygeol²

¹ UMI 209 UMMISCO Sorbonne Université – Université Pierre et Marie Curie – Paris 6 – France

² LAPA-IRAMAT/NIMBE – CNRS – UMR 7065 – CEA – Université Paris-Saclay – France

Le moulin est sûrement un des premiers exemples de mécanisation du travail et de transformation de l'énergie. Derrière ce terme unique se cache une grande variété d'objets. Le moulin peut être actionné par différentes sources d'énergie, ainsi il peut être à eau, à sang ou à vent. Pourtant, indépendamment de l'élément qu'il traite (blé, minerai, écorce...), le mode opératoire se devine facilement. Mais rares sont les exemples permettant d'avancer des données quantitatives et de proposer une approche énergétique complète.

À travers un exemple, celui de Castel-Minier, nous nous proposons de montrer, grâce à une approche transdisciplinaire croisant sources archéologiques, sources écrites, expérimentation et sciences des systèmes complexes, ce dont le moulin est capable d'un point de vue énergétique, et donc de puissance. Lors de la fouille de cet atelier métallurgique actif du XIII^e siècle au XVI^e siècle, les vestiges d'un moulin ainsi que des meules ont été mis au jour. Il s'agit d'un appareil hydraulique visant à broyer le minerai. Il est actionné par la force gravitaire de l'eau grâce à une roue par-dessous. Celle-ci entraîne des engrenages constitués à minima d'une roue dentée et d'une lanterne, transmettant le mouvement à la meule.

Les études mêlant sources archéologiques et modélisation multi-physique sont rares et ne présentent qu'une partie du système du moulin (Pujol *et al.*, 2010). Notre méthodologie se veut plus large, le point de vue énergétique permettant de lier chacun des sous-systèmes composant le moulin tandis que l'introduction de l'expérimentation offre des jeux de données inédits. Un autre intérêt de cette approche est de pouvoir interpréter avec un point de vue mécanique les données fournies par les sources écrites. On se rend compte ainsi de l'écart pouvant exister entre des valeurs données par la bibliographie et la réalité fonctionnelle (Comet, 1992).

Avec Castel-Minier, nous disposons d'informations sur les dimensions et la géométrie de l'appareil, tandis que les sources écrites plus tardives fournissent un précieux témoignage sur l'ensemble de la machine (Agricola, 1556). Cependant ces sources seules ne sont pas suffisantes pour avoir une compréhension quantitative du système. L'étude du moulin comme un système complexe permet de combler ces lacunes. Les interactions entre expérimentation, physique appliquée et modélisation numérique, et plus précisément la modélisation multi-physique par éléments finis, donnent lieu à un modèle énergétique qui, à terme, rejoindra une réflexion plus générale sur les systèmes de productions métallurgiques médiévaux et leur flux d'énergie.

Agricola, G., 1556. De Re Metallica. Forben, Bâle.

Comet, G., 1992. Le Paysan et son outil. Essai d'histoire technique des céréales (France, VIII^e-XV^e siècle). Publ. L'École Fr. Rome 165, 416–429.

Pujol, T., Solà, J., Montoro, L., Pelegrí, M., 2010. Hydraulic performance of an ancient Spanish watermill. Renew. Energy 35, 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.033>

Mots-Clés: Moulin, Energie, Modélisation multi-physique, Expérimentation

La préservation du signal isotopique des céréales archéologiques et mise en place de référentiels d'interprétations

Sammy Ben Makhad¹, Marie Balasse¹, Mònica Aguilera², Denis Fiorillo¹, Véronique Mattered¹

¹ AASPE – CNRS, MNHN, UMR7209 – France

² Department of Crop and Forest Sciences, Universitat de Lleida – Espagne

Depuis une vingtaine d'années, les archéologues s'intéressent de plus en plus aux analyses biogéochimiques appliquées aux restes archéobotaniques. Ces matières organiques sont actuellement moins étudiées que les restes archéozoologiques, pour lesquels des critères de préservation chimique ont pu être établis. Pour les restes fauniques, la qualité de préservation du collagène est évaluée par les teneurs en azote et en carbone ainsi que par le rapport atomique carbone/azote. Ces critères sont aussi proposés pour les restes végétaux, même si les plages de valeurs garantissant la conservation des grains de céréales ne sont pas encore fixées. Dans le cadre d'une thèse récemment soutenue sur la gestion de la fertilité des sols, un important corpus de céréales archéologiques (du second âge du Fer et de la période romaine en France) a pu être rassemblé et a servi à réaliser plusieurs centaines d'analyses isotopiques inédites ($\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$). Ces analyses ont pu être comparées à celle déjà publiées d'un référentiel de céréales expérimentales actuelles, carbonisées ou non, afin d'évaluer l'état de préservation de leur signal chimique. Il a ainsi pu être démontré que la composition élémentaire des céréales carpologiques restait semblable à celles des céréales modernes et que les siècles d'enfouissement n'ont pas affecté les vestiges organiques. Dès lors, les variations observées dans la composition isotopique des céréales archéologiques reflètent principalement leurs conditions de croissance et de carbonisation, et non pas les potentiels phénomènes post-dépositionnel. Cette thèse a ensuite été l'occasion de mettre en place une expérimentation de culture et d'établir un référentiel archéologique afin d'éclairer les interprétations de la composition isotopique en azote des restes carpologiques. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ sont généralement interprétées en termes d'usage de fumier, à partir d'expérimentation menées en plusieurs endroits d'Europe. La culture expérimentale que nous avons mis en place a permis de montrer que l'apport de fumier d'étable n'était pas la seule pratique agricole qui peut faire augmenter les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$, mais que le pâturage d'un troupeau de moutons et leurs déjections sur une parcelle avant sa mise en culture pouvaient aussi contribuer à des valeurs plus hautes de $\delta^{15}\text{N}$ des céréales. Les différentes formes que peuvent prendre les systèmes d'élevage et

les différentes manières d'apporter des matières fertilisantes aux champs peuvent désormais être prise en compte dans ces études.

Basées sur des expérimentations actuelles, les interprétations de la composition isotopique des restes organiques nécessitent de passer par un référentiel de valeurs isotopiques archéologiques qui, en ce qui concernent le sujet de la thèse, permettent de discriminer les plantes non fertilisées des céréales ayant reçu un apport de fertilisants. Ce référentiel a pour but de prendre en compte les variations des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ dues aux variabilités géologiques à l'échelle subrégionale. Pour cela, nous avons sélectionné un corpus de restes fauniques de cervidés, dont la composition isotopique en azote reflète celle de leur alimentation, à savoir les plantes sauvages, et qui a permis d'établir un niveau de base pour les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des céréales archéologiques.

Mots-Clés: Agriculture, Carpologie, Isotopes, Cultures Expérimentales, Référentiels Archéozoologiques

Les traitements par enduction, une étape de la chaîne opératoire céramique méconnue. Cas d'étude dans le Sud du Sénégal par approches macro-, mésoscopique et moléculaire

Maïlys Turini¹, Anne Mayor², Amadou Kane Beye³, Moustapha Sall³, Julien Vieugué⁴, Martine Regert¹, Léa Drieu¹

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR 7264 – France

² Laboratoire Archéologie et Peuplement de l'Afrique – Université de Genève, Suisse

³ Université Cheikh Anta DIOP – Sénégal

⁴ TEMPS – CNRS, Université Nanterre, UMR 8068 – France

Les études ethnographiques témoignent de la grande diversité de traitements de surface des céramiques par enduction avec un produit organique (Gosselain, 2002; Longacre, 2000; Schiffer, 1990). Cependant, cette étape de la chaîne opératoire céramique a été jusqu'à présent assez peu explorée et elle reste difficile à identifier en contexte archéologique. Des travaux ont été menés sur différents aspects de ces traitements pré- et/ou post-cuisson (les produits organiques utilisés, les modes d'application, etc.) mais nous n'avons pas encore une vision globale de son implication au sein de la chaîne opératoire. Il est crucial de caractériser ces traitements afin, d'une part, de documenter la chaîne opératoire de fabrication dans son intégralité, et d'autre part, de distinguer les matériaux organiques liés aux traitements de surface par enduction organique et ceux liés aux utilisations du récipient.

Face à ce verrou interprétatif, une étude exploratoire couplant à la fois les approches macrosopique, mésoscopique et moléculaire a été menée sur un matériel céramique ethnographique collecté sur le terrain dans le cadre du projet FNS SINERGIA franco-suisse « Foodways in West Africa: an integrated approach on pots, animals and plants ». Ce matériel provient de trois traditions céramiques du sud du Sénégal: la tradition Diola Kassa et la tradition Mandingue en Basse-Casamance et la tradition Bedik dans la région de Kédougou. Au

cours de ce travail, une méthodologie originale multi-échelles a été mise en œuvre. Tout d'abord, les récipients ont été observés à l'œil nu et à la loupe binoculaire dans le but de proposer une grille d'observation de ces traitements de surface par enduction de produit organique. Conjointement, des analyses séparatives (chromatographie en phase gazeuse – GC) et structurales (spectrométrie de masse couplée à la GC – GC-MS) ont été effectuées afin d'identifier les marqueurs moléculaires liés à ces traitements et d'évaluer leur degré d'absorption et de préservation, notamment face à l'usage du récipient, au sein des différents niveaux de parois céramiques.

Les résultats obtenus ont permis d'une part, d'établir des critères descriptifs pour la caractérisation visuelle de ces traitements de surface par enduction organique et d'autre part, d'appréhender les interactions entre le signal moléculaire lié aux traitements et celui lié à l'usage. Ils ont notamment montré que dans certains cas, le signal moléculaire lié à l'enduction des surfaces s'absorbait et se préservait dans les parois. Ces résultats incitent à la prudence lors de la caractérisation du contenu des céramiques par analyse de résidus organiques, mais ouvrent également la voie à l'étude de certaines étapes de la chaîne opératoire par des approches moléculaires.

Références bibliographiques

Gosselain O. P. (2002). Paris: CNRS Editions. 254 p.

Longacre W. A., Xia J., Yang T. (2000). *Journal of Archaeological Method and Theory*. Vol. 7, n 4, pp. 273-293.

Schiffer, M. B. (1990). *Journal of Archaeological Science*. Vol. 17, pp. 373-382.

Mots-Clés: Productions céramiques, Ethnographie, Traitements par enduction, Analyses séparatives et structurales, Sénégal

Frapper Monnaie pendant l'antiquité : Qu'en est-il du procédé de fabrication pour les monnaies en alliages cuivreux ?

Alexandre Bodet¹

¹ Archéosciences Bordeaux – Université Bordeaux Montaigne, UMR 6034 – France

Pour l'Antiquité, il existe aujourd'hui très peu de sources archéologiques et écrites concernant la fabrication monétaire. En l'absence de ces écrits et/ou vestiges archéologiques témoignant du procédé de fabrication il nous reste aujourd'hui l'objet final de cette chaîne opératoire : la monnaie. Etudier cet objet par observation métallographique, par microscopie optique et électronique à balayage, nous permet d'une part de retracer l'histoire métallurgique de ces matériaux et de comprendre les savoir-faire antiques mis en œuvre dans leur processus de fabrication. La nature des alliages réalisés par les artisans de l'époque est déterminée par spectrométrie de fluorescence X en complément de tests de dureté Vickers nous permettant d'appréhender l'impact de la frappe monétaire. L'étude de 135 monnaies en alliages cuivreux (Vème siècle av. J.-C. au IIIème siècle ap. J.-C), provenant du pourtour du bassin méditerranéen, permet déjà de mettre en avant des procédés de fabrication variés, de la mise

en forme simple à des chaînes opératoires plus complexes. L'une des hypothèses répandues est l'utilisation et la diffusion de la technique de coulée en chapelets pour fabriquer des flans (pastille de métal) puis la frappe monétaire pour y imprimer les types et légendes. Technique simple à mettre en œuvre pour l'Antiquité. Cette étude permet de vérifier cette hypothèse et également de mettre en avant l'utilisation de procédés plus complexes. Cela soulève alors des questions sur l'intérêt et l'objectif de mettre en place ce types de procédés pour les artisans de l'époque. Au vu de la répartition géographique de nos échantillons observe-t-on des similarités entre leurs régions et années d'émissions? Qu'en est-il de cette répartition en fonction de leurs catégories et des différents procédés mis en avant? L'archéologie expérimentale peut permettre de répondre à certaines de ces questions. En effet, dans un objectif de rendre compte des savoir-faire et des gestes qui ont pu être employés au cours de la chaîne de fabrication monétaire, des expérimentations ont été mises en place sur la plateforme archéométallurgique et Arts du Feu de Melle (79). Ces dernières ont pour but de vérifier l'applicabilité et la mise en œuvre de certaines étapes révélées par les analyses préalables. Elles ont également permis de tester des hypothèses de traitements (mécaniques, thermiques) qui ont pu intervenir dans la chaîne opératoire de fabrication monétaire telle que la trempe, la surfrappe ou encore la frappe à chaud (encore débattu aujourd'hui). Cela dans un objectif de venir comparer (en termes de microstructures et dureté) les résultats obtenus en expérimentations aux échantillons archéologiques et de valider ou non la mise en œuvre de ces traitements.

Mots-Clés: Savoir-faire, Monnaies, Alliages cuivreux, Microstructures, Chaîne opératoire

Methodology to evaluate the function of an archaeological artefact as a throwing stick

Luc Bordes¹

¹ CNRS, UMR 5608 – TRACES – France

Beyond the fascination for the returning type (boomerang), throwing sticks multiple uses have often been underestimated among others prehistoric projectiles and tools. Due to low preservation of wood after several millennia, archaeological discoveries of this type of archaeological artefact are very rare for paleolithic, but are few from Mesolithic to Iron Age period in Europe. In addition to observation in traceology, relying on ethnographic database for comparison and experimentation with replica are critical to assess the functional hypothesis as projectile. This methodology and its perspectives will be presented here, around the detailed case of a wooden implement discovered in 2010 archaeological excavations on the pre-Roman site of Urville Nacqueville, Normandy (France) (Bordes et al, 2015). This artefact, dated from 120 to 80 BC, has been found in an enclosure trench of a Gaulish village close to a ritual deposit of whalebones. The careful study of this implement, aside from archaeological and ethnological comparison, shows that it has probably been

used more like a bird-hunting throwing stick. To test this hypothesis, experimental crafting and throwing of two replica has been conducted, aiming to get more information about its functionality from the various flying trajectories obtained. Moreover, a probable shift from this practical function to a symbolic function have been proposed through the observation of different state of repair, reinforcement, and abandon of this artefact.

Keywords : Throwing sticks, Athnoarchaeology, Projectiles, Iron Age, Urville, Nacqueville

Apport de l'ethnologie à l'étude des structures de combustion protohistoriques : aspects méthodologiques

Pauline Hart¹

¹ UMR 7044 Archimède, Université de Strasbourg (* anciennement rattachée à; thèse soutenue en septembre 2022) – France

C'est dans le cadre d'une thèse consacrée aux structures foyères protohistoriques que nous nous sommes confrontées à la question de l'apport de l'ethnologie à l'archéologie. Si un parallèle a depuis longtemps été établi entre les structures archéologiques à pierres chauffantes et les fours polynésiens, il souffre de l'absence totale de fondement méthodologique. Les dispositifs ethnologiques mobilisés ne font en outre l'objet d'aucune analyse propre, préalable à la comparaison et permettant de connaître précisément leurs caractéristiques, leur fonctionnement mais aussi leur diversité potentielle. Le référentiel ethnologique s'avère en outre sous-exploité quand il sert de simple illustration « vivante » et ne conduit à aucun travail de réflexion. À cette sous-exploitation s'ajoute une certaine subjectivité car la recherche s'est focalisée sur les structures polynésiennes, alors même qu'il existe d'autres dispositifs similaires dans le monde, jamais évoqués.

Considérant ces remarques, nous avons réalisé, en plus du travail archéologique, une étude ethnologique à part entière consacrée aux structures de combustion domestiques employées par les sociétés dites « traditionnelles ». Le but n'est donc pas de répondre à une question archéologique précise ou de trouver un dispositif similaire à un type archéologique particulier, mais bien d'appréhender le maximum de cas de figure. Si une telle étude, détaillée, interculturelle et d'échelle mondiale, peut paraître hasardeuse, elle nous semble néanmoins justifiée dès lors que l'on considère le fait technique et la structure foyère comme un outil conçu pour répondre le plus efficacement possible à un certain but, et donc partiellement affranchi du contexte culturel.

Une fois collectées, ces données ont été mobilisées de différentes manières. Elles ont tout d'abord permis de dresser une liste de structures foyères existantes et fonctionnelles pouvant servir de référentiel lors de la phase de restitution des vestiges. Partir de l'ethnologie vers l'archéologie s'avère ainsi moins restrictif que le procédé inverse. À l'instar de l'expérimentation, l'ethnologie permet ensuite d'établir la liaison morphologie/mode de fonctionnement, le premier conditionnant le second. Les données ont également fait l'objet d'une synthèse et d'une exploitation propre qui ont mises en évidence la présence de constantes dans la

morphologie, l'usage et la fonction de structures pourtant éloignées géographiquement et culturellement, et donc l'existence de grands types fonctionnels universels définis par elles et de fonctionnement similaire. La différence entre ethnologie et archéologie n'étant finalement qu'une question de perspective temporelle et de méthode – il n'y a fondamentalement aucune différence entre un foyer documenté par l'une ou par l'autre –, ces grandes catégories de dispositifs définies par l'ethnologie s'avèrent également valables en contexte archéologique, et les constantes peuvent alors permettre d'y rattacher les structures foyères archéologiques. À noter que puisqu'on ne peut observer ces constantes directement, il faut déterminer leurs potentielles signatures archéologiques – soit les restes matériels leur correspondant et permettant de les identifier.

Notre démarche consiste ainsi à placer ethnologie et archéologie sur un même plan dans le cadre d'une appréhension technique globale. On peut en outre considérer que si une structure archéologique est identifiée grâce aux signatures des constantes C1, C2 et C3, elle doit également présenter les constantes C4 et C5 qui ne laissent potentiellement pas de traces matérielles, d'autant quand elles relèvent de la composante sociale. Naissent alors de nouvelles hypothèses impossibles à formuler sans le référentiel ethnologique.

Mots-Clés : Structure de combustion, Protohistoire, Four de terre, Ethnologie

Agriculture, usage des plantes et irrigation en contexte semi-aride, Reconstitution des pratiques dans l'oasis de Kayrit (Ouzbékistan) à l'âge du Fer ancien par une approche ethnoarchéologique

Ella Kempf¹, Johanna Lhuillier², Eloïse Pont-Campos², Ulug'bek Shapulatov³, Alisher Shajdullaev⁴, Margareta Tengberg¹, Shapulat Shajdullaev³

¹ AASPE – MNHN, CNRS, UMR7209 – France

² ARCHEORIENT – CNRS, Université Lumière – Lyon II, UMR5133 – France

³ Université d'Etat de Termez – Ouzbékistan

⁴ Université Nationale d'Ouzbékistan Mirzo Ulugbek – Ouzbékistan

Les recherches archéologiques menées depuis 15 ans par des équipes franco-ouzbèkes dans la province du Surkhan-Darya, au sud de l'Ouzbékistan, ont permis la mise au jour d'importantes occupations datées de l'âge du Bronze et du Fer (3e – 2e mill. BCE). L'étude des outils et structures relevés lors des fouilles de Tulki Tepa, Burgut Kurgan et Kayrit Tepa sur le piémont de la chaîne du Kugitang Tau, permet de proposer un premier aperçu de l'habitat et des stratégies de subsistance afin de comprendre la façon dont les populations ont pu s'adapter à un environnement semi-aride. Les analyses archéobotaniques contribuent à mieux cerner les végétaux cultivés et les espèces sauvages locales tandis que les observations géoarchéologiques révèlent les dynamiques socio-environnementales, dont le développement de l'irrigation. Cependant, de nombreuses questions restent en suspens concernant les choix des espèces végétales et leur usage, ainsi que les différents modes de cultures et la possible introduction de nouvelles plantes annuelles et pérennes. La variabilité importante

de la pluviométrie à l'échelle saisonnière et interannuelle pose également la question de l'adaptation à la disponibilité de la ressource en eau, et des modalités de sa mobilisation locale par une agriculture irriguée.

Au vu de ces interrogations, de la place centrale de l'irrigation et des plantes dans la vie quotidienne des habitants actuels ainsi que de la persistance dans cette région de pratiques de subsistance traditionnelles et peu mécanisées, des recherches ethnographiques ont été initiées en parallèle des travaux archéologiques. La documentation (photographies, descriptions écrites, entretiens) de pratiques et savoirs en voie de disparition ainsi que l'observation de l'environnement actuel (localisation des sources, canaux et parcelles cultivées) présentent un intérêt per se mais devraient également permettre une meilleure interprétation des assemblages protohistoriques.

Keywords: Archaeobotany, Ethnoarchaeology, Agriculture, Irrigation, Bronze and Iron Ages, Uzbekistan

Expérimenter le travail du métal aux périodes néolithique et chalcolithique : élaboration d'un référentiel tracéologique pour les objets métalliques égéens

Valentine Martin¹

¹ ArScAn – CNRS, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, UMR 704 – France

La production d'objets en cuivre, en or et en argent se développe à partir de la fin du VI^{ème} millénaire av. J.-C. sur le continent grec et dans les îles égéennes. Si des procédés techniques tels que la réduction de minerai ou la fusion des métaux ne semblent pas encore réellement maîtrisés, les populations de la fin du Néolithique égéen sont toutefois capables de fabriquer de solides outils et des parures ouvragées. Sans pouvoir identifier d'ateliers ou d'outillage associés à cette activité, il est cependant difficile de percevoir d'éventuels processus de manufacture. Ainsi, la réalisation d'un projet en collaboration avec l'association « Chalcophore » (Corse-du-Sud) a permis de reconstituer certains de ces procédés. En cherchant à reproduire des objets (outils et parures) issus de contextes néolithiques, différentes « chaînes opératoires » plus ou moins complexes ont été restituées. Les traces laissées à la surface de ces objets sont alors témoins des multiples opérations techniques impliquées (martelage à froid, recuit, abrasion, polissage). En comparant les traces des expérimentaux aux artefacts originaux, il est alors possible de générer un ou plusieurs référentiels, dans l'objectif de mieux comprendre la complexité du savoir-faire et des connaissances techniques du métal au Néolithique égéen.

Mots-Clés: Expérimentation, Métal, Néolithique, Égée, Tracéologie.

Permanence and change: Technological and experimental analysis of Early and Middle Copper Age ceramic fabrication in Rákóczifalva microregion (Hungary)

Eszter Solnay^{1,2}, Zita Hrabák^{3,4}

¹ Eötvös Loránd University – Hongrie

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

³ Hungarian National Museum – Hongrie

⁵ University of Szeged – Hongrie

After the Late Neolithic on the Great Hungarian Plain (Hungary), the Early and Middle Copper Age (ca. 4500/4450–3800/3700 calBC) were characterized by a new technological, social, and communication system, which included the emergence of a network of small settlements and a gradually more mobile lifestyle. This is clearly visible in the Rákóczifalva microregion, where three small settlements were established which may have partly coexisted. Three different ceramic styles can be identified on these sites; Tiszapolgár, Bodrogkeresztúr, and Hunyadihalom styles, which were previously dated to three consecutive periods. However, they occurred together in these settlements, sometimes even in the same archaeological features. The particular spatial and temporal situation of this microregion raised the issue of understanding social and cultural phenomena reflected by ceramic material.

The present study focuses on the ceramic technological analysis of the three Early and Middle Copper Age settlements at Rákóczifalva. The various steps of the ceramic fabrication process refer to different social and cultural aspects. The long-term trajectories of forming sequences can be linked with social connections. Contrary, surface treatment and stylistic traits can also be frequently shaped by other factors such as custom, fashion, or practicality. To analyse these, controlled experimentation is an essential part of the research method besides the observation of archaeological material. Thus, macro- and microscopic analyses and the comparison of ancient and experimental samples allow us to build a strong referential basis for the identification of different techniques. The first controlled experiments focusing on Hungarian Early and Middle Copper Age uncover various traces of fabrication, such as diverse types of surface treatment.

This combination of technical and experimental analytical approaches reveals long-term technical traditions shared by numerous or just a few potters in Early and Middle Copper Age settlements at the Rákóczifalva microregion. Besides, other cultural and functional aspects can also be revealed, which could have changed more easily, and which could have been influenced also by collective or individual choices.

Keywords: Experiments, Technological analysis, Ceramic forming, Surface treatment, Social connections

Coordination : Thibaut Devière, Lucile Beck, Chrysteal Verati, Véronique Michel

L'étude chronologique des archives sédimentaires quaternaires est un observatoire temporel exceptionnel des cultures historiques, préhistoriques et de leur environnement. Cette session réunira les études récentes en datations absolues et relatives, permettant d'aborder aussi bien les dernières avancées technologiques, que les applications de la datation en archéologie. Elle sera axée sur l'état actuel des méthodes de datation, sur leur utilisation en fonction des problématiques abordées, sur l'interprétation des résultats, sur les problèmes de représentativité. Les différentes méthodes de datation applicables aux sites archéologiques du Quaternaire sont très souvent confrontées à des problèmes de conservation ou de contamination du matériau à dater, de géologie ou de méthodologie, limitant ainsi leur champ d'application. Néanmoins, la multiplicité des méthodes appliquée sur un même site permet des comparaisons et peut conduire à des réajustements chronologiques.

Cette session tendra donc à mettre l'accent sur des études multidisciplinaires et les développements techniques des méthodes de datation permettant de mieux contraindre la chronologie de séquences archéologiques et environnementales du Quaternaire.

Mots-clés : Datation absolue, Datation relative, Chronostratigraphie, Développements méthodologiques, Prétraitement des échantillons, Modélisation bayésienne

La datation ^{14}C des carbonates de plomb, un nouvel outil chronologique pour l'archéologie. Exemple des ampoules de Grandmont (Haute-Vienne)

Lucile Beck¹, Nicolas Portet², Ingrid Caffy¹, Philippe Racinet³, Erwan Nivez⁴

¹ LMC 14, CEA Saclay, France – LSCE-IPSL (CNRS-CEA-UVSQ), Université Paris-Saclay – France

² Laboratoire LandArc, Fleurance – France

³ Université de Picardie Jules Verne – France

⁴ ARTeHiS – MCC, Université de Bourgogne, CNRS, UMR6298 – France

Ces dernières années ont vu le développement inattendu de la datation absolue des carbonates de plomb – cérusite (PbCO_3) et hydrocérusite ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$) – par la méthode du radiocarbone. Cosmétiques, pigments et peintures à base de blanc de plomb ont ainsi été datés avec succès (Beck *et al.*, 2018, 2020; Hendriks *et al.*, 2019; Messenger *et al.*, 2021, 2022). La datation a été rendue possible par le mode de synthèse du blanc de plomb qui utilise du fumier de cheval comme source de CO_2 pour former les carbonates. Il a été ainsi démontré que du carbone d'origine organique marqué en ^{14}C avait été incorporé lors de cette synthèse attestée depuis le IV^e siècle avant J.-C.

Dans le cadre de l'étude présentée ici, une approche similaire est tentée sur des carbonates de plomb formés par la corrosion in situ d'ampoules en plomb retrouvées dans des sépultures d'une zone cimétériale de l'abbaye de Grandmont. Depuis 2013, une équipe pluridisciplinaire de l'université de Picardie mène des recherches en Limousin à Saint-Sylvestre, sur le site de la maison mère de l'ordre Grandmontain. Le plomb est un matériau très utilisé dans l'architecture de l'abbatiale notamment grâce au patronage d'Henri II Plantagenêt dans la seconde moitié du XII^e siècle qui fournira une quantité importante de plomb provenant d'Angleterre. Ce matériau est choisi dès la fondation du monastère vers 1124 pour fabriquer des ampoules à eulogie déposées au contact du corps dans les sépultures situées à l'est de l'abbatiale. Avec plus d'une quarantaine d'ampoules répertoriées à ce jour, Grandmont livre un corpus unique pour le Moyen Age occidental. L'étude de la répartition des tombes et des cinq types d'ampoules permet en partie d'esquisser l'évolution topochronologique du cimetière aux XII^e-XIII^e siècles, malgré une mauvaise conservation des ossements humains en milieu granitique. Les carbonates de plomb prélevés lors de la restauration des ampoules constituent, pour une part importante des tombes, la seule opportunité d'obtenir une datation absolue. Une première série de huit échantillons ont été préparés par décomposition thermique au LMC14 et mesuré sur l'AMS ARTEMIS.

Quatre résultats sur carbonates de plomb offrent une remarquable identité, les dates étant toutes comprises entre 899 et 1157 AD. Ces dates sont cohérentes avec celles obtenues sur les ossements de deux sépultures proches, comprises entre 1028 et 1162 AD. Pour les autres résultats les dates sont plus tardives et dispersées, entre le XIII^e et le XV^e siècle. Une de ces dates pourrait correspondre à une phase tardive d'utilisation du cimetière et deux autres à des secteurs perturbés à l'époque moderne.

La cohérence des résultats obtenus à la fois sur les carbonates de plomb et les ossements suggère que la formation des carbonates de plomb est bien le produit de la corrosion du métal par une substance organique, probablement liée à la décomposition des corps. Cette hypothèse reste à démontrer mais on peut cependant avancer que les dates obtenues sur les carbonates de plomb, dans le contexte des sépultures de Grandmont, correspondent aux mois qui ont suivis l'inhumation. Ainsi, la datation ^{14}C de la corrosion du plomb donne accès à la date des sépultures et ouvre de nouvelles perspectives dans le cas où les ossements ne sont plus présents ou mal conservés.

Mots-Clés : ^{14}C , Radiocarbone, Carbonates de plomb, Corrosion du plomb, Grandmont, Sépulture

Evolutions physiques d'un site à peintures rupestres. Interroger l'accessibilité de la paroi par la chronologie relative

Julien Jacquet¹, Jean-Jacques Delannoy¹, Eric Thirault², Stéphanie Barde-Cabusson³, Andre Revil¹, Claudia Defrasne¹, Emilie Chalmin¹

¹ EDYTEM – Université Savoie Mont Blanc, CNRS, UMR5204 – France

² ARCHEORIENT – CNRS, Université Lumière – Lyon II, UMR5133 – France

³ NagaGeophysics

Le site du Rocher du Château (Haute-Maurienne, Savoie) se trouve sur l'un des axes de passage majeurs (pré)historiques entre le Piedmont italien et les Alpes du Nord françaises (cols du Colerin, du Mont Cenis, et de l'Iseran, autres sites archéologiques (pré)historiques mauriennais). De nombreux témoins de ces fréquentations anciennes et récentes sont conservés au Rocher du Château : ruines d'habitats pastoraux, vestiges de structures maçonnées, exploitation de blocs de serpentinite, statuette à l'effigie du dieu Mercure (R. Chemin, 2013), gravures et peintures rupestres schématiques, pointes de flèches, restes lithiques et traces de foyers (Thirault, 1997, 2006, 2008, 2022 ; David, 2010).

Dans cet environnement montagnard (1750 m d'alt.), la conservation de tous ces vestiges n'est pas anodine (indigence et/ou érosion des sols, forçage climatique et aléas liés à l'exposition du site, vulnérabilité de l'acte graphique). En se focalisant sur le secteur des panneaux ornés en pied de paroi, la recherche s'est portée sur le cadre physique dans lequel s'inscrivent les actes graphiques, pour mieux définir leur place et leur accessibilité dans l'évolution morphologique du site. L'approche intégrée développée sur ce site permet une étude non invasive, adaptée à la fragilité de ces sites d'altitude : approcher la temporalité de l'acte graphique et son cadre physique par l'étude de son contexte morphologique.

L'approche archéo-géomorphologique permet en effet d'étendre la compréhension du site à l'espace autour des panneaux peints/gravés. Elle porte autant sur la paroi que le sol du site, et s'attache à définir le milieu physique qui encadre l'acte graphique, en établissant son évolution depuis la dernière période de déglaciation en Maurienne, et en caractérisant et en

jalonnant l'intervention de l'Homme dans le paysage. L'objectif est donc de reconstituer la physionomie du site au moment de la réalisation des peintures et gravures.

Dans cette optique, la cartographie archéo-géomorphologique permet une analyse multi-échelle (vallée, intra-site), multi-objet (formes et formations au sol et en paroi). Cette méthode permet la lecture relativement fine des morphologies en surface, de leur évolution dans le temps, de leur emboîtement dans l'espace, et de « mesurer » leur anthropisation.

Pourtant, davantage d'informations résident sous les surfaces topographiques : emboîtements morphologiques des événements gravitaires anciens et des corps sédimentaires, stratigraphie, fonctionnement sédimentaire du site archéologique et du fond de vallée sur lequel s'appuie le site. Ainsi, des acquisitions géophysiques, des analyses stratigraphiques et sédimentologiques sont mobilisées pour étayer l'analyse surfacique.

L'approche archéo-géomorphologique permet de discuter la mise en place du site (déglaçage et épisode lacustre de Bessans, première(s) génération(s) d'écroulement sur le site), d'interroger la configuration du site et l'accessibilité aux parois peintes/gravées au moment des actes graphiques, et de situer les réajustements post-acte(s) graphique(s) pour interroger les modifications d'accès et leurs causes. La chronologie relative de l'évolution physique est progressivement fixée. Il est alors possible de placer l'acte graphique dans le temps, et de cibler les supports pour la datation absolue.

Mots-Clés: Abri sous roche, Peintures rupestres, Géomorphologie, Cartographie, Analyse tomographique, Chronologie relative

Caractérisation Interdisciplinaire et Datation Radiocarbone des Mortiers de Chaux de l'Abbatiale Sainte-Marie de Floreffé (Belgique)

Marine Wojcieszak^{1,2}, Frédéric Chantinne³, Laurent Fontaine¹, Gaia Ligovich¹, Roald Hayen¹, Jan Elsen⁴, Mathieu Boudin¹

¹ Royal Institute for Cultural Heritage (KIK/IRPA) – Belgique

² Evolutionary Studies Institute, University of the Witwatersrand – Afrique du Sud

³ Service public de Wallonie – Agence wallonne du Patrimoine – Belgique

⁴ Katholieke Universiteit Leuven – Belgique

L'abbatiale de Floreffé fait partie d'une abbaye prémontrée établie en 1121. Elle se situe dans la province de Namur en Belgique sur un promontoire dominant la Sambre, affluent de la Meuse. Elle est habituellement datée des années 1160/1170 du fait que les chanoines eux-mêmes affirmèrent l'avoir édifiée. Mais de nouvelles recherches mettent en évidence que cette église devait exister lorsque les Prémontrés s'établirent. Ces réflexions amènent de nouvelles questions. Qui, pourquoi et quand fut édifié cet édifice de la taille d'une cathédrale? Pour tenter de répondre à la dernière question, plusieurs échantillons ont été prélevés, caractérisés et datés pour obtenir plus de précisions sur l'âge et les relations temporelles entre certaines phases de construction. Les échantillons de mortier de chaux ont été décrits macroscopiquement et des observations pétrographiques et en cathodoluminescence

ont été réalisées sur les lames minces. Les mortiers prélevés ont également été analysés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) en transmission sur pastilles de KBr, par thermogravimétrie et calorimétrie différentielle à balayage (ATG-DSC), ainsi que par microscopie électronique à balayage. La poudre utilisée pour la datation a aussi été observée par cathodoluminescence afin de détecter toute contamination par des carbonates fossiles susceptibles d'influencer les dates obtenues. La datation au radiocarbone a été réalisée par une hydrolyse acide progressive sur la fraction de poudre de mortier < 75 µm après un broyage léger et un passage au tamis. Quand cela était possible, des datations complémentaires ont été effectuées sur des nodules de chaux pure et/ou sur des matériaux organiques retrouvés dans les maçonneries (charbon de bois inclus dans le mortier et morceau de bois provenant d'un trou de boulin) et se sont révélées en décalage avec celles des mortiers. La cause de la divergence observée entre les résultats de datation obtenus sur le liant de chaux et sur la chaux pure des nodules est discutée et la fiabilité des résultats a pu être évaluée à partir des informations fournies par les différentes techniques de caractérisation et par des contraintes temporelles (datation dendrochronologique de la charpente vers 1170-80 et datation radiocarbone des matériaux organiques).

Mots-Clés : Datation au radiocarbone, Mortiers de chaux, Pétrographie, Analyses ATG-DSC, IRTF

Datation ^{14}C de biomarqueurs moléculaires. Récents développements au LSCE et application à des beurres archéologiques

Jérémy Jacob¹, Jugurta Ghalem¹, François Thil¹, Brian Phouybanhdyt¹, Caroline Gauthier¹

¹ LSCE – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CEA, CNRS, UMR8212 – France

Etablir des cadres chronologiques robustes et précis reste un enjeu majeur des sciences archéologiques. Depuis quelques dizaines d'années, la possibilité de réaliser des mesures ^{14}C sur des quantités infimes de carbone a étendu le spectre des possibilités. En particulier la perspective de déterminer l'âge de molécules fossiles préservées dans divers types d'archives afin de limiter les sources de contamination. Cette méthode souffre toutefois de l'absence de standards validés et adoptés par l'ensemble de la communauté.

Au sein de la Plateforme Analytique Géosciences Paris Saclay (PANOPLY), le LSCE développe cette méthode et est désormais en mesure de la proposer à la communauté. Dans le cadre d'un exercice d'intercomparaison de datation sur composés spécifiques proposé par l'Université de Bristol, nous avons déterminé par EchoMICADAS l'âge d'acides gras avec 16 et 18 atomes de carbone présents dans des beurres fossiles et dans un beurre actuel. Les beurres fossiles sont fournis par le Muséum National d'Irlande. Il s'agit de beurres préservés dans des tourbières et datés, pour l'un, de l'âge du Bronze et, pour l'autre, de la période post-médiévale. Le beurre actuel (Elle et Vire, 250 g, sans conservateur ni additif, 60% de matières grasses, fabriqué le 11/02/2022) a été acquis en grande surface.

Nous avons utilisé le protocole d'extraction/estérification et les conditions de purification des composés individuels par chromatographie en phase gazeuse préparative (prep-GC) proposées par Casanova *et al.* (2018). La contribution du carbone ajouté lors de l'estérification a été corrigée après détermination du ^{14}C du méthanol. Le ^{14}C des aliquots bruts de beurre a été déterminé par Compact Radiocarbon System (ECHO MICADAS) en mode graphitisation et celui des composés par EA-GIS ou graphitisation. Les quantités d'acides gras extraites/estérifiées ont été déterminés lors des injections en prep-GC. Les rendements de purification sont estimés au moyen de la quantité de carbone de chaque échantillon, déterminée par EA-GIS, convertie en masse d'acide gras estérifié.

Les résultats des datations sont en accord avec ceux de Casanova *et al.* (2021) pour les beurres fossiles et avec ceux de Hua *et al.* (2021) pour le beurre actuel. Les écart-types sont d'environ 100 ans pour les résultats acquis par EA-GIS et de ~50 ans en mode graphitisation.

Références :

Casanova *et al.* (2018) Practical considerations in high-precision compound-specific radiocarbon analyses: Eliminating the effects of solvent and sample cross-contamination on accuracy and precision. *Anal. Chem.* 90, 11025–11032.

Casanova *et al.* (2021) Generation of two new radiocarbon standards for compound-specific radiocarbon analyses of fatty acids from bog butter finds. *Radiocarbon* 63, 771–783.

Hua *et al.* (2021) Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2019. *Radiocarbon* 64, 723–745.

Mots-Clés : ^{14}C , Compound specific, Datation, Beurres

Apport de nouvelles données radiocarbones à la chronologie des derniers Néandertaliens dans la région pyrénéenne par l'utilisation de méthodologies radiocarbones avancées – le cas du Portel-ouest

Lou Spanneut^{1,2}, Gaël Becam³, Anne-Marie Moigne³, Yoann Fagault¹, Thibaut Tuna¹, Edouard Bard¹, Thibaut Deviese¹

¹ CEREGE – Collège de France, Aix Marseille Université, CNRS, UMR7330 – France

² LAMPEA – Aix-Marseille Université – France

³ CERP – MNHN, CNRS, UMR7194 – France

La période qui s'étend de 50 000 à 20 000 ans avant notre ère constitue une période charnière de l'Histoire de l'humanité. C'est durant cette période que s'opère en Eurasie une transition entre l'*Homo sapiens*, aussi connu sous le nom d'*Homme Anatomiquement Moderne*, et les Néandertaliens qui disparaissent autour d'environ 40 ka BP. Par ailleurs, cette période est également marquée par de grandes instabilités climatiques (événements de Dansgaard–Oeschger et événements de Heinrich) ayant provoqué d'importants changements de la végétation et un grand bouleversement de la biodiversité. Plusieurs études ont été publiées sur la relation entre le climat, les populations humaines et/ou la faune lors de la transition Paléolithique moyen (Néandertaliens) – Paléolithique supérieur (*Homo sapiens*), mais les scénarii proposés diffèrent. De manière générale, cela est une conséquence d'un manque de

données chronométriques fiables, qui sont essentielles à la reconstruction spatio-temporelle de l'histoire des populations humaines (et fauniques) en lien avec leur(s) environnement(s). Le sud de la France et la péninsule ibérique sont des zones de fort intérêt pour l'étude de la transition Paléolithique moyen – Paléolithique supérieur grâce à leur forte concentration en sites archéologiques. En particulier, les recherches menées dans la zone pyrénéenne ont révélé la présence de nombreux sites archéologiques paléolithiques dont la grotte du Portel-ouest (commune de Loubens, Ariège) sur laquelle porte cette présentation.

Les fouilles menées pendant plus de 30 ans et intégrant des méthodes de terrain rigoureuses, ont permis de mettre à jour un matériel archéologique extrêmement riche incluant 33 ossements néandertaliens, plus de 130 000 industries lithiques (associées à Néandertal puis à l'*Homo sapiens*), et 90 000 ossements de faune dont un grand nombre présentent des marques anthropiques (stries de découpe, fragmentations, impacts). La particularité du site réside également dans la présence d'une couche sédimentaire stérile, sans restes osseux ou industries, intercalée entre deux niveaux moustériens, indiquant une interruption temporaire des occupations néandertaliennes (et animales). Cela suscite donc un questionnement sur le rôle joué par le climat sur les occupations humaines au Portel-ouest. Cependant, les quelques datations obtenues jusqu'alors pour ce site, réalisées par Uranium-Thorium (U-Th) et Résonance Paramagnétique-Électronique RPE), présentent des incertitudes temporelles trop larges pour étudier finement la corrélation chronologique des occupations néandertaliennes et des archives paléoenvironnementales.

Cette communication présentera une série de 10 datations directes au carbone 14 sur du matériel osseux faunique anthropisé du Portel-ouest qui a été réalisée grâce au spectromètre de masse par accélérateur (AMS) Aix-MICADAS du CEREGE (*Aix-Marseille Université*). Ces datations ont permis d'affiner la chronologie du site et participent donc à la reconstruction des dernières occupations néandertaliennes dans la région pyrénéenne ainsi qu'à la compréhension des interactions Homme-climat. Les méthodes employées à la fois pour la préparation chimique des échantillons osseux, la mesure ^{14}C et le traitement statistique des données seront présentées. Elles constituent des méthodes de pointe ayant soucis de produire des données chronométriques fiables.

Mots-Clés : Datation radiocarbone, Chronologie, Néandertal, Pyrénées, Modélisation Bayésienne

Préciser la courbe de calibration radiocarbone pour l'Égypte ancienne : apport de l'Herbier National pour la construction d'une chronologie absolue

Marie Ferrant¹, Lucile Beck², Emmanuelle Delqué-Količ², Myriam Gaudeul³,
Vanessa Invernon³, Serge Muller³, Germinal Rouhan³, Anita Quiles¹

¹ Institut français d'archéologie orientale du Caire – Égypte

² LSCE – CEA, CNRS, IRD, IRSN, Ministère de la Culture, UMR8212 – France

³ ISYEB, MNHN, CNRS, EPHE, Sorbonne Université – France

Les enjeux liés à la construction d'une chronologie absolue pour l'Égypte ancienne sont nombreux et concernent autant des questions historiques, archéologiques que méthodologiques, en particulier sur l'application de la datation radiocarbone dans cette région du monde. De nombreux travaux, reposant sur des données historiques et épigraphiques, ont permis de proposer des chronologies qui aujourd'hui ne font toujours pas consensus et sont souvent en désaccord avec les données radiocarbones. Bâtir une chronologie intégrée, à haute résolution, capable de réconcilier par une approche bayésienne les données archéologiques et radiocarbone, est donc un enjeu crucial et attendu (1–3). Toutefois, ceci implique des développements liés à l'application de cette méthode en Égypte. La mise en évidence répétée de décalages entre les teneurs locales en ^{14}C et les courbes de calibration internationales remet en question notre façon d'appréhender la datation radiocarbone et la précision attendue pour certaines régions du monde. En Égypte, la présence de crues annuelles du Nil ainsi que l'inversion des saisons de pousser par rapport à l'Europe pourraient avoir joué un rôle important dans l'assimilation de ^{14}C par les plantes locales. Dans le cadre de l'ANR MERYT (ANR-19-CE027-0010), une étude reposant sur les collections végétales de l'Herbier National a été entreprise (4). Trois campagnes de prélèvement ont permis de sélectionner différents spécimens botaniques récoltés entre 1798 et 1848, en Égypte et ailleurs, dans des zones géographiques variées, pour rendre compte de ces fluctuations. Les résultats présentés dans cette communication permettent d'identifier des effets complexes à l'origine de la fluctuation du ^{14}C et de formuler de nouvelles hypothèses.

1. G. Bonani, H. Haas, Z. Hawass, M. Lehner, S. Nakhla, J. Nolan, R. Wenke, W. Wölfli, Radiocarbon Dates of Old and Middle Kingdom Monuments in Egypt, *Radiocarbon*. 43 (2001) 1297–1320. <https://doi.org/10.1017/S0033822200038558>.

2. C. Bronk Ramsey, M.W. Dee, J.M. Rowland, T.F.G. Higham, S.A. Harris, F. Brock, A. Quiles, E.M. Wild, E.S. Marcus, A.J. Shortland, Radiocarbon-Based Chronology for Dynastic Egypt, *Science*. 328 (2010) 1554. <https://doi.org/10.1126/science.1189395>.

3. M. Dee, D. Wengrow, A. Shortland, A. Stevenson, F. Brock, L. Girdland Flink, C. Bronk Ramsey, An absolute chronology for early Egypt using radiocarbon dating and Bayesian statistical modelling, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 469 (2013) 20130395. <https://doi.org/10.1098/rspa.2013.0395>.

4. Quiles, V.R. Invernon, L. Beck, E. Delque-Količ, M. Gaudeul, S. Muller, G. Rouhan, Préciser la courbe de calibration radiocarbone pour l'Égypte ancienne: le pari des herbiers, in: *Les Collections Naturalistes Dans La Science Du XXIe Siècle: Une Ressource Durable Pour La Science Ouverte*, Roseli Pellens, ISTE Editions, 2021.

Mots-Clés: Datation, Radiocarbone, Calibration, Égypte ancienne

Datation par le carbone 14 – Etude chronologique des pratiques de momification des oiseaux en Égypte ancienne

Pascal Richardin^{1,2}, Anh Nguyen Van¹, Romain Amiot³, Vincent Grossi³

¹ C2RMF – Ministère de la Culture – France

² TEMPs – CNRS, Université de Nanterre, UMR 8068 – France

³ LGL-TPE – CNRS, Université Claude Bernard (Lyon I), ENS, UMR5276 – France

Les nécropoles ont livré des momies animales par millions à travers toute l'Égypte, témoignant ainsi de la ferveur des Égyptiens à l'égard de ces animaux et révélant surtout la place majeure que ces derniers occupaient au sein de la religion égyptienne. Or, paradoxalement, les croyances et les pratiques liées à ce culte restent encore mal connues.

Le Musée des Confluences de Lyon possède la plus importante collection au monde (hors d'Égypte) de momies animales. Ce fonds exceptionnel qui regroupe un large éventail d'espèces momifiées sur une période d'au moins un millénaire allant de la Basse Époque (VII^e s. av. J.-C.) aux premiers siècles de notre ère (IV^e s. ap. – période romaine) offre une vision très large du bestiaire sacré des Anciens Égyptiens. Parmi ces animaux momifiés, on trouve un nombre impressionnant d'oiseaux (ibis, oies du Nil, chouettes, hiboux et autres rapaces).

Dans le cadre de plusieurs projets de recherche sur l'étude des pratiques de momification ou sur l'origine des animaux en Égypte (1-3) nous avons réalisé une cinquantaine de datation par le carbone 14 de momies d'oiseaux, conservées au musée des Confluences de Lyon. Ces études nous ont permis d'améliorer nos protocoles d'extraction et d'élimination des baumes de momification sur les échantillons prélevés, d'appréhender les procédés de momification, en particulier le problème délicat des réemplois des textiles et de pouvoir montrer une certaine évolution dans les pratiques des Égyptiens, en termes d'espèces utilisées.

1. Linglin M., Amiot R., Richardin P., Porcier S., Antheaume I., Berthet D., Grossi V., Fourel F., Flandrois J.-P., Louchart A., Martin J., Lécuyer C. (2020) Isotopic systematics point to wild origin of mummified birds in Ancient Egypt. *Nature: Scientific Reports*, 10, 15463.

2. Porcier S., Richardin P., Louarn G., Ikram S., Berthet D. (2019) Chronology of a Series of animal Mummies from the Collection of the Confluences Museum, Lyon (France), in St. Porcier, S. Ikram, St. Pasquali (Eds.), *Creatures of Earth, Water and Sky. Essays on Animals in Ancient Egypt and Nubia. Proceedings of the International Symposium on Animals in Ancient Egypt*, ISAAE 1 (01-04 Juin 2016, Lyon/France), 2018, Sidestone Press.

3. Richardin P., Porcier S., Ikram S., Louarn G., Berthet D. (2017) Cats, Crocodiles, Cattle, and More: Initial Steps Toward Establishing A Chronology of Ancient Egyptian Animal Mummies, *Radiocarbon*, 59(2), 595-607.

Mots-Clés : Datation par le carbone 14, Momies animales, Égypte, Procédé de momification

Datation radiocarbone de l'art pariétal – exemple des grottes de Nerja (Espagne) et d'Ebbou (France)

Nadine Tisnéat-Laborde¹, François Thil, Edwige Pons-Branchu, Jose Luis Sanchidrian, Christine Hatté, Brian Phoutbanhdyt, Bernard Gély

¹ LSCE, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CEA, CNRS, UMR 8212 – France

La méthode de datation par le radiocarbone, proposée il y a plus de 70 ans par W. F. Libby, a fourni les premiers jalons de l'histoire de la chronologie de l'évolution culturelle de l'Homme et a permis de décrire son environnement au cours des 50 000 dernières années. Depuis, la recherche scientifique autour de la géochronologie et la géochimie ¹⁴C ne cesse de progresser et d'innover, portée par les progrès technologiques et méthodologiques, les améliorations

conceptuelles, et l'étendue des applications en sciences de la Terre, du climat, de l'environnement ou en archéologie. Préciser la chronologie de l'art pariétal reste toujours un challenge pour obtenir des dates fiables sans détériorer les œuvres peintes réalisées par l'homme.

L'objectif de cette présentation est d'exposer les derniers développements réalisés grâce à la datation ^{14}C de microéchantillons dans la grotte d'Ebbou (France) et au couplage ^{14}C -U/Th dans la grotte Nerja (Espagne). Au travers de ces deux exemples, les différents protocoles (chimie et mesure sur ECHoMICADAS) développés au LSCE pour la datation des microcharbons pariétaux et des microcarbonates seront présentés.

Mots-Clés : Carbone 14, Art pariétal, Microéchantillons

Approches croisées sur les restitutions des occupations animales à la grotte Chauvet et sur les dynamiques biologiques d'une espèce disparue : l'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*)

Nicolas Frerebeau¹, Philippe Fosse², Jean-Baptiste Fourvel², Nadine Tisnérat – Laborde³, Gilles Tosello⁴, Héléne Valladas³, Carole Fritz⁴

1 Archéosciences Bordeaux – CNRS, Université Bordeaux Montaigne, UMR6034 – France

2 LAMPEA – Aix Marseille Université, CNRS, MCC, UMR7269 – France

3 LSCE, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CEA, CNRS, UMR 8212 – France

4 CREAP – CNRS, Université fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées, USR3414 – France

La grotte Chauvet-Pont-d'Arc a livré les plus anciennes expressions artistiques complexes du Paléolithique d'Europe, attribuées principalement à l'Aurignacien. Cette cavité renferme également d'abondants vestiges paléontologiques d'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*) ainsi que les modifications des sols (nids d'hivernation) et des parois (griffades), liées aux fréquentations récurrentes de la cavité par ce carnivore. A partir des données radiométriques (^{14}C) et des observations de chronologie relative (contextualisation des modifications d'origine animale et humaine des parois), une synthèse spatio-temporelle des occupations de la grotte par l'ours des cavernes est proposée.

L'important corpus de dates ^{14}C actuellement disponible (40+ dates sur os d'ours des cavernes, 110+ dates relatives aux activités humaines) suggère une fréquentation animale et humaine de longue durée (~15000 ans) et permet de proposer un modèle d'occupation des différentes galeries (occupations ursines, *Ursus* vs *Homo*).

Les données de la grotte Chauvet contribuent également à une réflexion sur le cadre chronologique de l'ours des cavernes à l'échelle européenne. A partir d'un corpus de plus de 600 dates radiocarbone publiées et/ou disponibles, cette communication souhaite participer à la réflexion sur les causes (climatiques, anthropiques) et rythmes (dates ^{14}C , données chrono-culturelles) relatifs à l'extinction de l'ours des cavernes au Paléolithique supérieur.

Mots-Clés : Grotte Chauvet Pont d'Arc, Paléolithique supérieur, *Ursus spelaeus*, Art pariétal, Paléontologie, Ichnologie, Radiocarbone, Modélisation chronologique

Représenter le temps sur modèle 3D. Une analyse 4D de l'entrée de la grotte Chauvet (Ardèche, France)

Stéphane Jaillet¹, Jules Kemper¹, Kim Genuite², Jean-Jacques Delannoy¹

¹ EDYTEM – CNRS, Université Savoie Mont Blanc, UMR5204 / FRE 2641 – France

² PACEA – Université de Bordeaux, CNRS, UMR5199 – France

Depuis sa découverte en 1994, la grotte Chauvet a fait l'objet de nombreuses datations radiométriques (Quilès *et al.*, 2016) à la fois sur les restes archéologiques (charbons...), paléontologiques (os...) mais aussi sur des objets géologiques (stalagmites, paroi...). Sur la zone de l'entrée préhistorique, des datations ont notamment permis de contraindre efficacement la chronologie de la fermeture de la cavité. Ces dates d'abord réalisées sur des calcites scellant le dépôt d'écroulement (Genty, 2005) ont été complétées par des dates ³⁶Cl sur les niches surplombant la paléo-entrée (Sadier *et al.*, 2012). Dans le même temps, des relevés 3D par lasergrammétrie ont permis de mieux contraindre les limites géomorphologiques du dépôt qui a scellé définitivement l'entrée de la cavité (Delannoy *et al.*, 2010, 2020; Jaillet *et al.*, 2017; Kemper *et al.*; 2022).

Cette analyse géomorphologique conduite à la fois sur des cartes, des coupes et sur des modèles 3D surfacique RTI (Réseau de Triangles Irréguliers), permet d'identifier plusieurs surfaces- repères, c'est à dire des surfaces correspondant à une temporalité fixe et synchrone (ex: une niche d'arrachement) ou une temporalité diachrone (ex: un tablier d'éboulis progradant). Ces surfaces sont rattachées au modèle chronologique contraint à la fois par l'emboîtement des objets (chronologie relative) et par les dates réalisées sur le site (chronologie absolue).

Nous proposons ici une visualisation de cette chronologie relative, drapée sur le modèle 3D de la zone d'entrée de la grotte Chauvet. Cette visualisation 4D (3D + temps) constitue une nouvelle méthode d'analyse de la succession des événements qui ont conduit à la mise en place du paysage actuel. Elle offre la possibilité de mieux associer les différents objets (surfaces) sur la base de leur géométrie et de leur âge. Cette démarche pourrait s'avérer être un outil complémentaire efficace à la reconstitution des paléo-paysages (visualisation par surfaces repères) et à l'orientation des futures stratégies d'échantillonnage.

Mots-Clés: Temps, Modèle 3D, Analyse 4D, grotte Chauvet

Développement méthodologique et apports récents de l'anthracochronologie à l'étude des charbons de bois archéologiques

Benoît Brossier¹, Philippe Poirier², Christophe Vaschalde³, Jérôme Ros¹

¹ ISME – Université de Montpellier, CNRS, UMR5554, EPHE, IRD: UMR226 – France

² INRAP Méditerranée – INRAP: UMR5554 – France

³ LA3M UMR 7298 – Aix-Marseille Université – France

Depuis près de 20 ans, l'étude des spectres anthracologiques est de plus en plus souvent complétée par des analyses de morphologie des cernes (courbure, largeur moyenne, etc.). Cependant, dans ces études, l'aspect chronologique reste peu ou non exploité en raison de la friabilité des charbons de bois, qui affecte particulièrement les restes de grande taille (diamètre supérieur à 2 cm), plus susceptibles de posséder un grand nombre de cernes. Cette fragilité et la grande taille de ces charbons ne permettent pas d'appliquer les méthodes classiquement utilisées en anthracologie (cassure fraîche) ou en dendrochronologie (découpe et ponçage) afin de créer une surface d'observation continue.

Le protocole développé par Brossier et Poirier (2018) permet de s'affranchir de ces contraintes, en fixant le charbon dans sa position initiale à l'aide d'une gaine thermorétractable. La création de cette surface plane rend ainsi possible la numérisation à haute définition, la mesure des largeurs de cernes et l'observation anatomique sur la totalité du plan transversal. L'établissement de patrons d'accroissements ou de chronologies des charbons ouvre de nouvelles perspectives pour éclairer les durées d'occupation des sites, interdater des structures, documenter la gestion du combustible, etc.

Cette communication porte sur les apports récents de l'application de cette méthode, confirmant l'intérêt de la généralisation de l'anthraco-chronologie. Sur le site d'Eyrein (19), l'étude, au moyen d'un tomographe (imagerie à rayon x), de charbons issus d'une trentaine de fours à pierres chauffées datés de l'âge du Fer a permis d'interdater ces structures, suggérant le fonctionnement dans la longue durée de ce type d'alignement. Sur le site protohistorique de Combailleaux (34), les charbons de l'atelier de métallurgie montrent une alternance de périodes à cernes larges et à cernes étroits, permettant d'aborder la gestion des boisements. Enfin, la présentation de bois d'œuvre issus de différents sites antiques (Die, 26; Rirha, Maroc), permet de discuter de l'application du protocole d'échantillonnage, et de déterminer les quantités minimales requises pour obtenir une information représentative.

Mots-Clés: Anthracologie, Largeur de cerne, Dendrochronologie, Archéologie, Paléoenvironnement

Datation archéomagnétique des bas-fourneaux du pays Bassar (Togo) : une étude de faisabilité

Giorgia Ricci¹, Gwenaël Hervé¹, Caroline Robion-Brunner², Camille Wandres¹,
Emmanuelle Delqué-Količ³, Pakou Harena⁴

¹ LSCE, CEA, CNRS, Université de Versailles, Saint-Quentin-en-Yvelines, Université Paris-Saclay, UMR8212 – France

² Centre Français des Etudes Ethiopiennes – Éthiopie

³ Laboratoire de mesure du carbone 14 – CEA, DSM/LSCE, IRSN, MCC, CNRS, UMS2572 – France

⁴ Université de Lomé – Togo

Le pays Bassar (Nord du Togo) est l'un des principaux centres de sidérurgie ancienne d'Afrique de l'Ouest. Il a connu une phase d'activité intensive durant les 4 derniers siècles

de notre ère. Toutefois cette chronologie reste imprécise car seul le radiocarbone a pour l'instant été utilisé et que cette méthode de datation est limitée par un effet de plateau sur la courbe de calibration étalant l'intervalle des dates corrigées entre 1650 et 1950. Cette imprécision empêche notamment de saisir les synchronies et/ou la succession des techniques de réduction du minerai de fer identifiées dans ce contexte. L'archéomagnétisme constitue une alternative car cette méthode présente l'avantage de dater directement la dernière chauffe à haute température du bas fourneau mesuré. Cependant, elle est très peu utilisée en Afrique subsaharienne et plus largement sur les structures sidérurgiques. L'objectif de notre étude est de tester la faisabilité de l'archéomagnétisme sur plusieurs fourneaux du pays Bassar. Trois ateliers ont été sélectionnés (12 à Tchogma 1, 4 à Bitamkpmbe et 2 à Tabalé) et en leurs sein 18 structures appartenant à deux techniques sidérurgiques différentes. Les parois des bas-fourneaux ont été prélevées et orientées *in situ* par la technique du chapeau de plâtre avec un nombre de 7 à 10 blocs par structure. Les directions de l'aimantation thermorémanente acquise lors de la dernière chauffe du bas-fourneau ont été déterminées après désaimantation thermique et corrigées des effets d'anisotropie. Les directions sont bien groupées sur 10 structures. Pour les autres, la dispersion s'explique par des mouvements des parois après la dernière chauffe qu'il a été possible de corriger pour 5 d'entre elles. Finalement, 15 archéodirections moyennes ont été obtenues et la datation archéomagnétique a été réalisée avec la prédiction au site du modèle géomagnétique global *gufm* construit à partir de mesures directes de la direction du champ géomagnétique. Les datations s'échelonnent entre la seconde moitié du XVII^e siècle et le milieu du XX^e siècle avec une précision variant entre 25 et 85 ans. Elles mettent en évidence la continuité de la production sur le site de Tchogma 1 et l'utilisation contemporaine des deux techniques sidérurgiques. Ces résultats démontrent la faisabilité de l'archéomagnétisme pour dater la dernière phase de production du fer africain, ouvrant la voie à une meilleure restitution de la vie de ses sites métallurgiques et de l'évolution temporelle de l'activité à l'échelle régionale.

Mots-Clés : Archéomagnétisme, Métallurgie, Afrique de l'ouest, Datation

Apport des datations par les séries de l'uranium par imagerie FsLA ICP-MS à l'étude des dynamiques de peuplement du Levant au Pléistocène moyen et supérieur

Asmodée Galy^{1,2,3}, Christophe Pécheyran², Norbert Mercier¹

¹ Archéosciences-Bordeaux – Université Bordeaux Montaigne, CNRS, UMR6034 – France

² IPREM – Université de Pau et des Pays de l'Adour – CNRS, UMR5254 – France

³ Université de Bordeaux – France

Depuis près d'un siècle, le Levant livre une abondance de vestiges paléanthropologiques très divers sur un espace géographique restreint, corridor naturel entre l'Afrique et l'Eurasie, offrant une vision exceptionnelle des liens et interactions potentiels entre différents groupes humains au Pléistocène moyen et supérieur. L'étude de telles dynamiques de peuplement

nécessite une chronologie fiable et précise afin de de cerner les potentielles successions et/ou interactions possibles entre ces différents groupes humains.

Depuis les années 1960, le cadre chronologique général a été établi principalement à l'aide de méthodes paléodosimétriques. Néanmoins, aujourd'hui, ces chronologies présentent différentes limites, notamment en termes de précision. En parallèle, les datations radiométriques, et plus particulièrement les datations par les séries de l'uranium, sont bien moins exploitées, alors qu'elles sont théoriquement applicables à une très large variété de spéléothèmes et matériaux bio-inorganiques. En effet, la complexité des matériaux concernés, l'identification et la caractérisation des processus d'incorporation en radioéléments, mais aussi la mesure de ceux-ci à l'état d'ultra-traces (quelques ppt ou moins) mettent en exergue les limites des méthodologies traditionnellement utilisées (protocole chimique par dissolution de l'échantillon).

Récemment, nous avons développé une nouvelle méthodologie pour les datations par les séries de l'uranium, par l'imagerie isotopique par FSLA ICP-MS. Cette méthodologie montre différents avantages, notamment quant à la simplicité de préparation de l'échantillon, la minimisation de l'échantillonnage (mg ou moins), la caractérisation et la prise en compte des processus de diagénèse, mais aussi des limites de détection particulièrement faibles (de l'ordre du ppq). Différents verrous technologiques qui pesaient jusqu'alors sur les datations par les séries de l'uranium ont ainsi pu être levés. Le potentiel de cette nouvelle méthodologie nous permet alors de réappréhender et réévaluer les chronologies de sites clés du Levant, au travers de son application sur diverses natures de matériaux (spéléothèmes, dents, coquilles...).

Mots-Clés: Dynamiques de peuplement, Levant, Séries de l'uranium, Datation directe, Imagerie isotopique, Ultra trace, FSLA ICP-MS.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating applied to archaeology: what is new?

Sébastien Nomade¹, Alison Pereira²

¹ LSCE – CEA Saclay – France

² Géosciences Paris Saclay – CNRS, Université Paris-Saclay, UMR8148 – France

The dating of volcanic material including ash layers and lavas using $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ radio-isotopic method is characterized by major technical and technological improvements over the last 10 years which improved both the precision as well as the accuracy of the produced dates. The latest mass spectrometers equipped with high sensitivity multicollectors allow now to date smaller and/or younger K-rich material with precision and accuracy previously unreachable. It is now common with the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method to challenge and even in some case improve the accuracy of the radiocarbon dating in the 30-50 ka range period (*e.g* Giaccio *et al.*, 2017; Albert *et al.*, 2019) but also to date single 250 microns K-feldspars that are less than 200 ka (*e.g* Monaco *et al.*, 2022).

We will take examples of recent investigations to illustrate the new possibilities that are now offered to archaeologists working in geographic areas where volcanic materials could be found

together with lithic tools, fauna or human remains. These examples will cover the last 1.8 Ma and will concern various archaeological contexts. Moreover, these cases will illustrate a large part of datable material including K-Feldspars, Plagioclase, lavas, obsidian as well as tektites.

References cited

Albert *et al.*, (2019) Evidence for a large-magnitude eruption from Campi Flegrei caldera (Italy) at 29 ka. *Geology* <https://doi.org/10.1130/G45805.1>

Giaccio *et al.*, (2017) High-precision ^{14}C and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Campanian Ignimbrite (Y-5) reconciles the timescales of climatic-cultural processes at 40 ka. *Scientific Reports* 7:45940 DOI: 10.1038/srep45940

Monaco *et al.*, (2022) The Fucino 250-170 ka tephra record: New insights on peri-Tyrrhenian explosive volcanism, central Mediterranean tephrochronology, and timing of the MIS 8-6 climate variability. *Quaternary Science Reviews* 296, 107797. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107797>

Keywords: Argon, Ash layer, Obsidian, Tektites

Le site de Toca dos Coqueiros (Piauí, Brésil) : un défi pour la géochronologie ?

Nicolas Brot¹, Christelle Lahaye¹, Christine Hatté², Antonio Pérez-Balarez³,
Marcos Paulo De Ramos⁴, Eric Boeda³

¹ Archéosciences Bordeaux – CNRS, Université Bordeaux Montaigne, UMR 6034 – France

² LSCE – CEA, DRF/LSCE, Université Paris-Saclay, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, CNRS, UMRUMR8212 – France

³ ArScAn – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, Université Paris Nanterre, MCC, INRAP, CNRS, UMR7041 – France

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro – Brésil

Le site préhistorique de Toca dos Coqueiros est localisé dans le parc national de la Serra da Capivara (État du Piauí, Brésil), classé au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1991. Les dernières fouilles effectuées par une équipe franco-brésilienne depuis 2018 ont mis au jour d'importants vestiges lithiques caractéristiques de la fin du Pléistocène et du début de l'Holocène. L'observation de ces pièces démontre une évolution in situ du phénomène Itaparica caractérisé par des pièces unifaciales appelées lesmas, jusqu'ici datées uniquement entre 12 000 et 7 000 ans B.P. (non calibré). Ces dernières recherches ont permis la découverte de lesmas avec des caractères différents, a priori plus anciennes et datées stratigraphiquement de la transition Pléistocène- Holocène. Cette découverte inédite a nécessité la mise en place d'un cadre chronologique plus détaillé par la combinaison de la datation radiocarbone (^{14}C) et de la luminescence (OSL et IRSL). Les résultats de ces analyses géochronologiques se sont révélés inattendus avec l'observation d'inversions stratigraphiques, dont les origines sont actuellement indéterminées. Il semble que Toca dos Coqueiros soit un site complexe, pour lequel la combinaison des approches ne permet pas, pour l'heure, de lever les interrogations chronologiques. Cependant, les forts enjeux pour la Préhistoire sud-américaine justifient de poursuivre les investigations afin d'apporter des éléments de réponses à ce défi géochronologique.

Mots-Clés: Géochronologie, Luminescence, OSL, IRSL, Radiocarbone, Préhistoire, Brésil, Transition Pléistocène, Holocène, Itaparica, Lesmas, Inversions stratigraphiques, Phénomènes post-dépositionnels, Overdispersion.

Approche pluri-disciplinaire pour la datation des mines de cuivre néolithiques de Roua (Alpes-Maritimes)

Romain Bussone^{1,2}, Pierre Camps², Michel Peyret², Daniel Ferry³, Franck Suméra⁴, Loïc Gaudin⁵, Emmanuel Vartanian⁶, Céline Roque⁶

¹ ASM, Université Paul-Valéry – Montpellier 3, CNRS, MCC, UMR CNRS 5140 – France

² Géosciences Montpellier – Université Montpellier – CNRS – France

³ CINA M – Aix Marseille Université, CNRS, UMR7325 / UPR3118 – France

⁴ Aix-Marseille Université – CNRS, CCJ – France

⁵ ArkéoMap – UMR6566 CReAAH, University of Rennes – France

⁶ SAS Re.S.Artes France

Les mines de Roua sont de petites extractions de cuivre natif localisées dans le Dôme de Barrot. Elles livrent des indices d'une activité protohistorique. Des maillets en pierre et des reliquats de galeries creusées par le feu ont été identifiés par G. Mari et P. Rostan dans les années 1990. Cependant, les travaux anciens ont été sévèrement endommagés par les reprises à l'explosif des recherches modernes et contemporaines. Ainsi aucun écofact permettant d'obtenir une datation radiocarbone de l'activité ancienne n'avait jusqu'à présent été identifié dans ces mines. En l'absence d'éléments de datation, l'hypothèse d'une phase d'extraction néolithique, émise par G. Mari, n'a été que très rarement reprise par les archéologues. Pour obtenir l'âge des creusements par le feu, nous avons fait appel à plusieurs méthodes de datation. Pour chacune, des approches innovantes nous ont permis d'obtenir un âge fiable. Des analyses archéomagnétiques ont été réalisées sur l'encaissant minier permien. En 2019, une étude de faisabilité avait livré des résultats encourageants pour l'application de la méthode sur ce type de contexte minier. En 2019 et 2020, cinq portions de parois creusées par le feu ont été échantillonnées. Leur analyse livre des enregistrements directionnels fiables. Afin de vérifier l'ancienneté de l'extraction minière, il a été nécessaire de construire de nouvelles courbes de références centrées sur les mines pour le Néolithique et la Protohistoire (6000 – 300 BCE). Celles-ci ont été modélisées par une approche bayésienne à partir d'un inventaire de données archéomagnétiques et de spéléothèmes de haute résolution tous situés dans un rayon de 1 000 km autour des mines de Roua. L'actualisation des chronologies associées aux données directionnelles a permis de proposer des courbes qui diffèrent des modèles globaux générés sur les périodes anciennes.

Une autre méthode de datation a été expérimentée sur l'encaissant permien. Les outils de Thermoluminescence (TL) et de Luminescence optiquement stimulée (OSL) ont été appliqués sur un élément de paroi en grès dont la surface était recouverte de calcite, le protégeant ainsi des dispositifs d'éclairage des visites les plus récentes. La TL devant permettre de dater la chauffe de la paroi n'a pas donné de résultat concluant, mais l'OSL sur les cristaux

superficiels protégés par l'encroûtement a conduit à l'obtention de résultats exploitables (cf. Vartanian *et al.*, GMPCA 2023).

En 2020, un réseau de galeries jusqu'alors inexploré a livré plusieurs vestiges charbonneux résultants de creusements par le feu ou de dispositifs d'éclairage. Les écofacts analysés par radiocarbone ont fait l'objet d'une sélection rigoureuse. En premier lieu, nous nous sommes assurés au moyen d'une analyse anthracologique que les charbons présentaient des caractéristiques anatomiques et taxonomiques adéquates afin que les âges obtenus soient exemptés d'effet vieux-bois. Dans un second temps, nous avons mené une étude destinée à discriminer les charbons provenant de bûchers de creusements de ceux utilisés pour l'éclairage. Afin d'y parvenir, la méthode de paléothermométrie Raman a été utilisée pour estimer la température maximale atteinte par ces charbons.

Ces méthodes de datations livrent des âges concordants. L'extraction du cuivre s'est déroulée entre le milieu du IV^e millénaire et le III^e millénaire BCE, ce qui fait de Roua l'une des plus anciennes mines d'Europe occidentale.

Ce travail a bénéficié du soutien du LabEx ARCHIMEDE au titre du programme "Investir L'Avenir" ANR-11-LABX-0032-01.

Mots-Clés: Néolithique, Mine, Archéomagnétisme, Thermoluminescence, OSL, Anthracologie, Paléothermométrie, Bayésien

Identification des phases de cristallisation secondaires dans les mortiers de chaux archéologiques par imagerie LIBS et Photoluminescence sous UV en vue de datation par Carbone 14

Nicolas Herreyre^{1,2}, Christine Oberlin², Anne Schmitt², Amina Bensalah-Ledoux¹, Gérard Panczer¹, Vincent Motto-Ros¹, Clothilde Comby-Zerbino¹

¹ iLM – Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, Institut Lumière Matière, UMR5306 – France

² ArAr – UMR5138, Univ. Lyon 1 – CNRS, UMR5138 – France

Le mortier de chaux est un matériau important en archéologie du bâti. En effet, son étude permet d'identifier les différentes phases de construction d'un bâtiment. Sa prise, par incorporation de CO₂ atmosphérique lors de sa mise en œuvre, en fait par ailleurs un candidat idéal pour dater ces phases. Mais la datation directe des mortiers par radiocarbone reste toujours un défi pour la communauté des chercheurs et archéologues du fait de la présence de carbonates autres que le CaCO₃ anthropogénique comme par exemple les carbonates géologiques ou les éventuelles phases secondaires de calcite (recristallisations) (1,2). La caractérisation du matériau est un préalable nécessaire avant toute tentative de datation. Cette caractérisation a principalement pour objectif d'identifier les différents carbonates de calcium et de rendre possible la séparation du liant d'une part, des carbonates faussant la datation d'autre part. Nous montrerons, sur différents types d'échantillons comment la technique d'imagerie élémentaire LIBS (spectroscopie d'émission du plasma induit par laser) couplée à l'irradiation UV permet l'identification de zones de recristallisation de CaCO₃. Nous confronterons ces résultats à des techniques de références. La LIBS a déjà montré son intérêt pour l'identification et la caractérisation des agrégats et du liant (3). La nouvelle piste que nous présentons encourage l'utilisation de la LIBS combinée aux UV pour la caractérisation des mortiers de chaux.

Références

1. Urbanová, P., Boaretto, E. and Artioli, G. (2020) 'The State-of-the-Art of Dating Techniques Applied to Ancient Mortars and Binders: A Review', *Radiocarbon*, 62(3), pp. 503-525. doi:10.1017/RDC.2020.43.
2. Hajdas, I., Lindroos, A., Heinemeier, J., Ringbom, Å., Marzaioli, F., Terrasi, F., Pas-sariello, I., Capano, M., Artioli, G., Addis, A., Secco, M., Michalska, D., Czernik, J., Goslar, T., Hayen, R., Van Strydonck, M., Fontaine, L., Boudin, M., Maspero, F., Panz-eri, L., Galli, A., Urbanová, P. and Guibert, P. (2017) 'Preparation and Dating of Mortar Samples-Mortar Dating Inter-Comparison Study (MODIS)', *Radiocarbon*, 59(6), pp. 1845- 1858. doi:10.1017/RDC.2017.112.
3. Richiero, S., Sandoval, C., Oberlin, C., Schmitt, A., Lefevre, J.-C., Bensalah-Ledoux, A., Prigent, D., Coquidé, C., Valois, A., Giletti, F., Pelascini, F., Duponchel, L., Dugourd, P., Comby-Zerbino, C. and Motto-Ros, V. (2022) 'Archaeological Mortar Characteriza-tion Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) Imaging Microscopy', *Applied Spectroscopy*, February 2022, p. 1-10. doi:10.1177/00037028211071141.

Mots-Clés : LIBS, Mortiers de chaux, Cristallisation secondaire, Datation 14C

La datation ¹⁴C des sites du début du Néolithique céramique au Levant Sud : défis, apports et limites

Lucile Beck¹, Emmanuelle Emmanuelle Delqué-Količ¹, Matthieu Lebon², Christine Oberlin³, Philippe Lanos⁴, Julien Vieugué⁵, Anna Eirikh-Rose⁶, Yosef Garfinkel⁷, Avraham Gopher⁸, Avraham Levi⁶, Katia Zutovski⁸

¹ LMC 14, CEA Saclay, LSCE-IPSL, CNRS-CEA-UVSQ, Université Paris-Saclay – France

² HNHP – MNHN, CNRS, Université de Perignan Via Domitia, UMR7194 – France

³ ArAr – Université Lumière – Lyon 2, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, UMR5138 – France

⁴ UMR 5060 IRAMAT-CRP2A, Université Bordeaux-Montaigne et UMR 6118 Géosciences-Rennes, Université Rennes 1 – France

⁵ TEMPS – CNRS, UMR8068 – France

⁶ Israel Antiquities Authority – Israël

⁷ Hebrew University of Jerusalem – Israël

⁸ Tel Aviv University – Israël

La chronologie des différentes cultures constitutives des débuts du Néolithique céramique au Levant Sud fait depuis des décennies l'objet de débats très controversés au sein de la communauté scientifique. En fonction des spécialistes, le «*Yarmoukien*» serait antérieur, contemporain ou postérieur au «*Jericho IX-Lodien*». Les données chronologiques actuellement disponibles pour les débuts du Néolithique céramique au Levant Sud s'avèrent toutefois trop lacunaires pour étayer l'une ou l'autre des théories. Outre la rareté des évidences stratigraphiques permettant d'établir la chronologie relative du «*Yarmoukien*» et du «*Jericho IX-Lodien*», le manque criant de dates C14 fiables empêche d'en saisir la chronologie absolue. 57 des 65 datations radiocarbones jusqu'ici accomplies l'ont été sur des charbons d'origine indéterminée issus de contextes secondaires problématiques (couches sédimentaires, fosses détritiques, etc.).

Dans le but de résoudre ces problèmes de chronologie, nous avons entrepris dans le cadre du projet ANR CERASTONE la datation C14 de six sites emblématiques des débuts du Néolithique céramique au Levant Sud : Sha'ar Hagolan et Munhata attribués au «*Yarmoukien*» ; Lod, Nahal Yarmouth 38, Tzora et Ain Miri associés au «*Jericho IX-Lodien*». Nous avons élaboré une stratégie d'échantillonnage spécifique dans un contexte où la datation radiocarbone des sites reste un défi du fait de l'extrême rareté des charbons et des graines carbonisées, de la mauvaise conservation du collagène, etc. Nous avons en l'occurrence sélectionné un grand nombre d'échantillons à courte durée de vie (de différents types (environ 220 ossements humains et animaux et 68 tessons de poterie présentant des traces de résidus carbonisés) issus de contextes primaires bien définis (sols d'occupation néolithiques, sépultures).

La préservation de l'ensemble des ossements a été évaluée par Infrarouge par transformée de Fourier (FTIR) et analyse CHN. Les résultats montrent une très mauvaise conservation du collagène ; environ 12 ossements seulement seraient, pour l'instant, de potentiels candidats pour une datation ¹⁴C. Concernant les tessons, 20 échantillons issus de Sha'ar Hagolan et Munhata contiennent du carbone en quantité suffisante.

Cette communication présentera les premières datations carbone-14 de ces sites attribués au «*Yarmoukien*». Les résultats, encore préliminaires, obtenus sur les tessons fournissent des dates

entre 6200 et 5500 avant J.-C. Ils seront complétés très prochainement par ceux obtenus sur les ossements sélectionnés.

Mots-Clés: Datation ^{14}C , Néolithique, Céramique, Levant Sud, Yarmoukien, FTIR, CHN, Os

Datation $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ haute précision des tectites associées à une industrie bifaciale dans le bassin de Bose au sud de la Chine (sites de Xiaomei et Fengshudao) et au Vietnam (sites de Go Da et Roc Tung 1)

Fred Jourdan¹, Veronique Michel^{2,3}, Celia Mayers¹, Adam Frew¹, Bernard Gratuze⁴, Guanjun Shen⁵, Sylvain Gallet², Chrystèle Véрати², Marie-Hélène Moncel⁶, Dominique Cauche⁷, Wei Wang⁸, Anatoly P. Derevianko⁹, Sergey A. Gladyshev⁹, Alexander V. Kandyba⁹, Henry De Lumley⁷

¹ Western Australian Argon Isotope Facility, School of Earth and Planetary Sciences, Curtin University – Australie

² GEOAZUR – Université Côte d'Azur, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, UMR7239 – France

³ CEPAM – Université Côte d'Azur, CEPAM, UMR7264 – France

⁴ IRAMAT – Université d'Orléans, CNRS, UMR7065 – France

⁵ College of Geographical Sciences, Nanjing Normal University – Chine

⁶ HNHP – MNHN, Université de Perpignan Via Domitia, CNRS, UMR7194 – France

⁷ IPH, CNRS – France

⁸ Institute of Culture Heritage, Shandong University, Qingdao Shandong – Chine

⁹ Institute of Archaeology and Ethnography, Siberia Branch, Russian Academy of Sciences – Russie

De nombreux bifaces découverts dans une centaine de sites du Paléolithique inférieur, localisés pour la plupart d'entre eux sur la 4ème terrasse (T4) de la rivière Youjiang, situés dans le bassin de Bose au sud de la Chine, ont été datés d'environ 800 ka. Cet âge a été obtenu par la datation $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ par fusion totale de 9 à 12 sous-échantillons de 10-15 mg de quatre tectites découvertes en association directe avec l'industrie sur le site de Nalai (Michel *et al.*, 2021) et sur des tectites du site de Bogu et de Yangwu, publiées sans spectre d'âge et avec des données analytiques peu détaillées (Hou *et al.*, 2000). Les tectites sont des verres produits par la fusion de la croûte continentale au cours de l'impact d'une météorite. Cet impact s'accompagne de la formation d'un cratère dont la localisation se situerait en Indochine ou dans le sud du Laos. Ces tectites ont été retrouvées à des distances variables de la structure d'impact, dans les régions de l'Asie du sud-est jusqu'en Antarctique, et font partie du groupe des tectites australasiennes avec une composition chimique caractéristique (Schwarz *et al.*, 2016).

Elles contiennent suffisamment de K pour être datées par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (~ 2,0-2,5 % massique en K_2O). Pour obtenir une meilleure précision de cette datation à environ 800 ka (Michel *et al.*, 2021), nous présentons ici de nouveaux résultats *via* la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ par chauffage par incrément de température «step-heating» éliminant au cours des premières étapes de chauffage l'argon hérité présent dans les tectites et conduisant à: (1) des âges plateau, (2) des âges isochrones correspondants. Les analyses ont été réalisées sur trois

tectites du site de Xiaomei, trois tectites du site de Fengshudao (Bassin de Bose, Chine), une tectite du site de Go Da et une tectite du site de Roc Tung 1 (localisés tous deux à côté de la ville de An Khê, Vietnam). Les tectites ont été découvertes dans des sédiments latérisés rouges, à l'exception du site de Go Da, toutes en association avec une industrie lithique bifaciale. Comme à Nalai, les trois tectites de Fengshudao sont anguleuses ainsi que celle de Roc Tung 1, ne montrant pas d'abrasion fluviale, ni de remaniement et peuvent être considérées comme de bons marqueurs chronologiques. Les analyses chimiques réalisées pour déterminer les éléments majeurs et les éléments des terres rares montrent que les tectites appartiennent au groupe des tectites australasiennes. Les analyses $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ultra-précises conduisent à un âge moyen de $787,2 \pm 8,2$ ka (2s) (MSWD=0,96, Probabilité=0,45). Ce nouvel âge est en accord avec l'âge haute précision de $788,1 \pm 2,8$ ka (2s) (MSWD = 0,97, P=0,48) récemment obtenu (Jourdan *et al.* 2019) et de la même manière sur des tectites australasiennes. Cette nouvelle datation permet d'attribuer un âge moyen précis de $787,2 \pm 8,2$ ka (2s) à l'industrie bifaciale de cette région de l'Asie du sud-est.

Hou, Y. *et al.* (2000). *Science*, 287, 1622–1626.

Jourdan, F. *et al.* (2019). *Meteoritics & Planetary Science*, 54, 2573-2591.

Michel, V. *et al.* (2021). *Journal of Human Evolution*, 153, 102953.

Schwarz, W.H. *et al.* (2016). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 178, 307-319.

Mots-Clés: Industries bifaciales, Biface, Chine, Vietnam, Tectite, Datation, Méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Step heating

La séquence archéologique du Pléistocène moyen de la grotte du Lazaret, France : Nouvelles datations par U-Th et par le paléomagnétisme du plancher stalagmitique supérieur

Yu-Min Chou¹, Veronique Michel ^{*2,3}, Huihui Yang¹, Yu-Chun Kan^{4,5}, Hsun-Ming Hu⁴, Tsai-Luen Yu⁶, Patricia Valensi⁷, Dominique Cauche⁸, Marie-Hélène Moncel⁷, Henry de Lumley⁸, Chuan-Chou Shen⁴

¹ Center of Marine Magnetism, Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen – Chine

² GEOAZUR – Université Côte d'Azur, CNRS : UMR7239, Observatoire de la Côte d'Azur – France

³ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR7264 – France

⁴ HISPEC, Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei – Taiwan

⁵ Research Center for Future Earth, National Taiwan University, Taipei – Taiwan

⁶ Marine Industry and Engineering Research Center, National Academy of Marine Research – Taiwan

⁷ HNHP – MNHN, Université de Perpignan Via Domitia, CNRS, UMR7194 – France

⁸ IPH, CNRS – France

La grotte du Lazaret, à Nice, est considérée comme étant un site clé européen pour son occupation humaine au cours de la transition Paléolithique inférieur-moyen et plus particulièrement par son Acheuléen tardif, ses restes humains et sa richesse en restes fauniques en très bon état de conservation. Les fouilles conduites par H. de Lumley entre 1967 et 2017

ont livré vingt-neuf niveaux d'occupation humaine ou unités archéostratigraphiques (UA1 à UA29) dans lesquels ont été découverts vingt-neuf restes d'Anténéantertiens (Lumley de, 2018). Vingt-six espèces de grands mammifères ont été identifiées : treize taxons carnivores et treize ongulés (Valensi *et al.*, 2018). Les niveaux archéologiques inférieurs du remplissage sédimentaire de la grotte ont livré parmi de riches assemblages lithiques, des bifaces acheuléens, qui disparaissent dans les niveaux supérieurs, soit au sommet de l'ensemble stratigraphique CIII, avec l'émergence de techno-complexes du Paléolithique moyen (petits outillages et débitages variés) (Cauche, 2012 ; Lumley *et al.*, 2004). Les niveaux archéologiques sont recouverts par un plancher stalagmitique supérieur E, principalement localisé au fond de la grotte. Ce plancher en calcite, bien conservé, est un solide repère chronologique. Des datations U-Th absolues, par MC-ICP-MS au laboratoire HISPEC à Taipei (Taiwan) réalisées sur trois carottes : LAZ-N1 (31 cm de long), LAZ-N2 (18 cm de long), LAZ-N3 (12 cm de long), d'un diamètre Ø50 mm sont présentées ici. Les carottes ont été forées dans les zones G26, G27 et O31 respectivement. Les mesures du paléomagnétisme réalisées à l'Institut de Géologie et Géophysique, Chinese Academy of Science, Beijing, en Chine, parallèlement aux datations U-Th, sur toute la longueur de la carotte LAZ-N1 sont également présentées. Les résultats de datation U-Th des trois carottes, révèlent que le plancher s'est formé au cours des stades isotopiques marins (MIS) 5, 3 et 1, au cours de périodes tempérées. L'évènement paléomagnétique post-Blake et la fin de l'évènement Blake sont mis en évidence à 102,7-101,2 ka et à 119,7 ka respectivement. Ces résultats de datation précisent que les niveaux archéologiques sont plus anciens que 120 ka et confortent nos résultats de datation ESR/U-Th combinée sur émail dentaire qui placent les niveaux archéologiques sous-jacents entre 190 et 120 ka (Michel *et al.*, 2018). Ces données sont en accord avec la biostratigraphie qui situe les dépôts archéologiques au cours d'une période froide de la fin du Pléistocène moyen (MIS 6).

Cauche, D., 2012. C.R. Palevol 11, 519-527.

Lumley de, M. A. (Ed.), 2018. CNRS Editions, Paris, 664 p. ISBN : 978-2-271-12018-2

Lumley de *et al.*, 2004. Le sol d'occupation acheuléen de l'unité archéostratigraphique UA 25 de la grotte du Lazaret, Nice, Alpes-Maritimes. Edisud, Aix-en-Provence, 493 p.

Michel, V., Duval, M., Shen, G., 2018. Datation des dépôts pléistocènes de la grotte du Lazaret. In : Lumley de, M.-A. (Ed.) Les restes humains de la grotte du Lazaret, Nice, Alpes-Maritimes, France. Des Homo erectus européens évolués en voie de néandertalisation. CNRS Editions, Paris, chapter II, p. 37-50.

Valensi, P. *et al.*, H., 2018. Contexte paléoenvironnemental et paléoclimatique des chasseurs acheuléens de la grotte du Lazaret. In M.-A. de Lumley dir. « Les restes humains fossiles de la grotte du Lazaret. Nice, Alpes-Maritimes, France. », CNRS Editions, ch. 5 : 67-104.

Mots-Clés : Paléolithique Inférieur, Paléolithique Moyen, Plancher Stalagmitique, Datation UTh, Post Blake, Blake, Paléomagnétisme

Développements méthodologiques autour de la datation par luminescence (TL/OSL) d'un prélèvement de roche magmatique provenant des mines de cuivre néolithiques de Roua (Alpes-Maritimes)

Emmanuel Vartanian¹, Céline Roque¹, Romain Bussone², Franck Suméra³

¹ SAS Re.S.Artes – France

² ASM, UMR 5140 – Université Paul-Valéry – Montpellier 3, CNRS, MCC – France

³ Aix-Marseille Université, CNRS, CCI – France

Les mines de Roua sont de petites mines de cuivre natif localisés dans le Dôme de Barrot. Elles livrent des indices d'une extraction protohistorique. Des maillets en pierre et des reliquats de galeries creusées par le feu sont identifiées par G. Mari et P. Rostan dans les années 1990. La datation de leur activité dans les périodes anciennes est une question ouverte et un travail croisant différentes méthodes (Archéomagnétisme, C14, TL et OSL) a permis d'en définir la chronologie (cf. Bussone *et al.*, GMPCA 2023).

Dans le cadre de ce travail, nous avons exploré les possibilités offertes par les méthodes de datation s'appuyant sur les propriétés de luminescence des cristaux contenus dans la roche, pour déterminer l'ancienneté du creusement des galeries ou la dernière exposition à la lumière des parois.

Pour cela, un échantillon de la paroi a été sélectionné. Il a pour particularité de s'être détaché après avoir été recouvert par un encrouement calcaire. Il se présentait face contre sol, donc à l'abri de toute perturbation éventuelle liée à la présence de lumière dans la galerie d'où il provient. Ainsi, à partir d'une sélection fine des grains situés sous la couverture calcaire, nous avons eu la possibilité d'étudier le comportement de ces cristaux en thermoluminescence pour déterminer l'âge de leur dernière chauffe et en OSL pour évaluer l'âge de leur dernière chauffe ou de leur dernière exposition à la lumière. Dans les deux cas, seules les analyses et les mesures permettent de savoir d'une part si le chauffage de la paroi a été suffisant pour permettre de dater un moment de l'activité de la mine, et d'autre part si l'exposition du bloc à la lumière, avant son recouvrement par la couche calcaire et sa chute au sol, a été suffisante pour être datée.

A l'issue de ces expériences, il s'est avéré que les cristaux extraits n'ont pas été suffisamment chauffés dans le passé pour permettre leur datation par TL. Par contre, les mesures d'OSL ont été pleinement exploitables (bonne reproductibilité des mesures, valeur de dose naturelle réaliste). Il a donc été possible de dater la remise à zéro du chronomètre OSL (correspondant le plus vraisemblablement à la dernière exposition à la lumière) au cours du III^e millénaire Av. J.-C.

Ces résultats ont été trouvés compatibles avec les datations acquises par carbone 14 et par archéomagnétisme dans le même contexte (cf. Bussone *et al.*, GMPCA 2023).

Mots-Clés: OSL (Luminescence Stimulée Optiquement), TL (Thermoluminescence), Roche Magmatique

Les réseaux d'échanges inter-régionaux en Asie du Sud-Est au 1er millénaire avant notre ère : un cadre chronologique difficile à préciser

Emmanuelle Delqué-Količ¹, Bérénice Bellina², Aude Favereau³, Cristina Castillo⁴, Laure Dussubieux⁵, Ingrid Caffy¹

¹ LMC14/LSCE – LSCE-IPSL (CNRS-CEA-UVSQ), Université Paris-Saclay – France

² PrêTech – Université Paris Nanterre, CNRS, UMR7055 – France

³ National Cheng Kung University – Taïwan

⁴ University College, London – Royaume-Uni

⁵ Elemental Analysis Facility, Field Museum Chicago – États-Unis

Les derniers siècles avant notre ère ont vu la mise en place progressive des routes maritimes de la Soie depuis le Monde Méditerranéen et la Chine. En Asie du Sud et du Sud-Est, cette période est marquée par des développements politiques et économiques sans précédents consacrant l'émergence des premiers états et le développement de réseaux marchands à l'échelle supra-régionale.

Or il existe assez peu de datations pour la période et les régions concernées en particulier en Asie du Sud et du Sud-Est. Les preuves de ces échanges manquent, pour beaucoup, d'un ancrage chronologique précis. Pourtant, la Mission Archéologique française en Thaïlande et Birmanie péninsulaire dirigée par Bérénice Bellina a obtenu un total de 105 dates à partir de divers matériaux organiques, principalement du charbon de bois, exhumés des premières villes portuaires des routes de la soie et des grottes de leur arrière-pays immédiat. 77 datations radiocarbone proviennent des villes dont certaines cosmopolites, sont des hauts lieux de transferts culturels dont les productions ont ensuite essaimé à l'échelle supra-régionale. Ancrer les différents épisodes de ces créations et de leur adoption régionale est essentiel pour appréhender un processus culturel majeur qui a façonné l'Asie du Sud-Est jusqu'à aujourd'hui. Or, outre le peu de datations sur les 800 dernières années avant notre ère, la présence d'un « plateau radiocarbone » sur cette période réduit considérablement la précision des datations. Pour contourner ces obstacles et tenter de préciser le cadre et le rythme des évolutions sociales et culturelles de cette période, les auteurs se proposent de faire appel aux modélisations chronologiques en utilisant les statistiques bayésiennes. Deux sites importants de Thaïlande- Birmanie péninsulaire fouillés par la Mission, Khao Sam Kaeo (Thaïlande, 32 dates ¹⁴C) et Maliwan (Birmanie, 36 dates ¹⁴C), ont été choisis dans une première approche pour construire des scénarios avec le logiciel ChronoModel. De nouvelles datations radiocarbone ont été réalisées sur des restes végétaux bien identifiés ainsi que sur des céramiques à dégraissant organique pour compléter les données radiocarbone sur charbons déjà disponibles. La présence de matériel céramique importé dans certains niveaux a fourni un autre repère chronologique mais le peu de contraintes stratigraphiques a grandement limité la portée des modèles. Pour autant, la démarche entreprise pour construire le raisonnement chronologique a permis de questionner le matériel et le terrain autrement et d'envisager des stratégies mieux adaptées pour la datation de cette période peu propice à l'utilisation du carbone 14.

Mots-Clés : Radiocarbone, Asie du Sud Est, Modélisation chronologique

Décomposition thermique de mortiers pour la datation au ^{14}C : résultats de l'inter-comparaison internationale MODIS-2

Jean-Pascal Dumoulin¹

¹ LMC14 – LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay – France

La datation au carbone 14 des mortiers est depuis des années un sujet délicat qui mobilise de nombreux laboratoires à travers le monde. La difficulté majeure que présente la datation de ce type de matériau est que les contaminants susceptibles de vieillir ou rajeunir l'échantillon sont de la même nature que l'échantillon lui-même, à savoir des carbonates de calcium (CaCO_3). Le LMC14 (Laboratoire de Mesure du Carbone 14), plateforme nationale au service de la communauté scientifique française a tenté de mettre au point une méthode fiable pour la datation des mortiers. Dans ce cadre, nous avons pris part à la campagne d'inter-comparaison internationale MODIS-2 (Mortar Dating Inter-Comparison Study). Nous allons présenter ici le protocole de préparation que nous avons développé incluant l'extraction du CO_2 par la méthode de décomposition thermique. Nous présenterons l'étude préalable, menée par thermogravimétrie, qui a permis de sélectionner les températures d'extraction adaptées. Les mesures de ^{14}C ont été effectuées sur ARTEMIS, le spectromètre de masse par accélérateur (SMA) de Saclay. Nous comparerons nos résultats aux valeurs consensuelles trouvées par les différents laboratoires et nous discuterons les points forts et les limites de notre méthode.

Mots-Clés : Datation ^{14}C , Mortiers, Inter-comparaison, Décomposition thermique

Discussions chronologiques autour du baptistère de Brioude (Haute Loire). Apport de la modélisation bayésienne par Chronomodel

Fabrice Gauthier^{1,2}, Jean-Claude Lefevre³

¹ UMR 6298 ArTeHiS – CNRS – France

² INRAP – France

³ Paris-Sud 11 Université. UMR 8148 GEOPS – France

A la fin de l'Antiquité et pendant le premier Moyen Âge, la tombe du martyr Julien a fait de la ville de Brioude un centre religieux majeur des Gaules. Plusieurs édifices, découverts par des fouilles archéologiques, côtoient l'édifice martyrial, dont un baptistère. Les baptistères sont des bâtiments emblématiques des premiers temps chrétiens. Réservé à la cérémonie essentielle du baptême, qui fait du catéchumène, une jeune personne ayant été soumis à une longue préparation religieuse, un être complet et véritable, intégré à la communauté par sa participation à la synaxe eucharistique. La cuve baptismale, seul aménagement liturgique indispensable, permet d'identifier le bâtiment. La chronologie de ces édifices reste le plus souvent difficile à établir à moins de deux siècles de précision. A Brioude, ce bâtiment conserve des marqueurs chronologiques de diverses natures : typo chronologique (verre, céramique, accessoire de vêtement), numismatiques, épigraphiques et de nombreuses datations radiocarbone de sépultures

inhumées dans ou à proximité de celui-ci. C'est le recours aux statistiques bayésiennes par l'usage du logiciel Chronomodel, qui a permis d'intégrer ces différents paramètres dans un modèle chrono stratigraphique. Il a tenu aussi compte des constructions et des faits archéologiques antérieurs et postérieurs et nous a livré des fourchettes de probabilité pour la construction et l'abandon du bâtiment. La création de ce modèle nous a aussi permis de préciser la chronologie de l'église qui s'est substitué à lui et de résoudre un problème d'attribution épigraphique.

Mots-Clés: Chronomodel, Chronostratigraphie, Brioude, Baptistère, Modélisation Bayésienne

Combiner des âges, des informations stratigraphiques et paléomagnétiques par la modélisation hiérarchique bayésienne

Kim Genuite¹, Anne Philippe², Jean-Jacques Bahain³, Andrew Farrant⁴, Michael J. Grappone⁵, Damase Mouralis⁶, Carole Nehme⁶, Dominique Todisco⁶, Pierre Voinchet³

¹ PACEA – Université de Bordeaux, CNRS: UMR5199 – France

² LMJL – Université de Nantes – France

³ MNHN – CNRS: UMR6569 – France

⁴ British Geological Survey – Royaume-Uni

⁵ University of Liverpool – Royaume-Uni

⁶ IDEES – Université de Rouen, CNRS, UMR6266 – France

L'utilisation croissante des approches de modélisation statistique bayésienne en géochronologie conduit les archéologues et les géomorphologues à tenter de combiner les résultats de datation de différentes méthodes dans des modèles stratigraphiques de plus en plus complexes. Cependant, l'utilisation de la modélisation statistique bayésienne sur les données magnétostratigraphiques reste marginale et est surtout appliquée aux modèles d'âge des sédiments marins et lacustres plutôt qu'aux recherches archéologiques et géomorphologiques. Ce travail vise à proposer une méthode simple pour combiner des âges issus de diverses méthodes avec des contraintes magnétostratigraphiques, dans un modèle hiérarchique bayésien. Cette méthode permet à la fois de corriger les âges et d'attribuer un objet daté à une période magnétique spécifique, à condition de disposer de suffisamment de données et de contraintes chronologiques relatives.

Mots-Clés: Bayésien, Paléomagnétisme, ESR, Cosmonucléides, Archéologie, Géomorphologie

Stratigraphie, Matériaux de construction et Datation de la Mosquée de Sidi Ghanem à Mila en Algérie

Messaoud Hamiane¹, Kamel Bouzetine

¹ Université M'Hamed Bougara Boumerdes – Algérie

L'analyse stratigraphique appliquée à l'espace architecturale de la mosquée de Sidi Ghanem de Mila, au travers des empreintes matériels inscrites dans les maçonneries, nous a permis de reconnaître les différentes phases constructives et d'en définir sept (07) unités stratigraphiques. La chronologie relative issue de la stratigraphie, de la caractérisation des matériaux de construction, nous a permis de situer les différentes phases historiques de cette mosquée et d'en déduire une date relative de construction par rapport aux récits historiques. L'analyse chronologique absolue par luminescence stimulé (OSL), nous a permis de mieux préciser la date de construction de la première partie de cet édifice, qui se situe dans l'intervalle (670-694) AP.JC

Mots-Clés: Mosquée Sidi Ghanem, Matériaux de construction, Stratigraphie, Datation

Comment estimer les temporalités de la métallurgie du fer en Afrique subsaharienne ? Datations radiocarbone et archéomagnétiques à Aplahoué (sud Bénin)

Gwenaël Hervé¹, Emmanuelle Delqué-Količ², Caroline Robion-Brunner³, Julien Maintenant⁴, N'tcha Gérard Tidou Kouagou^{5,6}, Didier N'dah⁶, Equipe Lmc14², Alexa Höhn⁷, Camille Wandres¹, Aurélie Van Toer¹, Stéphanie Leroy⁸

¹ LSCE/IPSL, CEA, CNRS, UVSQ, Université Paris-Saclay – France

² LMC14, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay – France

³ Centre Français des Etudes Ethiopiennes – Éthiopie

⁴ ACTER Archéologie – France

⁵ TRACES – EHESS, Université Toulouse – Jean Jaurès, MCC, CNRS, UMR5608 – France

⁶ Université d'Abomey-Calavi – Bénin

⁷ Goethe-Universität Frankfurt am Main – Allemagne

⁸ LAPA – CEA Saclay, CNRS, UMR5060 – France

La métallurgie du fer est un des marqueurs principaux du passé africain depuis au moins 3 millénaires. Ses temporalités restent cependant mal connues en raison du faible nombre de dates par site (une date le plus souvent) et de la dépendance aux seules datations radiocarbone. La mauvaise estimation de la durée et du rythme de l'activité sidérurgique à l'échelle du site limite les interprétations sur la quantité de fer produite ou encore sur l'impact environnemental de la métallurgie. Notre étude méthodologique dans le secteur d'Aplahoué au sud du Bénin montre l'intérêt de multiplier les dates et de croiser les méthodes pour mieux appréhender la vie d'un site sidérurgique. Les analyses par radiocarbone sur charbons et par archéomagnétisme se sont portées sur 3 sites stratifiés fouillés depuis 2021, deux sites sidérurgiques (Dolomey et Kpeta 1) et un site d'habitat (Kpeta 2). La datation radiocarbone du métal avait également été envisagée mais les scories se sont révélées très pauvres en inclusion de métal.

Les charbons de bois ont été soit prélevés dans les couches sédimentaires manuellement ou par flottage soit extraits de scories. Après analyse anthracologique, 21 échantillons ont été sélectionnés pour datation par AMS. En l'absence de bas-fourneaux, les analyses

archéomagnétiques portent pour l'instant sur des céramiques, des tuyères et des fragments de parois de four retrouvés dans les différentes couches des sites. L'archéointensité du champ géomagnétique a été déterminée pour chaque objet par le protocole de Thellier-Thellier. Même si deux dates radiocarbone pourraient indiquer une activité métallurgique plus ancienne au 10^e siècle ou au début du 11^e siècle, les autres dates radiocarbone fournissent des distributions de date semblables avec des intervalles à 95% de confiance entre le début du 14^e et le début du 15^e siècle CE. Ces résultats indiquent une durée maximale de l'activité métallurgique d'environ un siècle. Cependant, la précision du radiocarbone est insuffisante pour déterminer si l'activité a pu se concentrer sur une durée plus courte, quelques décennies par exemple. L'archéomagnétisme fournit des éléments de discussion à ce propos car la courbe de référence de la variation séculaire en Afrique de l'Ouest présente une variation significative de l'intensité entre le début 14^e et le début du 15^e siècle CE avec une diminution de 42 à 35 μ T environ. En couvrant l'ensemble de cette gamme de valeurs, les résultats d'archéointensité suggèrent que l'activité métallurgique s'est échelonnée sur environ un siècle.

Mots-Clés : Métallurgie du Fer, Datation, Radiocarbone, Archéomagnétisme, Afrique de l'Ouest

Apports de l'approche intégrée dans la définition des temporalités d'un site archéologique Application au site de Chuchuwayha (Colombie britannique, Canada)

Jean-Jacques Delannoy¹, Anita Quiles², Régis Braucher³, Lucile Beck⁴, Edwige Pons-Branchu⁴, Julien Jacquet¹, Emilie Chalmin¹

¹ EDYTEM – Université Savoie Mont Blanc, CNRS, UMR5204 – France

² Institut français d'archéologie orientale du Caire – Pôle Archéométrie – Égypte

³ CEREGE – Aix Marseille Université, CNRS, UMR7330 – France

⁴ LSCE – CEA, CNRS : UMR8212, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines – France

Chuchuwayha est un site archéologique majeur de la vallée de la Similkameen (Colombie britannique - Canada). Replacer ses vestiges archéologiques, son art rupestre et ses aménagements anthropiques dans l'histoire du site est une des priorités de la Upper Similkameen Band tant dans une (re)connaissance plus approfondie de ce lieu sacré que dans une volonté de transmission aux générations futures. C'est dans cette démarche que s'inscrit le programme de recherche franco-canadien «Chuchuwayha» (1).

L'approche globale du site a été privilégiée afin de rechercher l'ensemble des supports permettant de contraindre dans l'espace et le temps la mise en place de l'abri-sous-roche, l'évolution de ses parois, la sédimentation, les vestiges qui y sont contenus et leurs liens avec la réalisation des actes graphiques. La cartographie archéo-géomorphologique, les relevés stratigraphiques, la distribution des vestiges et leur insertion dans la modélisation 3D du site ont permis de construire une chronologie relative des événements naturels et des actes anthropiques qui ont marqué et construit le site. Cette appréhension des temps du site dans

ses différentes dimensions spatiales (paroi, sol et sous-sol) a permis de définir les secteurs clés pour réaliser des prélèvements en vue de datation absolue. Trois méthodes ont ainsi pu être mobilisées (cosmogéniques Al-Be, ^{14}C et U/TH). Les résultats obtenus permettent de poser un cadre chronologique robuste de l'évolution physique du site, des différentes étapes de fréquentation et des périodes de réalisation de certains pictographes. L'ensemble de ces résultats ont été intégrés dans une frise chrono-systémique afin de discuter des différentes étapes d'évolution du site et plus particulièrement de leurs résonances avec les dynamiques externes tant d'ordre géomorphologique que sociétale.

1. Financement Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (commission des fouilles archéologiques), Consulat de France à Vancouver et Musée d'Anthropologie (MOA) de Vancouver- Pilotage A. Quiles (IFAO-Le Caire).

Mots-Clés: Datation relative, Datation absolue, Cosmogénique B^a-Al, ^{14}C , Uranium/Thorium, Archéogéomorphologie, Modélisation bayésienne, Approche intégrée, Chuchwayha, Colombie britannique, Canada

Multiple-scan voltammetry : a successful tool for dating archaeological bronzes

Marianne Moedlinger¹, Antonio Doménech-Carbó², Laura Osete Cortina³, María Teresa Doménech-Carbó³

¹ Universität Innsbruck – Autriche

² Universitat de València – Espagne

³ Universitat Politècnica de València – Espagne

The application of a multiple-scan strategy to nanosamples taken from cross-sections of Bronze Age arms and armour; the surface from Bronze Age tools, as well as recent and Roman coins using the voltammetry of immobilized microparticles (VIMP) methodology is described. The voltammetric responses in contact with aqueous acetate buffer can be attributed to the reduction of cuprite with variable degree of compaction and crystallinity revealing significant differences in the gradient of such properties with depth. The voltammetry study of both metallographic and surface samples of the bronze objects shows correlation with the age of the objects, respectively the period of their deposition. We discuss also (potential) influence of different factors on the VIMP measurements, such as deposition context (soil, water), chemical composition of the copper alloys, and microstructural features (as-cast, annealed, work-hardened), and how to overcome these issues.

Keywords: Voltammetry of immobilized particles, Bronze Age, Dating archaeological bronzes, Corrosion studies

Plateforme nationale LMC14 : des analyses C14 au contrôle qualité

Christophe Moreau¹, Lucile Beck¹, Ingrid Caffy¹, Emmanuelle Delqué-Količ¹, Jean Pascal Dumoulin¹, Cédric Goulas¹, Stéphane Hain¹, Marion Perron¹, Valérie Setti¹, Marc Sieudat¹, Bruno Thellier¹

¹ LMC14 – LSCE-IPSL (CNRS-CEA-UVSQ), Université Paris-Saclay – France

La plateforme nationale LMC14 dédiée à la datation radiocarbone pour la communauté française dispose de lignes de préparation des échantillons et d'un Spectromètre de Masse par Accélérateur (SMA) nommé ARTEMIS pour les mesures. Dans son mode de fonctionnement le LMC14 intègre un processus de contrôle qualité à chaque étape que suit un échantillon. Ce processus est à deux niveaux. Il est réalisé d'une part en interne au laboratoire par l'étude statistique d'échantillons de contrôle au quotidien. D'autre part, un contrôle externe au laboratoire est opéré en participant à des campagnes d'intercomparaison internationale menées régulièrement par la communauté du radiocarbone, ainsi que par certaines équipes internationales sur des problématiques particulières. Ces deux étapes de contrôle qualité, souvent méconnues des partenaires de la plateforme, seront développées ici. L'évaluation de la qualité par un traitement statistique des blancs et standards secondaires sera présentée, ainsi que la confrontation des analyses sortantes de la plateforme avec les autres laboratoires internationaux. En 2021-2022, le LMC14 a participé à la campagne GIRI et à l'intercomparaison internationale MODIS2 sur la datation de mortiers. Les résultats fournis aux communautés, sans connaître les valeurs attendues, seront présentés ici et comparés aux valeurs préliminaires données lors du dernier congrès Radiocarbon de Zürich (Suisse).

Mots-Clés : Datation C14, Contrôle qualité, Intercomparaison, Analyse statistique

Enquête autour de la sacralisation d'une statue en porcelaine représentant le Bodhisattva Guanyin

Anh Nguyen Van¹, Claire Delery², Pascale Richardin^{1,3}

¹ C2RMF – MCC – France

² Musée national des arts asiatiques – Guimet – MCC – France

³ TEMPS – CNRS, UMR8068 – France

Dans les salles du musée national des arts asiatiques-Guimet à Paris est exposée une statue chinoise en porcelaine (N. inv. EO 1616) représentant le Bodhisattva Guanyin, considérée comme une divinité de 'miséricorde et de compassion'. Cette œuvre, léguée à l'état français par le collectionneur Isaac de Camondo (1851-1911), est reconnue comme l'une des plus belles statues religieuses bouddhistes chinoises.

Au dos de la statue et sous le siège, se trouvait une cache "à reliques" aujourd'hui ouverte. En 1982, le conservateur en charge de cette œuvre avait découvert, sous une couche fragilisée de 'laque', un dépôt contenant des fragments de textile, de papier, de coquillages, etc.

qu'il avait placé dans une enveloppe. Le retrait de ces reliques avait laissé apparaître un orifice d'environ 1 cm de diamètre. En passant par cet orifice, nous avons pu extraire une baguette de bois qui se trouvait à l'intérieur même de la statue. De plus, une série d'objets, qui semble bien appartenir aux reliques, a été retrouvé dans une boîte conservée dans les réserves du musée et elle comprend quelques sapèques (anciennes monnaies chinoises percées au centre d'un trou carré), un amas de fils de soie, un textile imprimé de caractères chinois et un 'bouchon' de bois coupé en deux, dont les bords sont ourlés d'une 'laque brune' et contenant de la ouate. Ce bouchon semble être celui qui obstruait à l'origine l'orifice situé à l'arrière de la statue.

Ainsi, grâce à la datation par le carbone 14, nous avons essayé de comprendre et de reconstituer l'historique de cette statue et de ses reliques en datant tous les restes organiques (re) trouvés. Des résultats étonnants ont été découverts mais quelques questionnements subsistent encore. L'enquête est en cours!...

Mots-Clés: Datation par le carbone 14, Reliques, Statue en porcelaine, Bodhisattva Guanyin

Datation ¹⁴C sur ECHoMICADAS, LSCE, Gif-sur-Yvette : actualisation des protocoles de chimie

Christine Hatté¹, Maurice Arnold², Arnaud Dapoigny¹, Michel Fontugne¹, Caroline Gauthier⁴, Jérémy Jacob¹, Claude Noury⁶, Brian Phouybanhdyt¹, François Thil¹, Nadine Tisnérat-Laborde¹, Hélène Valladas¹

¹ LSCE/IPSL, CEA, CNRS, UVSQ, Université Paris-Saclay – France

² CEREGE – Aix Marseille Université, INSU, IRD, CNRS : UMR7330 – France

Le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) exploite un laboratoire de datation au radiocarbone depuis près de 70 ans. Il a évolué du comptage traditionnel de désintégration β à une installation de spectrométrie de masse par accélérateur. En 2015, le LSCE a bénéficié d'une mise à niveau majeure avec l'installation d'un MICADAS. Cette évolution a nécessité des ajustements dans la préparation des échantillons pour coller avec la possibilité maintenant offerte de dater des échantillons aussi petits que quelques dizaines de µgC. Nous résumons ici les procédures de nettoyage et les traitements chimique (chimie de purification et chimie d'extraction) que nous appliquons aux échantillons. Nous reportons également les valeurs de blancs et de plusieurs matériels de référence de matrices différentes correspondant à la grande diversité des échantillons que nous manipulons au LSCE.

Mots-Clés: Datation 14C, ECHoMICADAS, LSCE, Protocoles de chimie

Thème 4

ARCHÉOLOGIE ET ARCHÉOMÉTRIE EN TEMPS DE CRISES

Coordination : Martine Regert, Maxime L’Héritier, Marie-Yvane Daire

L’incendie de Notre-Dame de Paris survenu le 15 avril 2019 nous a brutalement rappelé la fragilité de notre patrimoine culturel. Il est en même temps à l’origine du plus vaste chantier scientifique lancé sur un édifice du patrimoine, mobilisant des chercheurs de nombreuses spécialités sur une multitude de thématiques de recherches, transformant l’objet meurtri en objet de recherche de manière particulièrement remarquable.

Cette catastrophe n’est pas un cas isolé : en quelques années, la destruction par le feu a touché le musée d’anthropologie de Rio au Brésil en septembre 2018, le château de Shuri au Japon en octobre 2019 ou encore la cathédrale de Nantes en 2020. Les guerres, les catastrophes naturelles, le changement climatique en cours qui ronge les côtes, brûle les forêts ou inonde des régions entières, sont d’autres événements qui fragilisent les traces matérielles des populations du passé, mais mettent aussi parfois au jour des vestiges insoupçonnés, comme le permettent la baisse des eaux en période de sécheresse ou encore la fonte des glaciers par exemple. Les crises actuelles tournent également l’archéométrie elle-même en objet de réflexion : science nécessitant souvent des moyens analytiques coûteux et des protocoles parfois énergivores et polluants, elles invitent à réfléchir sur la mise en œuvre de nouvelles pratiques, en réponse à des situations parfois inédites et généralement soumises à des contraintes d’urgence.

Cette thématique est ainsi dédiée à l’ensemble des crises que nous traversons actuellement, ou qui ont eu lieu dans le passé, et à leur impact sur les patrimoines culturels et environnementaux, à travers le prisme de l’archéométrie, qu’il s’agisse de transformer une catastrophe en objet de recherche, de prévenir les risques ou de développer des méthodes d’observation ou d’analyse novatrices.

Mots-clés : Patrimoine naturel et culturel, Crises, Changement climatique, Contraintes environnementales

Le climat médiéval et la charpente de Notre-Dame de Paris : impact de la carbonisation sur les valeurs ^{18}O du bois de chêne et premières données issues de monuments contemporains

Diane Du Boisgheheneuc^{1,2}, Frédéric Delarue³, Valérie Daux², Thanh Thuy Nguyen Tu³, Alexa Dufraisse¹

¹ AASPE – MNHN, CNRS, UMR7209 – France

² LSCE/IPSL, CEA, CNRS, UVSQ, Université Paris-Saclay – France

³ METIS – Université Pierre et Marie Curie – Paris 6, EPHE, CNRS, UMR7619 – France

La destruction de la charpente de la cathédrale «Notre-Dame de Paris» (NDP), en 2019, laisse à disposition de la communauté scientifique les bois de «la forêt», certains noircis en périphérie, d'autres, carbonisés à cœur. Les arbres abattus pour construire la charpente de la nef détiennent dans leurs cernes un enregistrement de ce qu'était le climat lorsqu'ils ont poussé, à une période appelée Anomalie Climatique Médiévale (~ 900-1350 ap. J.-C.). Identifiée en 1965 (Lamb, 1965), cette phase de climat « optimal » correspond à une augmentation de la fréquence relative des épisodes chauds, principalement autour de l'Atlantique Nord. Cependant elle reste très mal documentée en contexte de plaine, tout particulièrement dans la moitié nord de la France. Les bois de NDP sont donc d'un intérêt majeur.

Les compositions isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ du bois sont classiquement utilisées pour étudier l'évolution des climats passés (température atmosphérique, stress hydrique des plantes). Appliquée à l'échelle du cerne, la détermination de ces rapports isotopiques permet ainsi de reconstruire finement - à l'échelle annuelle - les variations climatiques historiques. Néanmoins, ces proxies climatiques ne peuvent être directement utilisés dans le cadre du bois carbonisé de NDP sans prendre en compte les fractionnements isotopiques liés à la carbonisation. Si nombre de travaux montre un impact de la carbonisation sur les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$, son effet sur les valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ n'est que très peu documenté (Hamilton, 2012).

Dans le cadre du chantier scientifique de NDP, au sein du Groupe de Travail «Bois et Charpente», un des axes de recherches s'articule autour de la caractérisation de l'Anomalie Climatique Médiévale. Une première étape consiste à étudier l'impact de la carbonisation sur les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ du bois de chêne et les processus de fractionnement potentiellement impliqués. Pour ce faire, des échantillons de poudre de bois de chêne (*Quercus* sp.) ont été pyrolysés jusqu'à 1000°C. Les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ ont été déterminées et la structure chimique des charbons a été caractérisée par un analyseur élémentaire et des méthodes de spectroscopie Raman et infrarouge.

Les résultats montrent que la pyrolyse entraîne une diminution du $\delta^{18}\text{O}$ pouvant aller jusqu'à ≈ -30 ‰. Les changements observés résulteraient principalement de la dégradation thermique des complexes lignocellulosiques mais également de la réorganisation structurale du bois. Des analyses approfondies de ces résultats sont en cours pour déterminer si un

outil analytique peut-être mis au point pour calibrer les variations isotopiques de l'oxygène induit par la carbonisation, et d'en extraire les variations liées au climat. Dans l'attente, la constitution d'un référentiel dendro-isotopique latitudinal à partir de charpentes médiévales contemporaines de bois non carbonisés dans le nord de la France est engagée.

En fonction de la provenance des bois de NDP, une telle cartographie isotopique permettra de contraindre la variabilité spatiale des signaux isotopiques et leurs liens avec les paramètres météorologiques sur le Bassin Parisien. Dans cette optique, des bois, issus de trois édifices médiévaux répartis d'est en ouest et datés entre le XI^e et XIII^e siècles ont été sélectionnés. Les premiers résultats seront présentés.

Hamilton, M.W., 2012. Reconstructing Fire Severity From the Oxygen-Isotope Compositions of Plant Char 130.

Lamb, H.H., 1965. The early medieval warm epoch and its sequel. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 1, 13–37.

Mots-Clés: Notre-Dame de Paris, Dendroclimatologie, Isotopes de l'oxygène, Carbonisation du bois, Reconstruction climatique

Une approche multi-proxy pour étudier la provenance des bois médiévaux carbonisés de la charpente de Notre-Dame de Paris

Anna Imbert Stulc¹, Anne Poszwa, Julien Bouchez, Stéphane Ponton, Jean-Luc Dupouey, Maximilien Beuret, Jean-Yves Hunot, Olivier Girardclos, Sylvie Coubray, Jérémie Bardin, Michel Lemoine, Thanh-Thu Nguyen Tu, Alexa Dufraisse

¹ AASPE – MNHN, CNRS, UMR7209 – France

Quand la charpente médiévale de Notre-Dame s'est effondrée lors de l'incendie du 15 avril 2019, ce n'est pas uniquement la structure porteuse de la cathédrale qui a failli disparaître, mais aussi l'histoire de son chantier de construction des XII^e et XIII^e siècles. Les poutres calcinées représentent une archive paléoenvironnementale essentielle, car au cours de leur vie, les arbres dont elles sont issues ont enregistré dans leurs cernes de croissance, des informations sur l'environnement dans lequel ils ont grandi. En étudiant ces bois archéologiques, il est alors possible de dater l'année de formation des cernes, de reconstituer les modes de croissance et de gestion sylvicole des peuplements, mais aussi de retracer leur origine géographique.

Les rares archives historiques n'ont pas livré d'informations sur la provenance des bois à la période médiévale. Les bois utilisés aux XII^e et XIII^e siècles pour construire la charpente de Notre-Dame pourraient provenir des possessions du Chapitre proches de Paris, mais il n'est pas exclu que des bois d'origine plus lointaine aient été achetés en fonction de besoins spécifiques. Même si aucun document ne mentionne l'existence des pratiques de flottage aux siècles précédents, la présence de chevilles renforcées de prisonnier sans lien avec la charpente, repéré sur trois des entrants du XIII^e siècle, peuvent être attribuées à la constitution de radeaux. Cela constitue une preuve indiscutable que les grumes de Notre-Dame ont pu

être acheminées sur de longues distances par voie fluviale, ouvrant ainsi la possibilité d'une origine géographique dans tout le bassin de la Seine.

Dans le cadre des études sur les vestiges de bois de Notre-Dame, en complément des analyses de dendroprovenance fondées sur les largeurs de cernes, deux groupes de traceurs géochimiques ont été sélectionnés en fonction de la variabilité des substrats : (i) les rapports élémentaires (particulièrement Ca/Mn, Sr/Ca, Nd/Ca) et (ii) les rapports isotopiques du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) et du néodyme ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) (Kuang *et al.* 2008 ; Hajj *et al.* 2017). Leur intérêt repose sur (i) la convergence des signatures chimiques et isotopiques entre les sols et le bois des arbres qui s'y enracinent, et (ii) la variabilité des contextes géologiques rencontrés dans le bassin de la Seine. Une première phase de cette étude a consisté à appréhender les effets de la carbonisation sur ces indicateurs en conduisant une expérimentation de pyrolyse contrôlée (Imbert Štulc *et al.*, en relecture). Au cours de la carbonisation, les rapports élémentaires – traceurs de dendroprovenance : Ca/Mn, Sr/Ca et Nd/Ca – et les rapports isotopiques du strontium et néodyme sont restés constants. La seconde phase d'étude a été la construction d'un référentiel géochimique des bois de chênes actuels (*Quercus robur* et *Quercus petraea*, les deux espèces ayant pu être exploitées pour la charpente). Les résultats montrent que la plupart des douze sites sélectionnés peuvent être discriminés avec notre système de proxies dendrogéochimiques multiples. Les compositions chimiques et isotopiques des deux espèces divergent parfois, toutefois la variabilité inter-espèce à l'échelle d'un site est plus faible que la variabilité inter-site. A titre exploratoire, nous tentons dans une troisième phase d'identifier la provenance géographique des bois de la nef de Notre-Dame en confrontant leurs compositions chimiques et isotopiques à celles du référentiel des bois actuels.

Mots-Clés : Provenance des bois, Dendrochimie, Isotopes du Strontium, Isotopes du Néodyme, Bassin de la Seine

Retracer l'histoire du plomb dans la construction d'un édifice. Une approche interdisciplinaire appliquée au cas de Notre-Dame de Paris

Maxime L'Héritier^{1,2}, Sandrine Baron³, Stéphanie Diane Daussy², Guillaume Sarah⁴, Delphine Syvilay⁵, Laurence Lestel⁶, Aurélia Azéma⁷

¹ Université Paris 8, Vincennes-Saint-Denis, UMR7041 – France

² ArScAn – Université Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, MCC, CNRS, Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis, UMR7041 – France

³ TRACES – CNRS, Université Toulouse le Mirail – Toulouse II, UMR5608 – France

⁴ IRAMAT – CNRS, UMR7065 – France

⁵ Sorbonne University Abu Dhabi – Émirats arabes unis

⁶ METIS – CNRS, Université Pierre et Marie Curie- Paris VI, UMR7619 – France

⁷ LRMH – CRC, MNHN, UAR 3224 – France

L'incendie de Notre-Dame de Paris a rappelé l'usage massif du plomb dans la construction des grands édifices : couverture, scellement des pierres et des armatures de fer, éléments d'étanchéité (chêneaux, solins, descentes, bandes de rives etc.), décor et vitraux. A Notre-Dame,

les archives témoignent de cet usage depuis l'époque médiévale, jusqu'aux restaurations contemporaines. Plus de 200 tonnes de ce métal, recyclées ou non, ont été employées au XIX^e siècle lors de la confection de la dernière couverture, des crêtes de faitage et de la flèche. L'histoire toujours complexe des monuments rend le traçage de ce matériau d'autant plus difficile que son très bas point de fusion (327°C) et sa malléabilité multiplient les possibilités de refonte et de remise en œuvre. Ses qualités ont par ailleurs pour corolaire la nécessité d'un entretien attentif, en particulier pour les couvertures et l'étanchéité. Ainsi, plusieurs plombs de sources d'approvisionnements diverses et de poses distinctes peuvent coexister sur un même ensemble.

Le chantier scientifique de Notre-Dame de Paris, par son interdisciplinarité et les accès privilégiés permis par la restauration en cours, offre l'opportunité d'aborder cette problématique d'appropriation chronologique du matériau plomb au cours de l'histoire de l'édifice. La coordination des études archéométriques, archivistiques et archéologiques du bâti éclairent les différents usages du plomb, depuis les scellements médiévaux jusqu'aux faitages contemporains. L'objectif est d'aborder, pour la première fois dans une concertation élargie, les marchés d'approvisionnement du plomb, les pratiques des plombiers (notamment le recyclage) et leurs évolutions, pour ainsi renouveler notre compréhension de l'édifice.

Plus de 300 plombs, principalement issus des campagnes des XII^e-XIII^e siècles et du XIX^e siècle, ont été prélevés sur les structures encore en place (scellements d'agrafes, joints des baies hautes ou de colonnettes en délit, couverture de la sacristie...) et sur les matériaux récupérés et inventoriés grâce à la fouille des vestiges des parties incendiées (fragments de tables de couverture, de crêtes de faitage et de décor de la flèche). L'ensemble a été soumis à une analyse chimique en éléments traces par LA-ICP-MS, qui a permis de constituer un corpus pertinent pour la réalisation d'analyses isotopiques du plomb par MC-ICP-MS.

La confrontation des résultats révèle des modalités d'approvisionnements en plomb très différentes entre la période médiévale et le XIX^e siècle. Le nombre de sources semble restreint et homogène au moment de la construction de la cathédrale. En revanche, plusieurs origines bien distinctes, très hétérogènes et reflétant les signatures isotopiques de gisements géologiques, sont identifiées pour le plomb fourni lors de la grande restauration (1845-1865). Les archives permettent d'orienter la recherche des référentiels miniers pertinents à mobiliser au regard du contexte historique. Les données isotopiques du plomb disponibles dans la littérature ont permis d'établir les premières tentatives de traçage minerais versus plombs de Notre Dame. Les résultats isotopiques mettent en lumière l'emploi combiné de minerais mobilisés à partir des grands gisements andalous (Sierra de Carthagène, La Carolina), à la faveur du dynamisme négoce franco-espagnol. Les analyses élémentaires confirment la pratique du recyclage par refonte. Les isotopes du plomb révèlent également les mélanges de plombs mais aussi les apports respectifs de nouvelles sources.

Mots-Clés: Cathédrale, Plomb, Approvisionnement, Traçage de Sources, Recyclage, Analyses Élémentaires, Analyses isotopiques, LA-ICP-MS

Les signes lapidaires, une autre lecture de Notre-Dame

Delphine Syvilay^{1,2}, Santiago Hardy³

¹ Sorbonne Université Abu Dhabi, Département Science – Émirats Arabes Unis

² LRMH – CRC, MNHN, UAR 3224 – France

³ Cordiste autoentrepreneur – CNRS, UMR9022 – France

Suite à l'incendie du 15 avril 2019, de nombreuses zones de la cathédrale sont devenues accessibles grâce aux échafaudages mis en place dans le cadre du chantier de restauration. Cette impressionnante structure métallique se déployant du sol aux voûtes a permis la découverte d'une multitude de signes lapidaires, dernières traces des bâtisseurs d'autrefois. De plus, les techniques de cordes bien à l'œuvre depuis l'incendie ont permis d'explorer d'autres endroits non échafaudés de la cathédrale, notamment à l'extérieur au niveau des tours et de la façade occidentale, où d'autres signes lapidaires ont pu être observés.

Véritable source d'informations puisque témoins des différentes phases de construction, les signes lapidaires ont alors été inventoriés. Ainsi une exploration inédite, pierre par pierre, de toute la cathédrale, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, en piéton ou encordé, a permis de recenser plus de 1150 signes dont 230 différents. La localisation, densité, diversité de ces signes permettent d'apporter des éléments de réponse quant à la chronologie de construction du monument ou encore sur l'organisation du chantier au moment de sa construction. Un système de spatialisation en 3D a été réalisé, permettant la projection de l'ensemble de ces signes dans un repère orthogonal de la cathédrale, afin d'établir des observations et des liens quant à la densité et la localisation de ces signes.

Face à l'extraordinaire quantité de ces signes, une approche statistique a également été réalisée basée sur des analyses multivariées, afin de comparer zone par zone les combinaisons de marques observées. Cette approche a été couplée avec une approche archivistique pour tenter de corrélérer les zones vides de ces signes dans la cathédrale avec les zones restaurées au cours des derniers siècles.

Ainsi l'étude des signes lapidaires de la cathédrale Notre-Dame de Paris que nous proposons est une approche inédite et originale puisqu'elle englobe une approche exploratrice (par la corde), cartographique, statistique et archivistique et a permis la découverte inattendue d'un nombre exceptionnel de ces signes après l'incendie pour en esquisser des premières observations et hypothèses sur la chronologie de construction mais également pour mieux comprendre les savoir-faire et les techniques des bâtisseurs d'autrefois.

Mots-Clés : Signe lapidaire, Analyse multivariée, Spatialisation 3D

Archaeology and Archaeometry in Ukraine

Yona Waksman¹, Iryna Teslenko^{1,2}

¹ ArAr – Université Lumière – Lyon 2, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, UMR5138 – France

² Institute of Archeology, National Academy of Sciences of Ukraine – Ukraine

Ukraine has a great potential for archaeological research, especially its coastal part on the northern Black sea which testifies of numerous contacts with the Mediterranean and played the role of an interface with North-Eastern Europe. Medieval archaeology was particularly active in the Crimea, where both terrestrial sites such as Genoese fortresses and shipwrecks were excavated by Ukrainian scientists before 2014. The “Archaeology & Archaeometry” laboratory in Lyon (CNRS UMR5138) contributed to this research through the study of the emergence of local glazed pottery production and of Byzantine imports, in the framework of several research projects and French-Ukrainian PHC programs.

In spite of the annexion of the Crimea in 2014 and of the war declared in 2022, collaborations and research continue, thanks especially to the PAUSE program helping scientists at risk. The paper will present ongoing projects, and the specificities of collaborations with a war-torn country.

Mots-Clés: Ukraine, Guerre, Céramiques Médiévales

The Unbearable Lightness of Doing Archaeometry

Pamela Fragnoli¹, M. Bianca D’Anna¹

¹ Austrian Archaeological Institute, Austrian Academy of Sciences – Autriche

The manifold effects of climatic crisis on cultural and archaeological heritage is well visible in both violent and more subtle forms. Even though not yet sufficient, a great deal of scholarship engages with the study and prevention of the effects of climate change as well as in good practices of conservation of cultural assets.

In this paper we want to change the perspective by calling into question the sustainability of archaeometric practices, i.e. of producing new archaeological and cultural knowledge through analytical procedures. Our case-study is the city of Vienna, and to some extent Austria. The Austrian capital boasts a large number of museums, collections, and archives as well as research centers and laboratories, some of which closed for one month over new year’s holiday to spare energy costs.

Our aims are to try to estimate the costs of archaeometric research, evidence possible cases of analytical redundancies and lack of coordination, and discuss some strategies for a more sustainable archaeometric practice. In this framework, we also wonder whether the limited access to laboratories imposed by the most recent critical changes have been compensated by a renewed attention to and reflection on old data, i.e. whether archaeometrists are able to build scientific resilience in times of crisis.

Keywords: Climate crisis, Energy costs, Sustainable archaeometry, Laboratories

**« Y a plus de saison ma bonne dame ! ». Entre contrainte
météorologique et gestion des ressources sur une fouille : exemple
du protocole de prélèvement des restes macrobotaniques
de la grotte Bouyssonie, Brive-La-Gaillarde, Corrèze**

Elysandre Puech¹, Auréade Henry¹, Vincent Delvigne^{2,3}, Emilie Lesvignes^{4,5}, Mathieu Langlais^{6,7}

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CEPAM, UMR7264 – France

² TEMPS – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre, CNRS, UMR8068 – France

³ Service de Préhistoire, Université de Liège – Belgique

⁴ ArScAn, UMR 7041 – CNRS, Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, MCC, Nanterre – France

⁵ CEDARC / Musée du Malgré-Tout – Belgique

⁶ SERP – Universitat de Barcelona – Espagne

⁷ PACEA – Université de Bordeaux, CNRS, UMR5199 – France

La grotte Bouyssonie est un site préhistorique ayant livré des occupations datées entre environ 40 et 5 ka BP. Une des particularités du site est la préservation exceptionnelle des restes anthracologiques, abondants mais fragiles, laquelle permet de suivre l'évolution de la végétation ligneuse du Bassin de Brive depuis les débuts du Paléolithique supérieur. Ces conditions sont potentiellement favorables à la présence d'autres macrorestes botaniques tels que des graines, pour lesquels un protocole de prélèvement *ad hoc* a été mis en place depuis 2020.

Bien que les fouilles se déroulent en saison estivale, une météo parfois capricieuse alternant entre périodes caniculaires et fortes précipitations affecte le bon déroulement de la post-fouille, et notamment le traitement des vestiges d'origine organique. En effet, des variations trop importantes du taux d'humidité et de la température peuvent entraîner une surfragmentation pouvant biaiser la représentativité des restes ou, d'un point de vue logistique, se traduire par une augmentation significative du temps de séchage, accumulant des retards qui se répercutent sur l'ensemble des tâches.

Ainsi, le protocole de récupération des restes macrobotaniques – prélèvement, tamisage, séchage et conditionnement – est progressivement affiné afin de préserver au maximum les différents macrorestes, tout en intégrant les moyens mobilisés pour leur traitement au sein d'une réflexion incluant (i) la variabilité météorologique, (ii) les coûts humains (temps et effort) et (iii) les dépenses énergétiques (eau et électricité). Sur la base d'un traitement systématique des sédiments fouillés à des ouvertures de tamis variant entre 2mm et 250 µm, différents protocoles ont été appliqués lors de la saison 2022 en faisant varier les modes de tamisage (*sec vs eau vs flottation*) et de séchage (*air ambiant, 40°C, 70°C*). Pour cela, la fouille s'est équipée d'une station météo pour relever quotidiennement la température et l'humidité, d'un

compteur pour estimer la consommation d'eau à la station de tamisage et d'un déshydrateur pour contrôler la température. Les durées pour chaque étape ont été relevées et comparées. Les résultats montrent que l'uniformisation de la méthode de prélèvement tend à minimiser les biais de représentativité. Etant donnée la nature compacte de la matrice argilo-sableuse, les tests révèlent que la flottation est la méthode la plus efficace permettant la récupération exhaustive des macrorestes botaniques. Si la manœuvre est longue, sa consommation en eau est acceptable (inférieure au tamisage à l'eau) et le tri qui suit est plus rapide. Comme attendu, la température est inversement corrélée à la durée de séchage. Néanmoins, elle ne semble pas introduire de fragmentation supplémentaire. La température minimale de l'appareil (30°C) est cependant suffisante pour un séchage optimal quand les conditions le nécessitent. Abordable et consommant peu d'électricité, le déshydrateur remplace avantageusement l'étuve de laboratoire. Enfin, l'installation pérenne d'un récupérateur d'eau est un projet qui permettrait de tendre vers une autonomie de la consommation en eau sur le site. Cette réflexion globale autour de la méthodologie de terrain a permis de proposer un protocole réalisable, reproductible, sobre énergétiquement et adaptable aux variations de température et d'humidité pour la préservation et le traitement des restes botaniques *in situ*.

Mots-Clés : Restes macrobotaniques, Méthodologie de terrain, Variabilité météorologique, Sobriété énergétique, Déshydrateur

L'évaluation de l'état sanitaire de la charpente de Notre-Dame de Paris

Magali Toriti¹, Fabien Fohrer², Olivier Girarclos³, Jean-Yves Hunot⁴

¹ CReAAH – Le Mans Université, MCC, INRAP, CNRS, UMR6566 – France

² CICRP – MCC – France

³ Chrono-environnement – CNRS, Université de Bourgogne Franche-Comté, UMR6249 – France

⁴ Département de Maine-et-Loire – Pôle archéologie – CReAAH UMR6566 – France

La charpente en chêne de Notre-Dame de Paris est réputée indemne de toute attaque d'insectes xylophages, hormis un épisode de traitement curatif en 2018 par une entreprise privée. Pourtant, aucune étude spécifique n'a encore été réalisée à ce jour pour déterminer s'il y a eu ou non une infestation de la charpente par les ravageurs du bois (insectes et champignons) pour les périodes plus anciennes et son impact sur l'ensemble de la structure. Ainsi, dans le cadre du programme CASIMODO (coord. A. Dufraisse, MNHM, AASPE UMR7209), une étude anthraco-entomologique est en cours de réalisation dont l'objectif principal est de chercher et de caractériser ces agents biologiques dans les bois carbonisés de la charpente pour en évaluer l'état sanitaire général au moment de l'incendie.

Il existe près de 600 espèces d'insectes xylophages ayant chacun une biologie qui lui est propre : privilégiant les arbres dépourvus ; attaque du cambium, aubier et/ou duramen ; préférence pour les troncs, branches ou souches, feuillus, résineux ou les deux ; spécialisé sur des bois en phase de stockage ou placés dans le bâti avec une teneur élevée ou au contraire faible en humidité... C'est de nombreuses perspectives d'interprétations qui sont possibles.

Ainsi, les bois carbonisés de Notre-Dame préserve les vestiges de pratiques et de gestes des sociétés médiévales et modernes. Cela concerne notamment la protection et l'entretien du bois d'œuvre mais peut-être aussi des indices de choix et de gestion de la matière première : arbres choisis sains ou non, durée de stockage avant le travail et la confection de la charpente... L'identification des insectes xylophages s'effectue à partir de l'observation des traces que les larves laissent dans le bois : les galeries et la vermoulure (déjections de la larve). Grâce à la création récente de normes et de référentiels, basées sur la morphométrie et l'aspect macro- et microscopique des pelletes fécales, la caractérisation d'espèce ou de genres de ravageurs permettent de :

- mesurer l'état sanitaire du bois et l'impact des ravageurs sur les propriétés mécaniques de la pièce puis de la charpente entière
- d'évaluer le moment de l'infestation du bois (arbre sur pied, stockage, en place dans l'architecture) voire, sa durée (nombre de génération d'insecte et durée du cycle évolutif)
- et potentiellement d'en déterminer l'origine (zone d'humidité, d'infiltration).

Et au contraire, si le bois ne présente pas de trace : est-ce que le bois est sain ? Y-a-t-il eu diverses campagnes de protections de la charpente au cours de son fonctionnement ?

Située à l'interface des sciences de l'homme et de la société et des sciences biologiques, cette approche interdisciplinaire reste inédite pour la période médiévale. En lien avec les archéologues du bâti spécialistes des charpentes et les dendrochronologues, la recontextualisation des pièces de bois tant spatialement que chronologiquement affinera les interprétations anthraco-entomologiques.

Mots-Clés : Nouvelle approche, Charpente, Anthraco-entomologie

Le fer à Notre-Dame de Paris : nature des alliages, procédés techniques et études de provenance, le cas des fenêtres hautes

Mathilde Bernard¹, Maxime L'Héritier², Lucile Beck³, Aurélia Azéma⁴, Emmanuelle Delqué-Količ³, Philippe Lorquet⁵, Sylvain Bauvais^{1,6}, Philippe Dillmann¹

¹ LAPA, IRAMAT, NIMBE, CEA Saclay, CNRS, Université Paris-Saclay – France

² ArScAn, Université Paris 8, CNRS : UMR7041 – France

³ LMC 14, CEA Saclay – LSCE-IPSL (CNRS-CEA-UVSQ), Université Paris-Saclay – France

⁴ LRMH, CRC, MNHN, UAR 3224 – France

⁵ INRAP – France

⁶ CRFJ, UMIFRE n° 7 CNRS – MEAE, UAR3132 – Israël

Suite à l'incendie de Notre-Dame de Paris, la mise en place d'échafaudages pour la restauration offre un accès unique à des endroits de la cathédrale qui étaient inaccessibles jusqu'à présent. Ceci a permis de révéler une grande diversité d'usages du mobilier ferreux dans la structure de l'édifice. Un relevé systématique est en cours dans le cadre des travaux de thèse sur les métaux ferreux du monument. Le caractère quasi exhaustif d'un tel inventaire est une première pour l'édifice, dont un des principaux et seuls relevés des armatures en

fer remonte aux travaux de Viollet-le-Duc (Viollet-le-Duc, 1858). Mais c'est également un nouveau regard porté sur une cathédrale gothique, car jusqu'à présent, aucun édifice n'a pu faire l'objet d'un suivi si fin au cours de ses restaurations.

Parmi les différents éléments de ce corpus se trouvent des agrafes de fer dans la maçonnerie au niveau des tribunes, des murs gouttereaux, des murs sous les terrasses extérieures ou encore dans des colonnes monolithiques adossées aux bas-côtés de la nef et des chapelles. S'ajoutent à cet inventaire des fers de charpente tels que des clous, des tiges boulonnées et des chevilles clavetées, mais également des crêtes de faitage, des goujons, ou encore des tirants. Cette communication insistera en particulier sur l'étude des anciennes barres de vitraux des baies hautes de la cathédrale, aujourd'hui supprimées, mais dont subsistent quelques vestiges dans le meneau central des fenêtres. Ces barres transversales, mesurant à l'origine plusieurs mètres de long et d'une section d'environ 3,5 x 4 cm, sont des objets ferreux n'ayant jamais été étudiés auparavant dans un tel édifice car ils sont, le plus souvent, rarement accessibles. Treize échantillons ont été prélevés sur site pour analyses, ainsi que trois éléments entiers sur des pièces destinées à être remplacés. Les premières études métallographiques (attaque Nital, observations macroscopiques et microscopiques) permettent de nous éclairer, en particulier, sur la mise en forme de ce mobilier ferreux, mais aussi sur la qualité de la production métallique. L'étude des inclusions de scories au Microscope Électronique à Balayage en Spectrométrie EDS (Dillmann and L'Héritier, 2007) et l'analyse des éléments traces par LA-ICP-MS (L'Héritier *et al.*, 2020) permettent de préciser les filières techniques et les pratiques opératoires utilisées pour la production du fer et dans la mise en œuvre des barres de vitraux. On peut notamment se questionner sur les méthodes de procédés direct et indirect, mais aussi sur la problématique du recyclage, omniprésente sur les chantiers de construction.

En parallèle, l'analyse en éléments traces de scories provenant de différents sites métallurgiques issus de plusieurs secteurs d'Île-de-France (Brie française, sud de la forêt de Rambouillet/Hurepoix, est de la vallée de Chevreuse) jusqu'alors non étudiés chimiquement, nous permet de constituer un inventaire inédit des signatures chimiques de la région de sites susceptibles d'avoir approvisionné Notre-Dame. La comparaison avec la composition des inclusions des armatures métalliques mesurée par LA-ICP-MS contribuera à tester et discuter ces hypothèses de provenance.

Références :

Dillmann *et al.*, 2007.

L'Héritier *et al.*, 2020. Viollet-le-Duc, 1858.

Mots-Clés : Notre-Dame de Paris, Fer, Inclusions, Procédés directs et indirects, Provenance

Les charpentes de Notre-Dame de Paris, un questionnement plus ancien que la crise et les premiers apports de l'étude des bois

Olivier Girardclos¹, Jean-Yves Hunot, Clara Penagos¹, Kévin Jacquot², Michel Lemoine, Benoit Brossier³, Magali Toriti⁴, Alexa Dufraisse⁵

¹ Chrono-environnement – CNRS-UFC – France

² MAP-Aria – MAP UMR 3495 CNRS/MC – France

³ ISEM UMR 5554 – Université Montpellier II – Sciences et techniques – France

⁴ CReAAH – Le Mans Université, MCC, INRAP, CNRS, UMR6566 – France

⁵ AASPE – Sorbonne Universités, UPMC, CNRS, UMR7209 – France

« L'incendie de Notre-Dame de Paris (NDP) survenu le 15 avril 2019 nous a brutalement rappelé la fragilité de notre patrimoine culturel ».

Nous devons nous réjouir que des prélèvements pour étude dendrochronologique des charpentes de NDP aient pût être réalisés de 1991 à 1996 dans le cadre de recherches impulsées par G-N. Lambert. Une soixantaine d'échantillons a fait l'objet d'un DEA (Chevrier 1996), les données ont ensuite été intégrées dans le *Corpus tectorum* des charpentes du nord de la France et de Belgique (Hoffsummer 2002) qui situe les charpentes dans une typologie et une chronologie médiévales. Nous devons nous réjouir également que les architectes R. Fromont et C. Trentesaux (2016) aient réalisé « un relevé architectural de l'existant ... de la manière la plus exhaustive possible » qui se traduit par la représentation détaillée de chaque ferme principale et de coupes longitudinales des parties médiévales. Ces relevés analytiques sont très complémentaires des nuages de points lasergrammétriques plus justes du point de vue géométrique.

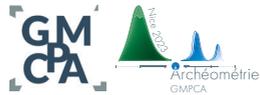
Après l'incendie, ces études ont été croisées (Epaud, 2020), elles donnent un niveau de connaissance qui permet d'appréhender la complexité des charpentes de NDP, mais pas d'en fournir une totale compréhension. Les quelques bâtiments d'une importance similaire (L'abbaye de Fontevraud, les cathédrales de Bourges, Auxerre, Laon) dont l'étude des charpentes est plus aboutie ont bénéficié de relevés à la fois architecturaux et archéologiques. De plus, la sériation chronologique repose sur près de 300 prélèvements de bois interprétés de façon concomitante. Le laps de temps entre les carottages et l'établissement de relevés précis a empêché un dialogue abouti entre les observations archéologiques et les premiers résultats de datation. En conséquence, la place de NDP dans l'accélération que subit la conception des charpentes entre la moitié du XII^e et la fin XIII^e s. n'est qu'imparfaitement définie.

L'incendie a projeté les études du bois carbonisé au-delà de la charpente et de la cathédrale en « libérant » une quantité de matériel de la période médiévale très nettement supérieure à celle accessible par prélèvement. Dans l'ANR CASIMODO, ces restes sont considérés dans leur ensemble, une démarche qui doit beaucoup à C. Lavier (C2RMF), occasionnant des opérations logistiques et de tri d'ampleur, mais qui offre la possibilité de recherches multicritères qui visent en plus de la documentation de la charpente en tant que telle, à comprendre l'impact des facteurs climatiques et anthropiques sur l'évolution du socio-éco-système forêt-bois entre les 11^e et 13^e siècles en Île-de-France et dans le Bassin parisien.

La chronologie des abattages des arbres (Penagos *et al.* 2022) pose encore des questions, par ailleurs, elle pourrait être complétée par de nouvelles phases lors de l'avancée de l'étude des vestiges. On retient aujourd'hui qu'elle débute vers 1185 pour fournir des bois retrouvés en remploi dans la charpente du chœur qui aurait été reconstruite vers 1230. La charpente de la nef est majoritairement constituée de bois récoltés vers 1214, mais elle comporte également des éléments importants, notamment deux entrails, confectionnés à partir d'arbres abattus vers 1290, une phase méconnue du chantier. Ces datations croisées aux observations archéologiques des assemblages et des reprises vont dans le sens d'une réalisation complexe de la charpente de la nef dont la compréhension détaillée reste toutefois encore à saisir.

Mots-Clés: Incendie, Charpentes médiévales, Archéologie du bois, Notre-Dame de Paris, Dendrochronologie

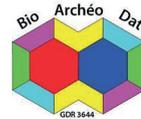
<https://gmpca2023.sciencesconf.org>



ORGANISATEURS



FINANCEURS PUBLICS



SPONSORS



Catalogue Hirox (pdf)