

Rencontres  
**Géosciences**  
**Archéologie**  
2019

**Rencontres Interdisciplinaires et Interprofessionnelles  
Géosciences - Archéologie**

17 -18 juin 2019

L'Escharpe, Université de Strasbourg

**Programme**

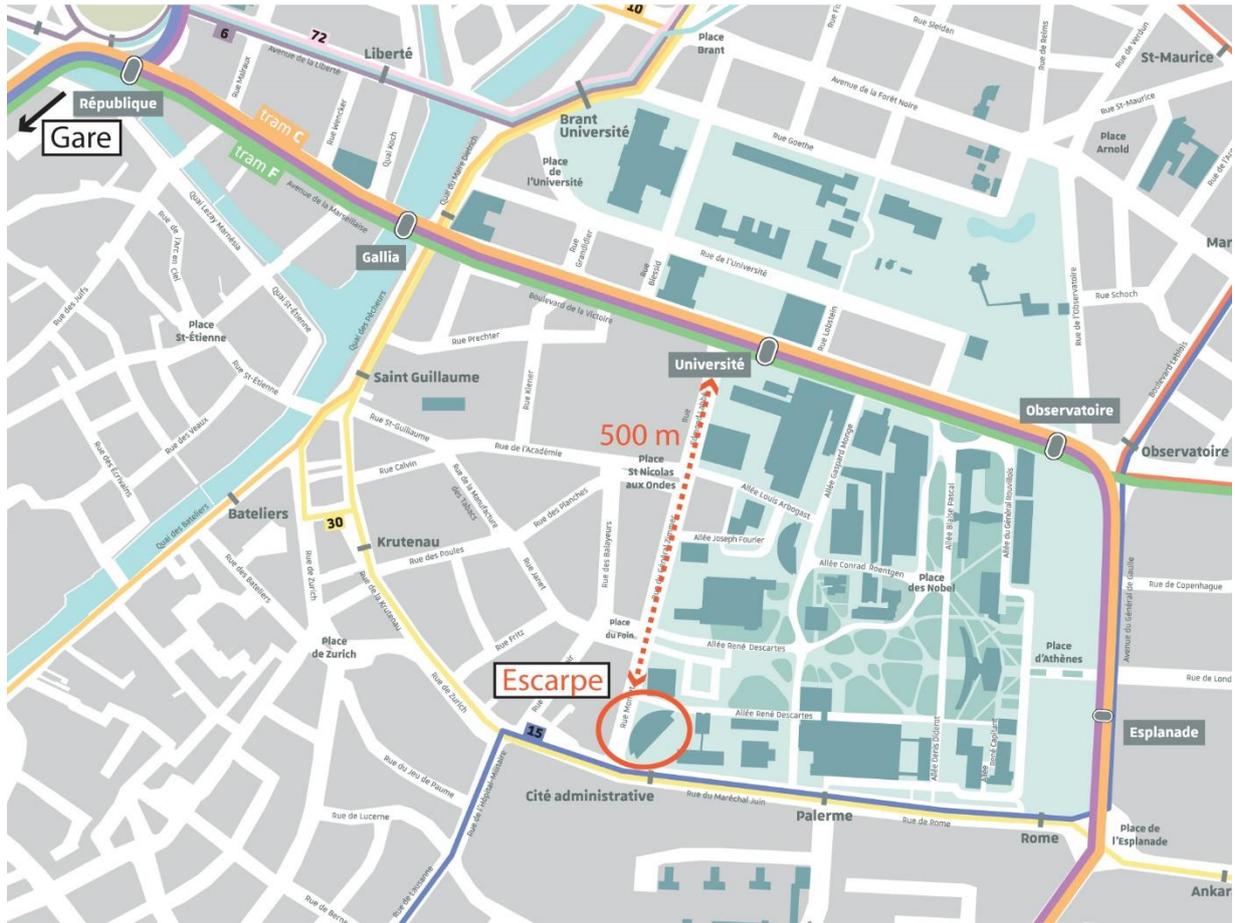
Contact : [bgavazzi@unistra.fr](mailto:bgavazzi@unistra.fr)



## Éléments pratiques

**Adresse :** Bâtiment l'Escarpe, Unistra, Campus Central, 4 rue Pierre Montet, 67000 Strasbourg

**Accès :** Tram arrêt Université puis 500 m à pied (plan ci-dessous). Depuis la gare ligne C (surface), 8<sup>ème</sup> arrêt (12 minutes)



**Hôtels :** Une liste d'hôtel avec tarifs négociés pour les participants au journées est disponible au lien suivant : <https://seafile.unistra.fr/f/f86c9d0d7b584c84a7ca/>

**Réception à l'Hôtel de Ville :** Une réception offerte par la ville de Strasbourg aura lieu à l'hôtel de ville le lundi 17 à 18h30, au 9 rue Brulée.

**Accès :** Tram arrêt Broglie (Lignes B, C et F) puis 200 m à pied, 15 minutes à pied depuis l'Escarpe (1.2km)

# Programme

**Comité d'organisation :** Bruno Gavazzi (IPGS), Frédéric Colin (ARCHIMEDE), Michel Humm (ARCHIMEDE), Guillaume Hulin (INRAP), Laurence Jouniaux (IPGS), Philippe Kuchler (AA), Ferréol Salomon (LIVE), Mathieu Schuster (IPGS)

## Jour 1 - Lundi 17/06

**08h00 - 08h45** Accueil des participants

**08h45 - 09h30 : Conférence invitée**

*Jean-Paul Bravard*

**De l'unité stratigraphique aux interactions culture-environnement : les conquêtes de l'interdisciplinarité**

**09h30 - 10h10 : Géoarchéologie (partie 1)**

09h30 - 09h50	<i>Quentin Borderie, Rowena Y. Banerjea, Stéphane Bonnet, Yannick Devos, Cristiano Nicosia, Christophe Petit, Ferréol Salomon, Nathalie Schneider, Barbora Wouters, Patrice Wuscher</i> <b>Géoarchéologies des contextes urbains : mieux comprendre les modalités de l'artificialisation des géosystèmes à l'Anthropocène</b>
09h50 - 10h10	<i>Ferréol Salomon, Evelyne Bukowiecki</i> <b>Risque fluvio-littoral et dynamique urbaine d'Ostie à l'époque romaine : quelles synchronisations possibles entre les chronologies historiques, archéologiques et géomorphologiques ?</b>

**10h10 - 10h30 : Pause-Café**

**10h30 - 12h30 : Géoarchéologie (partie 2)**

10h30 - 10h50	<i>Patrice Wuscher, Quentin Borderie, Nathalie Schneider, Laurent Bruxelles, Christophe Jorda</i> <b>De la formation géologique à la tranchée : trouver les sites archéologiques menacés par les travaux d'aménagement du territoire</b>
10h50 - 11h10	<i>Alfredo Mayoral, Jean-Luc Peiry, Jean-François Berger, François-Xavier Simon, Franck Vautier, Yannick Miras</i> <b>Approche géoarchéologique intégrée du bassin hydromorphe de la Narse de la Sauvetat (Auvergne, France) : origine, évolution géomorphologique et interaction socio-environnementale Holocène</b>
11h10 - 11h30	<i>Simon Goudissard</i> <b>Géoarchéologie sur le plateau du Kochersberg : croiser les lectures de l'archéologie et des sciences de la Terre au fil de l'autoroute</b>
11h30 - 11h50	<i>Morgan Millet, Michel Guélat</i> <b>Contexte sédimentaire et vestiges antiques perturbés à Rennaz/Noville (CH). Une attestation de l'éboulement dit du Tauredunum ?</b>
11h50 - 12h10	<i>Maria Gkioni, George Ferentinos, Maria Geraga, George Papatheodorou</i> <b>Geoarchaeological studies in Greece: Palaeolithic seafaring in the Aegean Sea</b>
12h10 - 12h30	<i>Théophile Piau, François Bétard, Fabienne Dugast, Gilles Arnaud-Fassetta, Vincent Viel</i> <b>Dynamique géomorphologique holocène et occupation humaine dans le bassin-versant de l'Eure : apport d'une approche géoarchéologique multi-scalaire</b>

**12h30 - 13h30 : Déjeuner**

**13h30 - 13h50 : Message de Bienvenue**

**13h50 - 15h30 : Interdisciplinarité (partie 1)**

13h50 - 14h10	<i>Anne-Elisabeth Lebatard, Didier Bourlès, Régis Braucher, ASTER TEAM</i> <b>Les radionucléides cosmogéniques et leur utilisation en archéologie et paléoanthropologie</b>
14h10 - 14h30	<i>Meghraoui Mustapha</i> <b>L'archéosismologie, un domaine de recherche essentiel pour l'évaluation de l'aléa et du risque sismique</b>
14h30 - 14h50	<i>Simon Diemer, Jehanne Affolter, François Bachellerie, Alexandre Deseine, Sylvain Griselin, Héroïse Koehler</i> <b>Entre pétrographie et technologie lithique : étude de la gestion des matières premières lithiques au Paléolithique et au Mésolithique en Alsace</b>
14h50 - 15h10	<i>Tommy Vettor, Carine Harivel, Violaine Sautter, Sylvain Pont, Jean-Charles Moretti, Isabelle Moretti</i> <b>Traçabilité des marbres dans le bâti délien : résultats préliminaires</b>
15h10 - 15h30	<i>Michel Dubois, Eric Armynot du Châtelet, Vincent Hadot, Renaud Toulle, Sandra Ventalon</i> <b>Reconstitution de sculptures fragmentées par approches multitechniques (micropaléontologie, pétrographie et minéralogie) : exemple du gisant de Jeanne d'Ecaussinnes du Musée de Valenciennes</b>

**15h30 - 15h50 : Pause-Café**

**15h50 - 17h10 : Interdisciplinarité (partie 2)**

15h50 - 16h10	<i>Dominique Schwartz, Vincent Robin, Pierre Adam, Philippe Schaeffer, Anne Gebhart, Pierre-Alexis Herrault, Benjamin Keller, Daniele Dapiaggi, Claire Stevenel, Maxime Thiss, Martine Trautmann, Damien Ertlen</i> <b>Les géosciences au service de l'archéologie agraire : une étude de cas sur les rideaux de culture de Goldbach (68)</b>
16h10 - 16h30	<i>Rémy Grebot, Bruno Gavazzi</i> <b>Approche instrumentée d'une prospection subaquatique lacustre</b>
16h0 - 16h50	<i>Guillaume Charloux, Bruno Gavazzi, Paul Bernard</i> <b>Étudier une oasis d'Arabie septentrionale. Pratiques méthodologiques et premiers résultats sur le site d'al-Bad' (supposée ancienne Madian)</b>
16h50 - 17h10	<i>Frédéric Colin, Bruno Gavazzi, Marc Munsch, Mathieu Schuster, Dominique Schwartz</i> <b>Identifier et imager les plus anciens canaux d'irrigation du Sahara : méthodes combinées archéologiques et géophysiques</b>

**17h10 - 17h20 : Présentation du GMPCA (Groupe des Méthodes Pluridisciplinaires Contribuant à l'Archéologie) et de la revue Archimède**

**18h30 - 20h00 : Réception à l'hôtel de ville offerte par la ville de Strasbourg**

## Jour 2 - Mardi 18/06

08h00 - 08h30 Accueil des participants, installation des exposants

### 08h30 - 08h50 : Interdisciplinarité (partie 3)

08h30 - 08h50	<i>Loup Bernard</i> <b>ArkeoGIS, retour d'expériences sur une plateforme interdisciplinaire de partage de données archéologiques et environnementales</b>
08h50 - 09h10	<i>Charlène Morel</i> <b>Stratégies d'implantation des communautés agricoles : une étude pluridisciplinaire</b>
09h10 - 09h30	<i>Lizzie Scholtus</i> <b>Spatialisation des découvertes, modélisation du passé. L'informatique au service de l'archéologie</b>
09h30 - 09h50	<i>Jonas Parétias, Victor Viquesnel-Schlosser, Corentin Voisin, Bruno Gavazzi</i> <b>Étudier l'occupation d'une ville romaine : les enjeux du PCR « Topographie générale et insertion territoriale de l'agglomération antique de Briga »</b>
9h50 - 10h10	<i>Isabelle Heitz, Fabienne Dugast</i> <b>LiDAR aéroporté sous drone : une technique à l'échelle d'un chantier archéologique qui a fait ses preuves à Soissons. Retour d'expérience, perspectives et complémentarité avec d'autres techniques géophysiques (radar) et scans terrestres. Nouvelles voies innovantes de post-traitement des MNT</b>

10h10 - 10h30 : Pause-Café

### 10h10 - 12h10 : Géophysique et archéologie (partie 1)

10h30 - 10h50	<i>George Ferentinos, Maria Geraga, Dimitrios Christodoulou, Elias Fakiris, Xenophontas Dimas, Nikos Georgiou, Stavroula Kordella, George Papatheodorou, Michalis Prevenios, Makis Sotiropoulos</i> <b>Optimal side scan sonar and subbottom profiling data collection and processing in marine archaeology : case study of the 'Fikardo' wreck, Kefallinia Island, Ionian Sea</b>
10h50 - 11h10	<i>Igor Girault, Amélie Quiquerez, Dominique Todisco, Carole Nehme, Fabiana Martin, Luis Borreo</i> <b>La structure enfouie et le remplissage de la Grotte du Mylodon (Patagonie chilienne) révélés par tomographie de résistivité électrique</b>
11h10 - 11h30	<i>Abdelhakim Ayadi</i> <b>Archéo-géophysique sur le site Romain de Tipasa (Algérie)</b>
11h30 - 11h50	<i>Philippe Quenet, Bruno Gavazzi, Laurene Moroni, Francis Galluser, Maksim Bano, Franco d'Agostino</i> <b>Au cœur des ziggurats : le cas d'Eridu (Irak du Sud)</b>
11h50 - 12h10	<i>Rémy Wassong, Bruno Gavazzi</i> <b>Les prospections géomagnétiques sur l'habitat de hauteur fortifié du Maimont</b>

12h10 - 13h10 : Déjeuner

### 13h10 - 15h10 : Géophysique et archéologie (partie 2)

13h10 - 13h30	<i>Guillaume Hulin, François-Xavier Simon</i> <b>L'Inrap et la géophysique : vers une approche raisonnée</b>
13h30 - 13h50	<i>Laurent Paez-Rezende, Guillaume Hulin</i> <b>Diagnostic archéologique par méthode géoradar et sondages archéologiques sur le parking Notre-Dame à Cherbourg : une approche croisée</b>

13h50 - 14h10	<i>Guillaume Bruniaux, Vivien Mathé, Victor Legrand, François Lévêque, Vincent Ard</i> <b>Approche comparative entre la prospection magnétique en champ total et en gradient vertical sur des enceintes fossoyées néolithiques (Grand-Ouest de la France)</b>
14h10 - 14h30	<i>Rozan Al-Khatib Alkontar, Bruno Gavazzi, Marc Munsch, Corinne Castel</i> <b>Champ magnétique total, pseudo-gradient ou dérivée verticale ? Magnétomètres scalaires ou 3 composantes ? Une comparaison de différents modes d'acquisition et de représentation de la mesure magnétique à travers un cas d'étude sur le site d'Al-Rawda, Syrie.</b>
14h30 - 14h50	<i>François-Xavier Simon, Julien Guillemoteau, Alain Tabbagh, Joachim Rimpot, Guillaume Hulin</i> <b>Contraintes instrumentales, considérations théoriques et développements méthodologiques : De nouvelles perspectives pour les applications des méthodes électromagnétiques basse fréquence en archéologie.</b>
14h50 - 15h10	<i>Hugo Reiller, Matthieu Fuchs, Bruno Gavazzi</i> <b>Apport d'une prospection géophysique multi-méthodes pour répondre à une problématique archéologique : le site du théâtre gallo-romain à Horbourg-Wihr</b>

### 15h10 - 17h30 : Café, posters, stands et table ronde

15h30 : La géophysique en archéologie : outils d'analyse ou sciences interconnectées

#### Posters

P1	<i>Marilou de Vals, Amélie Perrier, Isabelle Moretti</i> <b>La pierre dans le sanctuaire d'Apollon de Delphes</b>
P2	<i>Armelle Charrié-Duhaut, Fabienne Medard, Agathe Mulo, Clotilde Proust, Solenne Milbled</i> <b>Étude interdisciplinaire des archéomatériaux organiques : de nouvelles perspectives</b>
P3	<i>Blandine Courel, Philippe Schaeffer, Pierre Adam, Estelle Motsch, Clément Féliu, Nathalie Schneider</i> <b>Marqueurs stéroïdiens d'origine fécale dans des sols archéologiques anthropogénisés en Alsace</b>
P4	<i>Gilles Rixhon, Clément Flaux, Nicolas Carayon, and Lucy Semaan</i> <b><sup>10</sup>Be and <sup>36</sup>Cl surface exposure dating of man-made excavations in northern Lebanon: Phoenician structures or not?</b>
P5	<i>Blandine Courel, Philippe Schaeffer, Pierre Adam, Estelle Motsch, Quentin Ebert, Emilie Moser, Clément Féliu, Stefano M Bernasconi, Irka Hajdas, Damien Ertlen, Dominique Schwartz</i> <b>Mise en évidence d'une culture du millet à Obernai depuis l'Age du Bronze : étude moléculaire, isotopique et datation au 14C</b>
P6	<i>Arnaud Gauthier, Michel Dubois, Léonore Cochard</i> <b>Apport de la minéralogie et de la géochimie à l'étude de la compréhension des processus archéométallurgiques. Cas des ferriers de la forêt de Moulière</b>
P7	<i>Anne Gebhardt, Estelle Camizuli, Joseph Gauthier, Anne Poszwa, Danièle Bartier</i> <b>Approche interdisciplinaire d'un atelier minéralurgique du XVe s à Sainte-Marie aux-Mines (Vosges, France)</b>
P8	<i>Guillaume Bruniaux, Vivien Mathé, François Lévêque, Vincent Ard</i> <b>Discrimination spatiale d'une enceinte fossoyée néolithique implantée sur un plateau calcaire pour estimer la localisation d'un niveau d'occupation</b>
P9	<i>Marie-Caroline Charbonnier</i> <b>Géoarchéologie des axes de circulation : Premiers résultats de l'étude micromorphologique d'une rue à Durocortorum (Reims).</b>

P10	<i>Ferréol Salomon, Claire Rambeau, Laurent Schmitt, Frank Preusser, Daria Klekovkina, Francisco Silva, Pierre-Alexis Herrault, Gilles Rixhon, Damien Ertlen, Anne Gebhart, Nathalie Schneider, Patrice Wuscher, Laurent Lespez, Clément Virmoux, Aline Garnier, Agnès Gauthier, Charlène Morel, Loup Bernard, Marina Lasserre</i> <b>Paléo-dynamique et résilience des territoires fluviaux rhénans au cours de l'Holocène : Etude géoarchéologique de la plaine alluviale du Rhin entre Drusenheim/Rheinmünster et Seltz/Rastatt</b>
P11	<i>Nathalie Schneider, Anne Gebhardt, Sylvain Griselin, François-Xavier Simon</i> <b>Géoarchéologie dans le cadre de diagnostics et de fouilles préventives, exemples de grands linéaires : LGV et COS, Alsace. Comment conserver une approche pluridisciplinaire dans les contraintes de temps actuelles ?</b>
P12	<i>Mathilde Stern, Emmanuel Weisskopf, David Landry, Aziz Ballouche</i> <b>Etude multi-proxy de l'évolution Holocène d'un bassin versant soudanien anthropisé (Site mégalithique de Wanar, bassin du Bao Bolon, Sénégal).</b>
P13	<i>Rozan Al-khatib Alkontar, Paul Calou, Jérôme Rohmer, Marc Munschy</i> <b>Cartographies magnétiques à différentes échelles sur le site préislamique de Thaj (Arabie Saoudite) et comparaison avec les résultats archéologiques</b>
P14	<i>Benjamin Defert, Amélie Quiquerez, Hervé Bocquillon, Patrice Méniel</i> <b>L'organisation interne de l'habitat protohistorique de l'oppidum de La Cheppe (51) : apport des prospections géophysiques</b>
P15	<i>Tristan Fréville, Florian Basoge, Matthieu Fuchs, Bruno Gavazzi, Marc Munschy, Gilles Pierrevelcin</i> <b>Présentation du projet DROMMA - Drone de Mesures Magnétiques pour l'Archéologie</b>
P16	<i>Amélie Laurent-Dehecq</i> <b>Utilisation du pénétrromètre dynamique léger PANDA® pour la détection et la caractérisation des sols anthropiques en Région Centre-Val-de-Loire, France</b>

#### Stands

S1	<b>ArkeoGIS (UMR 7044 ARCHIMEDE)</b>
S2	<b>Laboratoire d'Analyses des Sols et formations superficielles (UMS 830 - EOST)</b>
S3	<b>Pôle analytique du LHyGes (UMR 7517 - LHyGes)</b>
S4	<b>μXRF et lames minces (UMR 7516 - IPGS)</b>
S5	<b>CARMA : Cartographies Magnétiques (UMR 7516 - IPGS)</b>
S6	<b>Terremys</b>

# Présentations orales

## Conférence Invitée

Jean-Paul Bravard<sup>1</sup>

### **De l'unité stratigraphique aux interactions culture-environnement : les conquêtes de l'interdisciplinarité**

Cette communication s'efforcera de dégager quelques grandes périodes et une dynamique dans l'essor de la discipline géoarchéologique en remontant au-delà de la création du terme qui s'est maintenant imposé dans les communautés des archéologues et des spécialistes des géosciences.

Le 1er point évoquera les origines de la démarche géoarchéologique qui, dès les années 1860, a reposé sur des découvertes innovantes mais isolées et sans lendemain ; des dépôts et des formes sont très tôt replacés dans un contexte historique et parfois dans celui du changement climatique. De manière structurée, les concepts de changement paysager et environnemental apparaissent dans les Alpes et en Méditerranée entre les années 1920 et les années 1980, dans leurs liens potentiels avec des sites archéologiques.

Le 2e point présentera les caractères de la collaboration lyonnaise entre archéologues d'une part (chantiers AFAN, INRAP et Service municipal) et géomorphologues géographes d'autre part à partir des années 1980. Ces collaborations ont fait progresser le dialogue interdisciplinaire, contribué à poser les bases du rôle respectif d'acteurs appartenant à des milieux différents (culture et recherche naturaliste) tout en montrant le potentiel d'étude que recèlent des formations alluviales.

Le 3e point rappellera les innovations techniques qui ont fortement enrichi l'apport des géosciences depuis la fin des années 1980 puis abordera des notions clés du dialogue interdisciplinaire : l'ouverture du site au bassin et au territoire, la crise, l'effondrement et la résilience. Deux exemples seront illustrés : 1) la mobilité environnementale de la vallée du Rhône et de la Provence à l'Holocène sous l'effet d'un « double forçage climato-anthropique » (travaux de J.-F. Berger et d'autres spécialistes) ; 2) la question de crises enregistrées dans des oasis du Yémen et d'Égypte entre l'époque ptolémaïque et l'époque copte, sachant que les hypothèses de nature culturelle s'ouvrent à la dynamique de l'environnement suite aux apports de la géoarchéologie.

<sup>1</sup>Université de Lyon

## Géoarchéologie : à la frontière des disciplines, partie 1

Quentin Borderie<sup>1</sup>, Rowena Y. Banerjee<sup>2</sup>, Stéphane Bonnet<sup>3</sup>, Yannick Devos<sup>4</sup>, Cristiano Nicosia<sup>5</sup>, Christophe Petit<sup>1</sup>, Ferréol Salomon<sup>6</sup>, Nathalie Schneider<sup>7,6</sup>, Barbora Wouters<sup>8</sup>, Patrice Wuscher<sup>9,6</sup>

### **Géoarchéologies des contextes urbains : mieux comprendre les modalités de l'artificialisation des géosystèmes à l'Anthropocène**

L'approche géoarchéologique des contextes urbains s'attache à l'étude des relations entre les sociétés et le géosystème, dans un environnement où ces relations denses et complexes produisent des formations pédo-sédimentaires originales par leur caractère artificiel, au sens strict, c'est-à-dire créées par l'homme. Dans ce contexte, les questions de la géoarchéologie prennent un sens spécifique, puisque le site d'étude c'est la ville, et la ville c'est l'artefact (Rosen 1986). L'emboîtement des échelles est alors contraint par celles d'un socio-système complexe, incluant l'hinterland, le commerce à longue distance aussi bien que le substrat pédo-géo-chimique local.

Ici, la ville est un bassin de sédimentation anthropique. La richesse des questions mobilise alors les thématiques liées à la topographie ancienne, aux réseaux hydrographiques et à l'impact des fortifications et de l'industrie, à la pédogenèse post-abandon, donc à la conservation de l'enregistrement archéologique. Plus récemment, sont abordés aussi les questions de la géométrie des ensembles pédo-sédimentaires, des traces pédologiques de la ville gauloise, de la pédo-sédimentation post-antique (terres noires), des matériaux de construction en terre et bois, de la

pédogenèse péri-urbaine et des pollutions.

Seule l'interdisciplinarité peut concourir à cette compréhension, dans un contexte archéologique préventif doivent alors être mobilisés les angles de vue de la stratigraphie archéologique, de la pédologie, de l'archéobotanique, de la micromorphologie... En interrogeant des contextes urbains variés en France (Saint-Denis, Metz, Noyon, Lyon, Aix-en-Provence, Chartres, Mulhouse, Horbourg-Wihr, Sélestat), en Belgique (Bruxelles, Anvers, Lierre, Tongres, Alost, Ypres), en Angleterre (Silchester), en Italie (Florence, Venise, Gabies, Ostie), en Scandinavie (Kaupang, Ribe, Hedeby) nous montrerons pourquoi l'attention géoarchéologique portée sur les contextes urbains ne peut pas se limiter à l'impact urbain sur l'hydrosystème, le littoral, mais questionne surtout les modalités humaines de gestions des flux, sur le temps long. De même, plus que de matériaux importés, exportés, il s'agit d'interroger les processus pédo-sédimentaires contraints par les systèmes d'activités humaines qui documentent ces transformations productrices d'anthropo-reliefs et d'anthropo-sols (Desachy 2008). En tant que science archéologique avant tout (Nicosia 2018), la géoarchéologie renseigne, en effet, les unités stratigraphiques (Harris 1979) autant que les modalités d'une pédogenèse et d'une géomorphologie urbaines.

Pourquoi, alors, la part des articles « urbains » de revues spécialisées de géoarchéologie est-elle si faible ? N'y a-t-il pas une urgence à comprendre ces systèmes, qui furent des intégrateurs, des bassins d'acquisitions pendant des centaines, des milliers d'années, mais sont aujourd'hui les lieux d'une érosion sans équivalent ? Loin des dichotomies simplificatrices nature-culture, intra-extra-site, la géoarchéologie de l'urbain est peut-être une clé pour aborder celle de l'Anthropocène.

<sup>1</sup>UMR 7041 ArScAn, Equipe Archéologies environnementales, <sup>2</sup>University of Reading, United Kingdom, <sup>3</sup>UMR 7299 Centre Camille Jullian, <sup>4</sup>Centre de Recherches en Archéologie et Patrimoine, Université Libre de Bruxelles, <sup>5</sup>Dipartimento dei beni culturali, Università di Padova, Italie, <sup>6</sup>Laboratoire Image Ville Environnement UMR 7362 (CNRS/UNISTRA), <sup>7</sup>Inrap Grand-Est, <sup>8</sup>Vrije Universiteit Brussel & Aarhus University, Research Foundation Flanders – FWO, Belgium, <sup>9</sup>Archéologie Alsace

Ferréol Salomon<sup>1</sup>, Evelyne Bukowiecki<sup>2</sup>

### **Risque fluvio-littoral et dynamique urbaine d'Ostie à l'époque romaine : quelles synchronisations possibles entre les chronologies historiques, archéologiques et géomorphologiques ?**

Ostie était une ville essentielle dans le système d'approvisionnement de Rome à la période antique. Située à l'embouchure du Tibre, cette ville portuaire assurait le transbordement des marchandises entre les navires maritimes et les navires fluviaux. Elle accompagna le développement de la puissance romaine depuis au moins le 4e s.-3e s. avant J.-C. et elle sera progressivement abandonnée à partir de l'Antiquité tardive. Le site d'Ostie sera définitivement déserté au 9e s. après J.-C. et remplacé par Gregoriopolis (aujourd'hui le Borgo di Ostia à Ostia Antica). Le site d'Ostie aura survécu pendant près d'un millénaire malgré un développement contraint par de nombreux facteurs anthropiques (razzias, guerres) et naturels (crues et tempêtes, mobilité du fleuve et du littoral, barres d'embouchures, subsidence). Comment caractériser la résilience de cette ville millénaire ? A partir de l'exemple d'Ostie, nous mettrons en question les chronologies utilisées pour reconstituer l'histoire de sa résilience. L'étude de cette résilience urbaine fait intervenir des chronologies historiques, archéologiques, des datations dites absolues, le tout pour établir un *récit* géoarchéologique complexe. Comment synchroniser ces systèmes chronologiques très différents ? Quelles limites à cette synchronisation et quelles perspectives de recherche entre histoire, archéologie, et géosciences ?

<sup>1</sup>Laboratoire Image Ville Environnement -LIVE- UMR 7362 (CNRS/UNISTRA), <sup>2</sup>Ecole française de Rome, Laboratoire Crypta Balbi, via dei Delfini, 14 - 00186 Roma, Italie

## Géoarchéologie : à la frontière des disciplines, partie 2

Patrice Wuscher<sup>1</sup>, Quentin Borderie<sup>2</sup>, Nathalie Schneider<sup>1</sup>, Laurent Bruxelles<sup>3</sup>, Christophe Jorda<sup>4</sup>

### De la formation géologique à la tranchée : trouver les sites archéologiques menacés par les travaux d'aménagement du territoire

Dès les premières heures de l'archéologie préventive, les sciences de la terre ont été mises à contribution pour détecter les sites archéologiques menacés par les travaux d'aménagements du territoire. L'étude des affleurements existants, des carottages et une révision critique de la littérature existante ont ainsi été utilisés pour caractériser le « risque » archéologique à l'échelle de grandes entités géomorphologiques (Lebret et Halbout 1991, Pastre 1994, Krier 2004). En parallèle, des sondages à la pelle mécanique sur environ 10% des surfaces aménagées se sont imposés pour détecter les sites archéologiques, tandis que certaines carrières faisaient l'objet jusque dans les années 2000 de suivi de décapage sur l'intégralité de leurs emprises. Cette méthode de sondages à 10% a été sanctuarisée par la loi de 2001. Depuis, elle a souvent été discutée (Marmet et alii 2002, Daugas et Bonin 2006, Malrain 2008, Depaepe et Seara 2010, CTRA 2018) et parfois remise en question, par exemple en 2014 avec le projet de loi relatif à la simplification de la vie des entreprises. Combinée à une lecture géomorphologique et pédosédimentaire multi-scalaire, elle apparaît toutefois très efficace.

En effet, la réalisation de modèles de localisation et de conservation des sites à partir de travaux de terrain et d'études documentaires a permis la découverte de plusieurs dizaines de sites paléolithiques et mésolithiques en Ile-de-France, en Centre-Val de Loire, en Languedoc et en Alsace. Ces modèles sont testés en permanence lors des diagnostics mécaniques au cours desquels sont réalisées des cartes géomorphologiques locales, d'une échelle intermédiaire entre les formations géologiques et les sites archéologiques. Dans cette optique, les géomorphologues décrivent toutes les unités stratigraphiques des terrains investis à partir de séquences de référence et donnent un cadre morphosédimentaire général, tandis que les archéologues réalisent un relevé de l'ensemble des sondages. Cette lecture fine du terrain permet d'adapter l'emprise et la localisation des sondages en fonction des formations superficielles, les paléosols et les berges étant investis de façon plus approfondie. Cette approche conjointe archéologique et géomorphologique a permis de mettre en évidence des catégories de sites peu documentés, telles que des tumulii ou des architectures en terre conservés en élévation. Elle éclaire également l'intensité des changements environnementaux à partir de la Protohistoire et le passage progressif à l'Anthropocène. Au final, si les diagnostics archéologiques apparaissent comme une nécessité patrimoniale, ils constituent également un outil fondamental pour la recherche sur les paysages du passé.

<sup>1</sup>UMR 7362 LIVE, <sup>2</sup>UMR 7041 ArScAn, <sup>3</sup>UMR 5608 TRACES, <sup>4</sup>UMR 5140 ASM

Alfredo Mayoral<sup>1</sup>, Jean-Luc Peiry<sup>2</sup>, Jean-François Berger<sup>3</sup>, François-Xavier Simon<sup>4,5</sup>, Franck Vautier<sup>6</sup>, Yannick Miras<sup>7</sup>

### Approche géoarchéologique intégrée du bassin hydromorphe de la Narse de la Sauvetat (Auvergne, France) : origine, évolution géomorphologique et interaction socio-environnementale Holocène

Une approche géoarchéologique intégrée a été mise en œuvre à La Narse de la Sauvetat (Auvergne, Fr.) à des échelles spatiales et temporelles emboîtées. Ce bassin hydromorphe situé en Limagne méridionale n'avait été jamais étudié jusqu'à présent en dépit du potentiel paléoenvironnemental de ses archives sédimentaires et de la proximité d'importantes occupations protohistoriques. Différentes techniques ont été mobilisées afin de caractériser d'une part la nature de la cuvette et son évolution morpho-sédimentaire sur le long terme (cartographie géomorphologique, télédétection, géophysique, sondages et interprétation chrono-stratigraphique), d'autre part l'impact anthropique et l'évolution des interactions socio-environnementales dans le bassin durant l'Holocène récent (analyses géoarchéologiques multi-proxy à haute résolution chronologique).

Les résultats ont révélé une paléovallée fossile sous 6 m de remplissage sédimentaire, fermée à l'aval par un seuil topographique. L'aggradation alluviale dans le bassin semble commencer au Pléistocène supérieur (avant 32000 cal BP) et se prolonge certainement jusqu'à l'Holocène moyen, en

concordance avec les dynamiques régionales. Vers le début du Subboréal (c. 5000 cal BP), un glissement de terrain massif se produit depuis le versant sud-ouest du plateau volcanique de Coirent et bloque la vallée en formant un lac qui évolue rapidement vers une dépression mal drainée. Cet événement est à associer à l'instabilité climatique mi-Holocène, qui est accompagnée d'une phase d'instabilité accrue des versants en Europe occidentale.

Après 4800 cal BP le bassin devient une cuvette hydromorphe, qui connaît quelques épisodes hydro-sédimentaires de plus haute énergie contemporains des événements climatiques de 4.2 et 3.5 ka BP, suivis de conditions hydro-sédimentaires graduellement plus calmes durant l'Holocène récent. Les traces de l'impact anthropique sur ce milieu humide demeurent discrètes jusqu'à la fin de l'Âge du Bronze. C'est au début de l'Âge du Fer (2600 cal BP) qu'un seuil majeur d'impact anthropique sur les sols et les processus hydro-sédimentaires est franchi : la cuvette est très probablement drainée et mise en culture en même temps que le taux d'accumulation sédimentaire s'accroît fortement. Si ces conditions se maintiennent jusqu'à la fin de l'Antiquité, l'entrée dans le Moyen Âge (1500 cal BP) est en revanche marquée par une dégradation subite du drainage sans doute en lien avec un changement du mode d'exploitation du terroir : la cuvette devient alors palustre puis lacustre jusqu'à son drainage à la période moderne.

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, CNRS, GEOLAB, <sup>2</sup>CNRS UMI 3189 ESS, Université Cheik Anta Diop, Sénégal, CNRS, <sup>3</sup>UMR 5600, EVS-IRG & Université Lyon 2, <sup>4</sup>INRAP, <sup>5</sup>UMR 6249, Laboratoire Chrono-environnement, <sup>6</sup>Université Clermont Auvergne, CNRS, Maison des Sciences de l'Homme, <sup>7</sup>UMR 7194 CNRS/MNHN/UPVD Institut de Paléontologie Humaine

Simon Goudissard<sup>1</sup>

### **Géoarchéologie sur le plateau du Kochersberg : croiser les lectures de l'archéologie et des sciences de la Terre au fil de l'autoroute.**

Les fouilles préventives préalables au Contournement Ouest de Strasbourg ont permis de mettre au jour plusieurs dizaines de sites, répartis pour l'essentiel au sein d'une entité géomorphologique homogène : le plateau loessique du Kochersberg, à l'ouest de Strasbourg.

Nous présenterons de façon thématique les résultats géoarchéologiques de 12 de ces fouilles, réalisées par le groupement Antea-Archéologie/Archéodunum. Tout au long de ces sites se dessine en effet une histoire des paysages anciens, depuis la fin du Dernier Maximum Glaciaire jusqu'aux périodes historiques. La concentration des opérations de fouille sur un transect autoroutier, sillonnant du nord au sud des collines de loess, a été l'opportunité de renseigner, pour chaque site, autant le substrat éolien périglaciaire que les processus pédo-sédimentaires holocènes.

La géoarchéologie de terrain devient alors le vecteur d'un échange entre les disciplines : géomorphologie, pédologie, micromorphologie, imagerie géophysique et archéologie. Les résultats préliminaires abordés ici offrent des pistes de réflexion pour les archéologues : stabilité sédimentaire au début de l'Holocène, potentiel d'enregistrement du signal archéologique et environnemental au sein des vallons fossiles, importance du parcellaire ancien dans la préservation des sols évolués (luvisols), crises érosives à partir de la Protohistoire, persistance des axes de circulation aux époques historiques.

<sup>1</sup>Antea Archéologie

Morgan Millet<sup>1</sup>, Michel Guélat<sup>2</sup>

### **Contexte sédimentaire et vestiges antiques perturbés à Rennaz/Noville (CH). Une attestation de l'éboulement dit du Tauredunum ?**

Le site de Rennaz-Noville se situe dans le Chablais vaudois, au sud-ouest de la Suisse. Il se place en rive droite de la vallée du Rhône, juste en amont de son débouché dans le lac Léman.

Une intervention archéologique a été requise suite à la construction d'un canal orienté nord-sud, dans l'axe médian de la plaine alluviale. Les coupes stratigraphiques observées lors de ces travaux révèlent que la partie superficielle du remplissage sédimentaire se compose d'un diamicton déformé reposant, selon un plan de chevauchement, sur des dépôts limniques. Le découpage en compartiments résulte d'un transport sur un fond fluidifié sous l'effet d'une surpression. Inclus à la

masse charriée, du mobilier archéologique en position souvent singulière se raccorde à des paléosols qui ont subi une déformation d'amplitude variable. Les investigations menées sur le site ont permis la mise au jour d'une centaine de structures ou anomalies, implantées dans une couche d'occupation perturbée, comme l'indiquent leurs morphologies et profils irréguliers. Il s'agit essentiellement de trous de poteaux et de quelques structures funéraires contenant des esquilles osseuses et du mobilier calciné. S'y ajoutent plusieurs maçonneries en position secondaire, partiellement conservées en pans et disposées obliquement. Le mobilier collecté et les analyses 14C disponibles convergent vers une occupation comprise entre le 1er siècle de notre ère et le début du 5e siècle. La présence de céramique protohistorique et de monnayage républicain laisse supposer qu'une occupation antérieure du second âge du Fer a été oblitérée par les implantations et les mouvements de terrains postérieurs. Tous ces éléments de datation sont cohérents avec la stratigraphie définie sur le site et compatibles avec un charriage du matériel vers le milieu du 6e siècle, qui pourrait donc se rapporter à l'écroulement dit du Tauredunum. Cet événement se serait produit en 563 au sud-ouest de la plaine, sur le flanc d'un promontoire rocheux, et il est établi qu'il a déclenché un raz de marée dans le lac Léman. Outre des données chronologiques inédites, les investigations menées à Rennaz-Noville fournissent ainsi une argumentation encore manquante sur les effets de cette catastrophe dans le milieu terrestre de la plaine alluviale, notamment au travers de l'étude combinée de son contexte sédimentaire et des vestiges archéologiques rencontrés.

<sup>1</sup>Archeodunum SA, <sup>2</sup>Sediqua Géosciences Sarl

Maria Gkioni<sup>1</sup>, George Ferentinos<sup>1</sup>, Maria Geraga<sup>1</sup>, George Papathodorou<sup>1</sup>

#### **Geoarchaeological studies in Greece: Palaeolithic seafaring in the Aegean Sea**

Archaeology and Geology are two disciplines that work together since 1830. At that time Boucher de Perthes and Dr. Rigollet found lithic tools, in the Somme valley and St. Acheul, embedded in sediments deposited during the last ice age. In this presentation we examine the relation between Man and the sea Late Middle Palaeolithic (LMP) to Early Upper Palaeolithic (EUP). For this purpose a high resolution cultural framework in time and space is compared to a palaeo-geographical framework of the Aegean Sea related to the eustatic/isostatic and tectonic sea-level changes and the resulting shoreline configuration, over the same time-span.

The data presented offer substantial evidence that: (i) the Aegean Sea islands were insular over the time concern (ii) the Hellenic peninsula was used by the Neanderthals as a refugium during MIS 4 and MIS 3, (iii) Neanderthals and AMHs co-existed in the Hellenic peninsula at around 40 ka cal. BP (35ka BP), (iii) the max. time-span of the Neanderthals and AMHs co-existence in the Hellenic peninsula extends from 44 to 39.3 ka cal. BP., (iv) Neanderthals and AMHs were seafaring in the Aegean Sea, the former from around 75 ka to 39.3 ka cal. BP and , the latter from 35 ka BP and onwards, (v) Neanderthal and AMHs in their movement from the Hellenic peninsula to the Anatolia and vice-versa had established a coastal route via the Aegean Archipelago, "the Aegean route" using the islands as stop over and (vi) the "Aegean route" might have been used as an alternative route to the Bosphorus land-bridge by the Neanderthals and AMHs in their movement between the Levant, Anatolia and Europe during MIS 4 and MIS 3 (74 to 35 ka cal. BP).

<sup>1</sup>Laboratory of Marine Geology & Physical Oceanography, Geology Department, Patras University, Greece

Théophile Piau<sup>1,2</sup>, François Bétard<sup>1</sup>, Fabienne Dugast<sup>2</sup>, Gilles Arnaud-Fassetta<sup>1</sup>, Vincent Viel<sup>1</sup>

#### **Dynamique géomorphologique holocène et occupation humaine dans le bassin-versant de l'Eure : apport d'une approche géoarchéologique multi-scalaire**

Localisé dans l'ouest du Bassin parisien, le bassin-versant de l'Eure présente une occupation humaine plurimillénaire. À l'interface entre plusieurs groupes culturels dès le Néolithique, il apparaît comme un espace archéologique clef et un cas d'étude privilégié pour appréhender les mécanismes d'interaction entre les sociétés du passé, leur environnement et le climat durant l'Holocène (10 000 ans BP jusqu'à l'Actuel). Paradoxalement, il s'inscrit dans une portion de territoire qui n'a fait l'objet que d'un nombre réduit d'opérations archéologiques et d'observations géomorphologiques.

Un tel contexte offre des perspectives de recherche intéressantes à la jonction de l'archéologie et de la géomorphologie, ouvrant le champ à des questionnements interconnectés :

- de la conservation et/ou de la visibilité des vestiges dans le paysage et des processus géomorphologiques à l'origine de leur fossilisation ou de leur démantèlement ;
- de la traçabilité des modalités d'utilisation de l'Eure et de sa navigabilité aux différentes périodes ;
- du rôle structurant de la rivière, axe sud-nord reliant la Seine, dans l'approvisionnement et l'intégration de cet espace dans un réseau d'échanges à large échelle.

Démêler la part respective des forçages naturels et de l'influence anthropique dans les mutations paysagères des systèmes fluviaux s'avère complexe et nécessite d'adopter une démarche pluridisciplinaire (archéologie, géomorphologie, géosciences), multiscalaire (de l'échelle macro-régionale à micro-locale) et diachronique (du début de l'Holocène à l'Actuel).

La communication vise à présenter les premiers résultats obtenus sur une fenêtre d'observation témoin correspondant à la moyenne vallée de l'Eure, combinant cartographie géomorphologique, comme outil pour établir un zonage des potentialités géoarchéologiques et paléoenvironnementales au sein de la fenêtre d'étude ; prospections géophysiques (TRE et Géoradar) pour une reconstitution 2D de l'architecture du remblaiement alluvial et l'élaboration d'une stratégie d'implantation des sondages sédimentaires ; acquisition et traitement des données stratigraphiques, par carottage et analyses en laboratoire.

Les perspectives de recherche sont à la fois fondamentales, par une approche systémique et quantitative dans l'objectif d'élaborer un budget sédimentaire holocène à l'échelle des sous-bassins et de préciser le rôle d'éventuels biais taphonomiques dans la distribution des gisements archéologiques, et appliquée, par la modélisation du potentiel de préservation géoarchéologique et la valorisation du patrimoine naturel et culturel de la vallée.

<sup>1</sup>UMR 8586 PRODIG, Université de Paris, <sup>2</sup>UMR 8167 Orient & Méditerranée, CNRS

## Interdisciplinarité : une démarche à fort potentiel, partie 1

Anne-Elisabeth Lebatard<sup>1</sup>, Didier Bourlès<sup>1</sup>, Régis Braucher<sup>1</sup> et ASTER Team<sup>1</sup>

### Les radionucléides cosmogéniques et leur utilisation en archéologie et paléanthropologie

Depuis les années 80, le nombre des études s'appuyant sur les quantifications rendues possibles par les nucléides cosmogéniques s'est accru de manière quasi exponentielle, du fait essentiellement des améliorations substantielles apportées à la technique de Spectrométrie de Masse par Accélérateur (SMA). Outre le <sup>14</sup>C – le plus connu d'entre eux – le Béryllium 10 (<sup>10</sup>Be), l'Aluminium 26 (<sup>26</sup>Al) et le Chlore 36 (<sup>36</sup>Cl) prennent une part prépondérante en géosciences et notamment, depuis les années 1990, dans les thématiques liées à la recherche de nos origines. Parmi les méthodes récemment développées en archéométrie, la méthode de datation basée sur le <sup>10</sup>Be produit dans l'atmosphère (<sup>10</sup>Be/<sup>9</sup>Be) a été appliquée avec succès pour dater des dépôts sédimentaires fossilifères de l'Erg du Djouab (Tchad), d'où proviennent deux hominins anciens : Toumaï et Abel. Ce premier travail a montré, que dans des environnements favorables, le <sup>10</sup>Be atmosphérique peut être utilisé comme un outil de datation des dépôts sédimentaires continentaux sur la période 0,1 et ~ 14 Ma. La détermination de la concentration des radionucléides cosmogéniques <sup>26</sup>Al, <sup>10</sup>Be produits *in situ*, c'est-à-dire accumulée dans la fraction minérale quartz, ou du <sup>36</sup>Cl accumulée dans les carbonates, permet de déterminer la durée d'exposition d'une surface au rayonnement cosmique. Un certain nombre d'applications de cette méthode de datation par durée d'exposition développées depuis une vingtaine d'années et appliquées à l'archéométrie, notamment le <sup>36</sup>Cl produit *in situ* dans le cadre des recherches menées sur la grotte Chauvet (France). Les radionucléides cosmogéniques <sup>26</sup>Al et <sup>10</sup>Be produits *in situ* peuvent servir également à la détermination de la durée d'enfouissement (méthode <sup>26</sup>Al/<sup>10</sup>Be) de niveaux enfouis (en stratigraphie) ou en grotte. Cette méthode a été récemment appliquée avec succès à plusieurs sites d'intérêt paléontologique et archéologique majeurs en Afrique du sud, en Inde ou en Corée du Sud, par exemple. Les derniers développements de cette méthode

permettent d'envisager son application sur la gamme temporelle comprise entre 100 ka (Paléolithique ancien) et ~6 Ma (homininés anciens).

<sup>1</sup>Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, INRA, Coll France, CEREGE

Mustapha Meghraoui<sup>1</sup>

### **L'archéosismologie, un domaine de recherche essentiel pour l'évaluation de l'aléa et du risque sismique**

Les catalogues sismiques ont été récemment enrichis de nombreuses données sur des séismes historiques et préhistoriques par le biais de la paléosismologie et de l'archéosismologie. De nombreux séismes passés ont été mieux identifiés et caractérisés grâce aux méthodes d'investigations qui associent la recherche des indices des effets des séismes forts à modérés avec une typologie spécifiques liées aux sites archéologiques. Cette présentation se focalise sur quelques exemples de sites archéologiques étudiés en commun entre sismologues, tectoniciens et archéologues en Syrie, Jordanie, Turquie et Tunisie. La richesse des sites archéologiques le long de la faille du Levant notamment en Jordanie, Syrie et en Turquie montre l'impact des déplacements cosismiques à travers des ouvrages d'art anciens. Ceci permet de reconnaître non seulement les effets des séismes successifs de fortes magnitudes ( $M_w > 6.5$ ) sur les constructions, mais également de déterminer les paramètres (déplacement, accélération du sol, période de retour) des événements sismiques. En Syrie, le site de l'aqueduc d'Al Harif situé le long de la faille du Levant, montre les effets d'une rupture sismique et sa répétition depuis l'époque romaine. En Tunisie, les effets d'une séquence sismique sur un aqueduc Romain puis Aghlabides indiquent les raisons de l'abandon d'un tel ouvrage et des investigations archéosismologiques attestent de l'âge de l'abandon coïncidant avec le séisme historique de 859 AD. L'approche archéosismologique, très comparable à la paléosismologie, permet non seulement de compléter un catalogue de sismicité, mais également de fournir des données significatives sur les paramètres des séismes anciens. L'utilisation de ces paramètres est décisive dans l'évaluation de l'aléa et du risque sismiques

<sup>1</sup>UMR 7516 IPGS (CNRS/UNISTRA)

Simon Diemer<sup>1</sup>, Jehanne Affolter<sup>2</sup>, François Bachelier<sup>3,4</sup>, Alexandre Deseine<sup>5</sup>, Sylvain Griselin<sup>6,1</sup>, Héloïse Koehler<sup>3,1</sup>

### **Entre pétrographie et technologie lithique : étude de la gestion des matières premières lithiques au Paléolithique et au Mésolithique en Alsace**

L'identification de la provenance des matières premières lithiques et des modalités de leur gestion jouent un rôle important pour l'étude des populations de chasseurs-cueilleurs préhistoriques. Les études interdisciplinaires combinant la pétrographie et la technologie lithique permettent de réfléchir sur l'extension des territoires parcourus, sur la manière dont ceux-ci étaient exploités, ou sur des notions telles que l'anticipation des besoins ou les stratégies d'approvisionnement.

En Alsace, la recherche sur le Paléolithique et le Mésolithique a longtemps été peu développée, notamment car la région était réputée pauvre en roches taillables. Néanmoins, de nouvelles données sur ces problématiques ont été apportées par le récent développement de la recherche sur ces périodes en Alsace, combinant la recherche et l'étude de nouveaux sites préhistoriques et de gîtes de matières premières taillables, impliquant une collaboration entre archéologie et pétrographie.

En plus de l'identification de matières premières aussi bien locales qu'exogènes ayant été exploitées pendant la préhistoire en Alsace, des différences ont pu être observées dans la gestion de matières premières entre les sites, qui peuvent être liées à des différences de fonction de ces sites et/ou d'accès à la matière première. Mais des différences de comportement peuvent également être observées entre le Paléolithique moyen, le Paléolithique supérieur et le Mésolithique, témoignant de probables changements dans le fonctionnement des groupes humains à travers le temps.

<sup>1</sup>UMR 7044 ARCHIMEDE (Université de Strasbourg), <sup>2</sup>Ar-Géo-Lab, UMR 6298 ArTeHis, <sup>3</sup>Archéologie Alsace, <sup>4</sup>UMR 5199 PACEA, <sup>5</sup>Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 7041 Arscan, <sup>6</sup>INRAP

Tommy Vettor<sup>1</sup>, Carine Harivel<sup>2</sup>, Violaine Sautter<sup>3</sup>, Sylvain Pont<sup>3</sup>, Jean-Charles Moretti<sup>4</sup>, Isabelle Moretti<sup>5</sup>

### **Traçabilité des marbres dans le bâti délien : résultats préliminaires**

Les pierres des constructions érigées dans la Grèce antique reflètent la géologie locale. La ville de Délos et son sanctuaire d'Apollon ont ainsi été construits en grande partie en granite et en gneiss, roches prépondérantes dans cette petite île de 5 km<sup>2</sup>. Le paradoxe réside dans l'omniprésence des marbres dans le bâti et surtout dans les édifices publics et religieux, alors qu'il s'agit de roches peu représentées dans le substratum de l'île où ils ne forment que 3 enclaves décimétriques dans le massif granitique qui occupe près des trois quarts de l'île. L'essentiel du marbre mis en œuvre a donc probablement été importé. L'un des objectifs du projet ANR Géologie et Architecture à Délos (GAD) est de distinguer au sein du bâti antique les marbres indigènes des marbres importés des Cyclades et de la Grèce continentale. Les premières études de terrain montrent qu'un grand volume de marbre a été extrait d'une carrière (enclave NE- SW) s'étendant du théâtre à l'Ouest, au temple d'Isis à l'Est, en passant par la vallée de l'Inôpos. Une enclave limitée en surface, mais assez épaisse sur la côte orientale au pied du mont Cynthe a fourni un marbre à cristaux pluri-centimétriques que l'on retrouve dans plusieurs édifices commandités par les Déliens (Temple d'Héra, Temple des Déliens, Bouleutérion). Les autres marbres semblent avoir été importés. L'étude présentée ici est fondée sur une approche multi-techniques afin de réaliser une analyse en composantes principales des marbres ainsi caractérisés. Sur le site, les techniques mises en œuvre sont non destructives. Textures et taille des grains (maximum grain size-MGS entre autres) sont observées à la loupe et la chimie des éléments majeurs / mineurs est analysée à l'aide d'un spectromètre de fluorescence X portatif (XRF). Si les résultats sont moins précis que les analyses destructives, la portabilité permet de multiplier les points de mesures sur de grandes surfaces autorisant un échantillonnage plus statistique des moellons de roche comme des fronts de taille des carrières antiques. En laboratoire la texture des marbres est étudiée au microscope optique en transmission et au microscope électronique à balayage (SEM). La nature et la chimie des minéraux accessoires sont déterminées par spectrométrie de rayons X (EDS) et diffraction de rayons X sur poudre (XRD). Enfin, la chimie fine quantitative globale du matériau est quant à elle déterminée par spectrométrie de masse (ICP-MS). Nous discutons ici des premiers résultats du projet GAD.

<sup>1</sup>Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), <sup>2</sup>Université Nanterre, <sup>3</sup>MNHN, <sup>4</sup>CNRS, IRAA, Lyon, <sup>5</sup>Sorbonne Université

Michel Dubois<sup>1</sup>, Eric Armynot du Châtelet<sup>2</sup>, Vincent Hadot<sup>3</sup>, Renaud Toulle<sup>4</sup>, Sandra Ventalon<sup>2</sup>

### **Reconstitution de sculptures fragmentées par approches multitechniques (micropaléontologie, pétrographie et minéralogie) : exemple du gisant de Jeanne d'Ecaussinnes du Musée de Valenciennes**

La reconstitution d'objets fragmentés en archéologie, notamment les sculptures nécessite une caractérisation fine du matériel rocheux dont ils sont constitués.

Cette étude porte sur l'analyse de deux éléments de gisant exposés au musée de Valenciennes : 1) un corps sans tête issu des fouilles du Couvent de Notre-Dame de Beaumont à Valenciennes; il est supposé être celui de Jeanne du Roeulx (Hainaut belge) dite d'Ecaussinnes (XIV<sup>ème</sup> siècle), épouse de Simon de Lallaing, Sire de Quiévrain. 2) une tête amenée au Musée hors de tout cadre de fouille. Les similitudes du matériau (calcaire blanc-crème à glauconite), les proportions et la facture peuvent laisser supposer que les deux objets proviennent du même gisant, mais il manquait une stricte démonstration. L'objectif de l'étude est de mettre en valeur les arguments micropaléontologiques, pétrographiques et minéralogiques, en plus des caractéristiques de la facture, afin de déterminer s'ils proviennent de la même sculpture funéraire ou non. Le cou est manquant ce qui ne permet pas de réassocier directement les deux pièces.

Plusieurs lames minces ont été réalisées, à partir de fragments de la tête et du corps, à proximité du cou dans les deux cas. La nature des éléments figurés (glauconite, quartz) et organiques (nature des micro-fossiles) confirment les similitudes observées macroscopiquement. Dans les deux cas, l'étude sédimentologique et diagénétique indique qu'il s'agit d'une turbidite carbonatée ayant subi un enfouissement modéré.

Une approche statistique a été développée sur les éléments figurés pour estimer la confiance que l'on peut avoir sur les similitudes microscopiques. Les caractéristiques minéralogiques et micropaléontologiques (grains de glauconite, de quartz et les foraminifères) ont été dénombrées en microscopie optique et au MEB et soumis à des tests statistiques afin d'estimer la similitude des matériaux initiaux au-delà de l'hétérogénéité naturelle de la roche. En croisant tous les résultats, rien n'indique que le corps et la tête du gisant ne proviennent pas de la même statue.

Compte tenu de la particularité de ce gisant élaboré dans un calcaire blanc alors que les autres gisants du couvent sont en calcaire du Tounaisien, la question additionnelle de l'origine du matériau a été posée. Un grand foraminifère (genre Operculina) du fragment de tête indique une position stratigraphique Eocène-Oligocène. Le croisement des informations stratigraphiques et pétrographiques est en faveur d'une origine non régionale de la roche. Au vu des éléments dont nous disposons, l'origine pourrait se trouver soit dans le Bassin Parisien, soit dans le Bassin Belge.

<sup>1</sup>Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE, EA 4515), Université de Lille, <sup>2</sup>Univ. Lille, CNRS, Univ. Littoral Côte d'Opale, UMR 8187, LOG, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, <sup>3</sup>Musée des Beaux-Arts de Valenciennes et Service Archéologique Municipal, <sup>4</sup>UniLaSalle, Département Géosciences (GEOS), Equipe Bassins, Réservoirs, Ressources (B2R)

## Interdisciplinarité : une démarche à fort potentiel, partie 2

Dominique Schwartz<sup>1</sup>, Vincent Robin<sup>2</sup>, Pierre Adam<sup>3</sup>, Philippe Schaeffer<sup>3</sup>, Anne Gebhart<sup>1,4</sup>, Pierre-Alexis Herrault<sup>1</sup>, Benjamin Keller<sup>1</sup>, Daniele Dapiaggi<sup>1,5</sup>, Claire Stevenel<sup>1,5</sup>, Maxime Thiss<sup>1,5</sup>, Martine Trautmann<sup>6</sup> Damien Ertlen<sup>1</sup>

### Les géosciences au service de l'archéologie agraire : une étude de cas sur les rideaux de culture de Goldbach (68)

Dans les vallées vosgiennes, le LIDAR met en évidence de nombreuses zones caractérisées par des talus métriques très réguliers, espacés de quelques dizaines de mètres et perpendiculaires à la pente. Les espaces concernés sont des versants entiers de collines sur plusieurs centaines d'hectares. Ces talus sont des rideaux de culture, formés par accumulation de colluvions agricoles à l'amont de haies. Les parcelles forment des lanières étroites, parallèles aux courbes de niveaux, limitées à l'origine par des haies qui ont, le plus souvent, disparu. L'ensemble constitue des « systèmes de parcelles en bandes isohypses ».

Ces systèmes ont été peu étudiés jusqu'à présent dans la région. Une première étude dans le Sundgau a montré que des rideaux de culture ont commencé à se former dès la transition Age du Bronze/Age du Fer, mais que le système s'était probablement généralisé vers le milieu de l'époque médiévale (thèse Froehlicher, 2016).

L'étude présentée ici constitue le premier prolongement de ces travaux. Elle s'intéresse aux villages de Goldbach-Altenbach, situés dans la vallée de Thann au cœur d'une très vaste zone de rideaux de culture étagés de 450 à 930 m d'altitude. Deux tranchées de 10 m de long ont été ouvertes dans un pâturage et dans une forêt, pour recouper à chaque fois un rideau.

Des approches combinant description des sols sur le terrain, biogéochimie de la matière organique, micromorphologie des sols, pédoanthracologie et analyse spatiale ont permis de reconstituer la mise en place de ce type de parcellaire vers l'an 900 et son évolution ultérieure.

<sup>1</sup>LIVE ; UMR 7362 UNISTRA/CNRS, <sup>2</sup>LIEC, Université de Lorraine, <sup>3</sup>Laboratoire de Biogéochimie Moléculaire, UMR 7177 UNISTRA/CNRS, <sup>4</sup>INRAP Grand Est-Nord, <sup>5</sup>étudiants master Géographie Environnementale, UNISTRA, <sup>6</sup>UMS 830, EOST, CNRS

Rémy Grebot<sup>1</sup>, Bruno Gavazzi<sup>2</sup>

### **Approche instrumentée d'une prospection subaquatique lacustre**

Une prospection archéologique subaquatique en rivière ou en mer consiste à immerger des plongeurs archéologiques expérimentés. Moyennant une organisation de travail efficace, on obtient une prospection visuelle effective où la circulation d'eau et le courant participent à la visibilité.

Dans le cas d'un lac, il n'y a pas ou peu de mouvement d'eau et donc tout déplacement du plongeur soulève des sédiments qui rendent la perception visuelle quasiment nulle. Les plongeurs doivent donc être envoyés sur des cibles bien identifiées et localisées précisément avec peu de déplacement.

La mise en œuvre de techniques instrumentées pour une prospection subaquatique permet de pallier ces difficultés. L'état des connaissances concernant le lac, au travers des archives ou des traditions populaires, donne des orientations de recherches.

Une première approche à un coût abordable permet d'obtenir une bathymétrie qui révélera des anomalies topographiques du fond du lac, des images du fond du lac avec le radar à balayage latéral et l'exploitation des données pourra également donner des notions de dureté de fond. Le tout peut être mis en œuvre avec un sondeur généralement utilisé par les pêcheurs. Un complément d'instrumentation peut être obtenu avec un magnétomètre à proton, dont le coût reste abordable.

Fort des résultats obtenus et de l'importance des anomalies identifiées, des appareillages plus lourds pourront être mis en œuvre avec une bathymétrie multifaisceaux géo localisée avec un DGPS. Une magnétométrie plus précise permettra de valider les premiers résultats et de les affiner.

Le cas du Lac d'Antre – VILLARDS D'HERIA (39) : Ce lac de 13 ha situé à 810m d'altitude, d'une profondeur maximale de 5.50m se caractérise par sa proximité avec plusieurs temples Gallo-romains, un culte des eaux avéré, un niveau de lac surélevé de 4m au fil des années, des berges anciennes largement immergées. Des textes du XVIIème siècle indiquent un atelier monétaire au bord du lac. Un fragment de calendrier gaulois en bronze a été découvert début XIXème, lors d'un assèchement du lac. Une particularité supplémentaire est à noter, les eaux du lac se perdent dans une faille et approvisionnent en eau un autre sanctuaire situé à 1km de distance et 100m en contre bas. Une des problématiques est de savoir s'il existait une gestion de l'eau du lac à l'époque gallo-romaine.

En 2016, nous avons réalisé l'approche à faible coût qui a montré de nombreuses anomalies. En 2018, nous avons organisé des plongées, mais la précision du GPS utilisé n'a pas permis de localiser et donc d'identifier les anomalies. Parallèlement la magnétométrie fine a été partiellement mise en œuvre et des premiers résultats corroborent ceux de la bathymétrie enrichie. 2019 nous permettra d'établir une bathymétrie multifaisceaux.

A ce niveau de l'étude, les sédiments ne sont pas encore transpercés. Des techniques de géo radar sur lac sont en cours de mise en œuvre. D'autres techniques comme le pénétrateur de sédiment pourront permettre d'étudier les sédiments et identifier d'éventuelles structures enfouies.

<sup>1</sup>UMR 6298 ARTEHIS, <sup>2</sup>UMR 7516 IPGS (UNISTRA/CNRS)

Guillaume Charloux<sup>1</sup>, Bruno Gavazzi<sup>2</sup>, Paul Bernard<sup>2</sup>

### **Étudier une oasis d'Arabie septentrionale. Pratiques méthodologiques et premiers résultats sur le site d'al-Bad' (supposée ancienne Madian)**

Bien que célèbre sous l'ethnonyme (puis le toponyme) de Madian mentionné dans la Bible et le Coran, l'oasis d'al-Bad' est demeurée quasiment vierge de prospections et de fouilles archéologiques jusqu'en 2017. Implantée sur des pistes caravanières entre les ports de la mer Rouge et les grandes cités du Levant sud (Aqaba et Pétra notamment), l'oasis a pourtant connu un développement substantiel à l'époque classique, dont les tombeaux nabatéens creusés dans la roche se font encore l'écho. Notre communication aura pour objectif de présenter l'interdisciplinarité des méthodes employées sur le terrain afin de comprendre la formation et l'évolution de cette oasis historique sur la longue durée.

<sup>1</sup>UMR 8167 Orient&Méditerranée, <sup>2</sup>UMR 7516 IPGS (UNISTRA/CNRS)

Frédéric Colin<sup>1</sup>, Bruno Gavazzi<sup>2</sup>, Marc Munsch<sup>2</sup>, Mathieu Schuster<sup>2</sup>, Dominique Schwartz<sup>3</sup>

### **Identifier et imager les plus anciens canaux d'irrigation du Sahara : méthodes combinées archéologiques et géophysiques**

Le site de Qasr 'Allam est situé dans l'oasis de Bahariya, au sein du Sahara égyptien. Dans cette cuvette nichée dans un des paysages les plus arides au monde, des remontées artésiennes permirent dès l'Antiquité de pratiquer une agriculture irriguée. Le gisement archéologique témoigne d'une activité agricole florissante au cours du 1er millénaire avant notre ère, en particulier aux alentours des 8e et 7e siècles. Le site comprend les vestiges d'un domaine religieux du dieu Amon et des structures hydrauliques anciennes remarquablement bien conservées dans ce paysage désertique. Un projet interdisciplinaire porté par trois UMR de l'Université de Strasbourg (7044 Archimède, 7362 LIVE et 7516 IPGS) et par l'Institut Français d'Archéologie Orientale (IFAO) a permis d'imager, de documenter et de dater un réseau d'irrigation parmi les plus anciens connus au Sahara. Il a réuni autour de questions communes archéologues, géophysiciens, pédologues et sédimentologues, dont les échanges étaient organisés selon un aller-retour méthodologique, pour répondre aux questions soulevées par les différentes disciplines avant et après chaque étape du travail de terrain.

<sup>1</sup>UMR 7044 ARCHIMEDE, <sup>2</sup>UMR 7516 IPGS (UNISTRA/CNRS), <sup>3</sup>UMR 7362 LIVE

### **Interdisciplinarité : une démarche à fort potentiel, partie 3**

Loup Bernard<sup>1</sup>

#### **ArkeoGIS, retour d'expériences sur une plateforme interdisciplinaire de partage de données archéologiques et environnementales**

En ligne depuis 2012 actuellement en version 4.1, ArkeoGIS permet de mettre en commun, de questionner d'analyser au moyen d'une interface cartographique les données scientifiques géo-référencées concernant le passé (archéologie, environnement, histoire, ...). ArkeoGIS est une plateforme sécurisée en-ligne accessible en quatre langues. ArkeoGIS est une application pluridisciplinaire. Les bases de données sont issues de travaux de chercheurs institutionnels (effectués aussi bien dans le cadre de leurs recherches personnelles que dans le cadre de contrats), d'étudiants avancés, de sociétés privées, de services d'archéologie mais aussi issues de travaux de paléoenvironnementalistes, d'historiens ou de géographes. L'interdisciplinarité est encouragée, tous ces travaux / bases de données étant partagés (protocole d'import) accessibles et requêttables en ligne (webSIG) par les utilisateurs d'ArkeoGIS.

Chaque utilisateur dispose d'un espace projet personnalisable. Il peut interroger en ligne tout ou partie des bases disponibles, afficher ses résultats sur plusieurs fonds de carte, archiver et exporter les résultats de sa requête vers d'autres outils (export CSV).

La présentation fera le point de l'avancée des travaux, des freins et accélérateurs constatés dans le cadre de projets interdisciplinaires en s'appuyant sur différents résultats obtenus à partir du croisement des données via la plateforme (LOD).

<sup>1</sup>UMR 7044 ARCHIMEDE

Charlène Morel<sup>1</sup>

#### **Stratégies d'implantation des communautés agricoles : une étude pluridisciplinaire**

Dans le cadre de ma thèse, j'étudie les communautés agricoles du Néolithique au Moyen-âge au sein de trois milieux loessiques européens : le sud du Sussex (UK), le Kochersberg en Alsace (France) et le district de Kladno (République tchèque). Afin de déterminer quelles stratégies ont pu être mises en place pour exploiter ces milieux, je croise des données issues de plusieurs disciplines : les sites archéologiques, la carte pédologique, la carte hydrologique et un raster topographique. Je fais aussi appel aux outils des SIG, de la cartographie aux traitements spécifiques qu'offrent ces logiciels. Grâce à ces croisements, certaines tendances dans la répartition des sites peuvent être expliquées et l'on peut raisonner en termes de stratégies agricoles. De plus, afin de pouvoir attester de la confiance

archéologique de mes corpus et de tester certaines hypothèses telles que « les sites de telle époque s'installent de façon préférentielle à tels types d'endroits (sols fertiles, situations d'interfaces entre plusieurs sols, proches des cours d'eau...) », j'ai recours à la modélisation spatiale sous SIG. Mon modèle croise l'état de la recherche archéologique, la taphonomie (érosion et recouvrement sédimentaire) à un critère d'attractivité potentielle (la fertilité ou la distance à un cours d'eau par exemple). Les résultats de cette modélisation permettent d'affiner l'étude cartographique sur les stratégies d'implantation mais aussi de déterminer in fine quels types de contextes favorisent la découverte des sites archéologiques de chaque époque.

J'aimerais présenter mes premiers résultats pour le Kochersberg situé au nord-ouest de Strasbourg. Je montrerai comment j'utilise la modélisation spatiale sous SIG et les cartes pédologique, hydrographique et topographique afin de mettre au jour les grandes tendances dans les stratégies d'occupation et d'exploitation agricole dans ce secteur entre le Néolithique et environ le XII<sup>e</sup> siècle apr. J.-C. Il semble qu'on puisse observer de nets changements dans les stratégies d'exploitation agricole des communautés entre ces deux bornes. Je présenterai d'abord le contexte de mon étude, mes outils et la façon dont j'adapte les données créées pour et par les géographes à l'archéologie et enfin les résultats.

<sup>1</sup>UMR 7044 ARCHIMEDE

Lizzie Scholtus<sup>1</sup>

### **Spatialisation des découvertes, modélisation du passé. L'informatique au service de l'archéologie**

La multiplication de la production de données depuis plusieurs années ne permet plus la compréhension immédiate et l'analyse des faits archéologiques dans leur ensemble sans recourir aux outils informatiques pour les inventorier, les visualiser, mais aussi les analyser. L'utilisation de ces outils dans le domaine de la recherche archéologique se développe également depuis une trentaine d'années, et implique de revoir notre manière de traiter l'information archéologique en cherchant des solutions dans d'autres disciplines.

Les modèles géographiques, et en particulier spatiaux, sont régulièrement employés en archéologie, et ce depuis plusieurs dizaines d'années. On peut citer comme exemples les théories des places centrales, des voisins les plus proches ou encore l'analyse des ressources locales. La diffusion de l'archéomatique nous permet aujourd'hui d'appliquer de manière quantitative ces modèles à nos données archéologiques. Il est donc désormais possible d'appliquer ces modèles sur de grandes quantités de données archéologiques spatialisées et ainsi de les interroger statistiquement pour tenter de modéliser les sociétés du passé.

Dans cette communication, nous présenterons comment l'utilisation de l'informatique, et en particulier du logiciel de statistique R, nous permet la création d'un modèle statistique pour mettre en évidence des groupes régionaux en Gaule de l'Est, entre le III<sup>e</sup> s. av. J.-C. et le IV<sup>e</sup> s. apr. J.-C., en s'appuyant sur la culture matérielle. Cette étude se fonde sur la répartition spatiale des types d'objets archéologiques et leur densité pour déterminer, à l'aide de méthodes d'analyses statistiques, des assemblages récurrents. Il s'agit ainsi de vérifier s'il existe des différences régionales dans cette répartition, permettant de définir des groupes régionaux. Cette étude se base en conséquence sur une démarche classique de l'archéologie consistant à déterminer des groupes en s'appuyant sur la répartition du mobilier, mais elle se détache de la recherche traditionnelle en y appliquant des méthodes informatiques pour utiliser de grandes quantités de données et permettre leur modélisation.

<sup>1</sup>UMR 7044 ARCHIMEDE

Jonas Parétias<sup>1</sup>, Victor Viquesnel-Schlosser<sup>2</sup>, Corentin Voisin<sup>3</sup>, Bruno Gavazzi<sup>4</sup>

### **Étudier l'occupation d'une ville romaine : les enjeux du PCR « Topographie générale et insertion territoriale de l'agglomération antique de Briga »**

Le Programme Collectif de Recherche «Topographie générale et insertion territoriale de l'agglomération antique que Briga » coordonné par Étienne Mantel (DRAC – SRA de Normandie) a été initié en 2018. Interdisciplinaire par nature, il a pour objectif de fédérer des intervenants venant de différentes institutions afin de poursuivre la recherche archéologique sur le site du « Bois-l'Abbé », situé sur la commune d'Eu (76). Après des explorations sporadiques au XIXe siècle et des campagnes de recherche menées entre 1965 et 1980, le site est fouillé pratiquement sans interruption depuis 1994, et en particulier depuis 2006 par Étienne Mantel lors d'opérations de fouilles programmées. Les fouilles extensives en aire ouverte ont permis de renouveler les connaissances et d'attester que les vestiges, qui étaient jusqu'alors identifiés comme les édifices constitutifs d'un simple sanctuaire isolé dotés d'équipements monumentaux (temple, théâtre et thermes), sont intégrés dans une agglomération dite secondaire dont la superficie atteignait au moins 65 hectares à son apogée. Chaque année, la chronologie de l'occupation est davantage caractérisée à mesure que les niveaux les plus anciens sont explorés. Fréquentée dès le Néolithique, cette partie du plateau, qui domine la vallée de la Bresle au nord et le vallon de Saint-Pierre-en-Val au sud, est occupée de manière permanente et continue dès La Tène Moyenne (300-250 av. notre ère) jusqu'à la fin de l'Antiquité (IVe siècle).

Fort de ces résultats, Briga figure au rang des sites essentiels pour alimenter la réflexion sur l'occupation humaine dans le nord de la France, que ce soit pendant la Protohistoire ou l'époque romaine. Le PCR a permis la multiplication des interventions de terrain afin de répondre à différentes problématiques nécessaires à la compréhension de la ville dans son ensemble. En parallèle à la fouille, une approche multiscalaire est mise en œuvre depuis quelques années. Le croisement des résultats issus des différentes études de mobilier et des données provenant des recherches de terrain documente précisément l'évolution morphologique et chronologique des occupations humaines. Le recours aux disciplines des sciences de la terre contribue à reconnaître l'environnement naturel et anthropique au sein duquel s'insèrent les constructions pour former l'ensemble qu'est la ville. Les données recueillies lors des prospections micro-topographiques, géophysiques et bientôt LIDAR par drone, constituent autant de niveaux de lecture complémentaires aux fouilles archéologiques. L'analyse conjuguée de ces résultats améliore la lecture des vestiges et la perception de leur environnement. Leur généralisation à grande échelle sur le site permettra la création d'un outil précieux pour orienter les problématiques et guider les fouilles futures sur le site de Briga.

<sup>1</sup>UMR 7044 ARCHIMEDE, <sup>2</sup>UMR 5608 TRACES, <sup>3</sup>Professeur agrégé d'histoire, <sup>4</sup>UMR 7516 IPGS

Isabelle Heitz<sup>1</sup>, Fabienne Dugast<sup>2</sup>

### **LIDAR aéroporté sous drone : une technique à l'échelle d'un chantier archéologique qui a fait ses preuves à Soissons. Retour d'expérience, perspectives et complémentarité avec d'autres techniques géophysiques (radar) et scans terrestres. Nouvelles voies innovantes de post-traitement des MNT**

La technique du LiDAR aéroporté sous drone a prouvé son adéquation avec le travail des archéologues (échelle des surfaces prospectées, souplesse d'utilisation, précision). Elle permet l'obtention de plans microtopographiques pouvant faire apparaître des artefacts ainsi que la modélisation 3D des lieux ou des structures, en particulier en milieu boisé, là où la photogrammétrie ne peut être réalisée.

Cette technique a été conduite en milieu urbain dans le cadre de l'étude du théâtre antique de Soissons (projet AuguSThA – CNRS) en 2017, sur l'emprise boisée du monument et sur le secteur bâti de Saint Jean des Vignes, en arrière.

Ce théâtre constitue aujourd'hui un exemple unique d'édifice de spectacle en contexte urbain qui, non seulement a été épargné, mais reste pleinement accessible à l'investigation. Cette situation inhabituelle permet d'envisager une étude complète du monument, de sa construction à son abandon, et de comprendre son statut au sein de la ville de Soissons.

Les nouvelles investigations menées dans le cadre du projet AuguSThA visaient à positionner dans l'espace et comprendre les relations structurelles des différents éléments encore en place du

monument. La présence d'une végétation dense sur la partie correspondant aux gradins a incité à effectuer une couverture LiDAR avec pour objectif de révéler de façon précise les anomalies de terrain liées aux vestiges.

Cette couverture a été complétée par une prospection radar en avant (bâtiment de scène) et en arrière (substructures et gradins) de l'édifice ainsi que par des relevés scanners d'éléments souterrains, en particulier dans une galerie située sous les gradins.

La prospection LiDAR à Soissons sera prise comme exemple pour aborder la technique, l'équipement, la mise en oeuvre, le processus d'analyse et d'obtention des résultats sous différents supports. L'interprétation de ces résultats sera présentée en regard des autres prospections géophysiques (radar) menées au cours de la même mission.

Les résultats d'autres chantiers concernant différentes périodes, du Néolithique à la 2e guerre mondiale, donneront un panel de découvertes d'artéfacts et aborderont la complémentarité avec la photogrammétrie et les scanners terrestres.

Cette technique évolue à grands pas avec une multiplication des capteurs LiDAR sous drone, ouvrant de nouvelles perspectives.

Parallèlement, s'ouvrent de nouvelles voies de traitement des données, en particulier des MNT, utilisant des traitements numériques non linéaires. Un premier test prometteur mené sur les résultats obtenus à Soissons sera présenté.

<sup>1</sup>AIRD'ECO-Drone, <sup>2</sup>UMR 8167 Orient&Méditerranée

## Géophysique et Archéologie : de l'imagerie à la caractérisation de l'invisible, partie 1

George Ferentinos<sup>1</sup>, Maria Geraga<sup>1</sup>, Dimitrios Christodoulou<sup>1</sup>, Elias Fakiris<sup>1</sup>, Xenophontas Dimas<sup>1</sup>, Nikos Georgiou<sup>1</sup>, Stavroula Kordella<sup>1</sup>, George Papatheodorou<sup>1</sup>, Michalis Prevenios<sup>1</sup> and Makis Sotiropoulos<sup>2</sup>

### **Optimal side scan sonar and subbottom profiling data collection and processing in marine archaeology : case study of the 'Fikardo' wreck, Kefallinia Island, Ionian Sea**

Marine geophysical data collected during an underwater natural and cultural heritage assessment survey along the coastal zone of Kefallinia Island in the Ionian Sea, Greece, showed among other seafloor features, the presence of a Roman shipwreck and its amphorae cargo on the seafloor. The study and analysis of the collected data demonstrated that:(i) side scan sonar and chirp sub-bottom profiling systems, can successfully detect ancient shipwrecks and their amphorae cargo on the seafloor, (ii) the use of objective computer vision techniques in processing side scan sonar seafloor images, is a valuable tool for the separation of potential ancient shipwreck targets from other seafloor features with similar acoustic signature. Furthermore, a guideline for the data acquisition parameters that should be used to obtain optimal seafloor sonar images to maximize the separation of potential shipwreck targets from other seafloor features is provided. The remote sensing techniques may also provide adequate indication regarding the preservation of the ship's wooden frame, the amphorae hull stowage and its vulnerability to human activity in the area. The shipwreck is dated between 1st cent BC and 1st cent AD and is one of the largest found so far in the Mediterranean Sea, for that period. It is estimated that it was carrying about 6,000 amphorae. The amphorae cargo, visible on the seafloor, is in a very good state of preservation and there is a strong possibility that the cargo and the wooden hull frame buried in the sediment are also well preserved. The shipwreck has the potential to yield a wealth of information about the shipping routes, trading, amphorae hull stowage and ship construction during the relevant period and is therefore, considered to be of significant archaeological importance.

<sup>1</sup>Laboratory of Marine Geology & Physical Oceanography, Geology Department, Patras University, Greece, <sup>2</sup>Aquatic Scuba Diving Club, Ag. Efimia, Kefallinia, Ionian Islands

Igor Girault<sup>1</sup>, Amélie Quiquierez<sup>2</sup>, Dominique Todisco<sup>1</sup>, Carole Nehme<sup>1</sup>, Fabiana Martin<sup>3</sup>, Luis Borreo<sup>4</sup>

## **La structure enfouie et le remplissage de la Grotte du Mylodon (Patagonie chilienne) révélés par tomographie de résistivité électrique**

Au Pléistocène supérieur, le recul de la calotte glaciaire patagonne ouvre de nouveaux espaces à la dispersion des populations humaines en provenance du nord du continent sud-américain. L'arrivée des premiers groupes de chasseurs-cueilleurs en Patagonie méridionale ca. 13,5 ka est suivie de l'extinction massive de la mégafaune locale ca. 11,7 ka dans un contexte de changements environnementaux drastiques. Situées à 51,5°S au bord du fjord Ultima Esperanza ca. 150 m d'altitude, sur le versant sud du Cerro Benitez, la Grotte du Mylodon et les grottes avoisinantes ont livré des collections archéologiques témoignant de l'occupation des sites par la mégafaune à partir de 18 ka puis par l'Homme à 13 ka. Bien que primordial dans l'interprétation du registre fossile, le contexte géoarchéologique des cavités a jusqu'à présent été peu exploré et les conditions de formation des sites et de mise en place des dépôts demeurent mal comprises.

Dans le but d'imager les relations géométriques entre le substrat et le remplissage, quinze profils de résistivité électrique ont été réalisés trois grottes en décembre 2018. Les mesures ont été obtenues à l'aide d'un Syscal Junior appartenant à l'université de Bourgogne et d'un jeu de 48 électrodes. Les profils montrent un socle de résistivité supérieure à 1750 ohm.m attribué à la formation crétacée conglomératique Cerro Toro, qui constitue l'encaissant des grottes. Les résistivités inférieures sus-jacentes sont attribuées au remplissage détritique limono-argileux à sableux finipléistocène-holocène des grottes. En surface du remplissage, les unités discontinues de fortes résistivités correspondent aux talus d'éboulis provenant de la voûte. L'épaisseur du substrat varie de 2 à 8 m. Le contact entre le remplissage et le substrat est irrégulier. Les profils transversaux révèlent des surcreusements du substrat parallèles aux diaclases d'orientation contrôlée par la structure anticlinale du Cerro Benitez. Les profils longitudinaux révèlent des surcreusements parallèles aux limites de bancs du substrat qui se raccordent avec les incisions d'origine sous-glaciaire observées à l'extérieur des grottes. Ces résultats accréditent l'hypothèse d'une ouverture sous-glaciaire des grottes, avec pénétration d'une racine glaciaire dans le substrat et évacuation du matériel érodé par l'eau de fonte via un réseau de chenaux sous-glaciaires ayant exploité les orientations de fragilité du substrat. Enfin, ils permettent de localiser avec précision les zones à plus fort potentiel archéologique et paléontologique qui devront être examinées lors du choix d'implantation des futures fouilles.

<sup>1</sup>UMR CNRS 6266 *Identités et Différenciations des Espaces, de l'Environnement et des Sociétés, Université de Rouen*, <sup>2</sup>UMR CNRS 6298 *Archéologie, Terre, Histoire, Sociétés, Université de Bourgogne*,

<sup>3</sup>*Centro de estudios del Hombre austral, Instituto de la Patagonia, Universidad Magallanes, Chile*,

<sup>4</sup>*Departamento de Investigaciones Prehistóricas y Arqueológicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina*

Abdelhakim Ayadi<sup>1</sup>

### **Archéo-géophysique sur le site Romain de Tipasa (Algérie)**

Les méthodes Géophysiques sont depuis plusieurs décennies très utilisées en recherche archéologique. Elles se sont imposées pour permettre aux archéologues de cibler leurs fouilles et avoir des gains que ce soit en temps ou en argent. Les investigations archéologiques classiques demandent beaucoup de ressources financières et engagent des moyens humains considérables. Les méthodes Géophysiques permettent d'imager les sous-sols sur des terrains où aucun indice de vestiges n'est visible en surface.

En Algérie la première expérience a été réalisée sur le site romain de Tipasa (70km à l'ouest d'Alger) sur un terrain de 10000m<sup>2</sup> qui devait servir à des aménagements urbains. Le terrain se localise à quelques mètres de l'amphithéâtre romain et ne présente aucun indice de présence de vestiges archéologiques. Nous avons mis en œuvre la méthode des trainés électriques avec un dispositif Wenner de 2m d'espacement. Nous avons créé un maillage avec 50 profils de 100m chacun de long avec des mesures espacées de 2m. Les résultats obtenus montrent l'existence de trois zones d'anomalies distinctes avec des résistivités supérieures à 65 Ωm. Il est à rappeler que l'encaissant est

un terrain argileux et les blocs utilisés dans les constructions romaines proviennent des carrières de grès se trouvant non loin du site.

Étant une première expérience nous avons eu recours à des fouilles superficielles de contrôle pour vérifier l'origine des anomalies et nous avons mis à jour des murs, un corridor ainsi que 2 voûtes. Ces structures ont été interprétées comme étant des annexes de l'amphithéâtre romain.

Il est important de rappeler que dans les pays en plein développement et qui connaissent une urbanisation galopante et en l'absence de politique de restauration, il est important de recourir à des méthodes d'investigation non destructives afin de localiser les vestiges enfouis et ainsi préserver ces secteurs des actes d'aménagement qui peuvent porter préjudice à ce patrimoine.

<sup>1</sup>*Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique, Alger, Algérie*

Philippe Quenet<sup>1</sup>, Bruno Gavazzi<sup>2</sup>, Laurene Moroni<sup>3</sup>, Francis Galluser<sup>4</sup>, Maksim Bano<sup>2</sup>, Franco d'Agostino<sup>5</sup>

#### **Au cœur des Ziggurats : le cas d'Eridu (Irak du Sud)**

Le site archéologique de Tell Abu Shahrēin, ancienne Eridu, se situe dans le sud de L'irak, à 30 km environ au SO de la ville moderne de Nasriyeh. Il a été exploré depuis le milieu du XIXe siècle et a fait l'objet d'opérations de fouille d'envergure dans les années 1940. La recherche de terrain y a repris depuis 2018 dans le cadre d'un projet italo-français associant l'université La Sapienza de Rome et celle de Strasbourg. Eridu fait partie de ces villes dans lesquelles une tour à degrés (ou ziggurat) a été bâtie à la fin du IIIe millénaire avant J. C. Ce genre de monument surmonte invariablement des bâtiments religieux plus anciens qui restent pratiquement inaccessibles. Les fortes dégradations subies par la ziggurat d'Eridu ont déterminé à y mener une prospection géophysique (magnétique et GPR) dans l'espoir de détecter l'existence d'un ou plusieurs édifices antérieurs qui auraient été comme encapsulés dans le massif de briques crues qui constitue le cœur de la première terrasse de la ziggurat d'Eridu. Ces attentes ont été comblées. Les anomalies rencontrées n'en posent pas moins un défi pour l'interprétation.

<sup>1</sup>UMR 7044 ARCHIMEDE, <sup>2</sup>UMR 7516 IPGS, <sup>3</sup>INSA Strasbourg, <sup>4</sup>XIO, <sup>5</sup>Université de La Sapienza, Rome

Rémy Wassong<sup>1</sup>, Bruno Gavazzi<sup>2</sup>

#### **Les prospections géomagnétiques sur l'habitat de hauteur fortifié du Maimont**

Le site du Maimont à Niedersteinbach (Bas-Rhin) et Schönau (Rheinland-Pfalz) est un site de hauteur fortifié daté du premier âge du Fer et de la période romaine. L'occupation antique se caractérise par la découverte de céramiques et de mobilier métallique. En revanche aucune structure d'habitat daté de cette période n'a été découverte. L'ensemble du mobilier de cette période a été recueilli dans des niveaux colluvionnés, ou perturbé par les événements de la Seconde Guerre Mondiale. En effet, le promontoire faisait partie du système de défense de la ligne Maginot. Les vestiges protohistoriques, quant à eux, correspondent aux restes de plusieurs bâtiments au sein d'un quartier d'habitat et de fosses de rejets, associés à une aire d'activité liée à une première phase de traitement de minerai de fer issu de filons naturellement présent dans le grès vosgien. C'est dans le cadre des recherches sur ce site que plusieurs campagnes de prospections géomagnétiques ont eut lieu. Ces dernières avaient plusieurs objectifs : 1 - l'identification des aménagements anthropiques anciens (présence de fosses, résidus d'activités lié au feu, terrasses aménagées pour les activités artisanales, traces et plans de bâtiments) ; 2 - l'identification de zones perturbées par une intense activité durant le dernier conflit mondial. Pour cela, une technique de relevé et d'analyse magnétique à haute résolution et adapté à un environnement accidenté de moyenne montagne et sous couvert forestier a été développée et mise en place. Ainsi, à travers une approche interdisciplinaire et une confrontation des résultats magnétiques aux données archéologiques ont pu être mis en évidence des structures archéologiques souvent réputées peu détectables (trou de poteaux, terrasses) en contextes de levés difficiles, validant ainsi une nouvelle approche innovante de détection et d'analyse géophysique haute résolution pour l'archéologie.

<sup>1</sup>UMR 7044 ARCHIMEDE, <sup>2</sup>UMR 7516 IPGS

## Géophysique et Archéologie : de l'imagerie à la caractérisation de l'invisible, partie 2

Guillaume Hulin<sup>1</sup>, François-Xavier Simon<sup>1</sup>

### L'Inrap et la géophysique : vers une approche raisonnée

Le fonctionnement de l'archéologie préventive en France est maintenant bien établi avec deux phases distinctes que sont le diagnostic et la fouille. Avec environ 2000 opérations par an (1800 diagnostics et 200 fouilles), l'Inrap est le plus important organisme français en archéologie préventive. Dans ce contexte, l'utilisation de la géophysique en phase de diagnostic a longtemps été source de conflit. Plusieurs tentatives de substituer tout ou partie du diagnostic en tranchées par les outils géophysiques ont été réalisées depuis les années 80 et ont, dans de nombreux cas, échoué. En effet, si l'utilisation de la géophysique est considérée dans de nombreux pays comme un pas en avant, elle est, en France, très souvent perçue comme un pas en arrière pour ce qui est de l'évaluation archéologique en contexte préventif.

Malgré cela l'Inrap ne souhaite pas se priver de cet outil d'investigation scientifique. Comparé à la plupart des pays qui utilisent principalement la géophysique pour la phase d'évaluation, généralement sur de grandes surfaces et sans connaissances contextuelles préalables (nature et épaisseur des sols, type de vestiges, etc.), l'Inrap préfère employer la géophysique de manière raisonnée sur des cas spécifiques présentant des questions scientifiques et/ou techniques précises. Les études géophysiques menées par l'institut ne se limitent d'ailleurs pas au diagnostic puisqu'une grande partie des études ont lieu lors de la phase de fouille.

En plus de la reconnaissance des vestiges archéologiques, la caractérisation des structures géomorphologiques constitue un pan important des études géophysiques menées par l'Inrap. Des applications plus originales sur terrain décapé sont également très régulièrement mises en œuvre. Ayant lieu directement sur les niveaux archéologiques il s'agit ici d'identifier et de caractériser les sols anthropisés (notamment les aires de travail du fer) et certaines structures difficiles à percevoir à l'œil nu afin d'aider l'archéologue à établir une stratégie de fouille adaptée.

En 2015, l'Inrap a décidé de développer cette activité. Désormais, une équipe constituée de 2 géophysiciens et 26 techniciens spécialisés en acquisition de données géophysiques est pleinement opérationnelle sur l'ensemble du territoire. En s'appuyant sur cette approche raisonnée, 100 études géophysiques ont été réalisées depuis et tous les indicateurs laissent présager une augmentation des demandes et une très bonne intégration de la géophysique auprès de la communauté archéologique.

<sup>1</sup>INRAP

Laurent Paez-Rezende<sup>1</sup>, Guillaume Hulin<sup>1</sup>

### Diagnostic archéologique par méthode géoradar et sondages archéologiques sur le parking Notre-Dame à Cherbourg : une approche croisée

Le projet de réaménagement sur plus de 5000 m<sup>2</sup> du parking Notre-Dame à Cherbourg-en-Cotentin (50) a fait l'objet d'un arrêté de prescription de diagnostic archéologique. Ce secteur ponctuellement exploré entre 1976 et 1995 est le siège du château ducal décrit par Vauban en 1686 et détruit en 1689, de l'ancienne église paroissiale et de son cimetière. C'est aussi là qu'ont été observés pour la première fois, les niveaux antiques (du I<sup>er</sup> au V<sup>e</sup> s.) documentant l'agglomération de Corialo, citée par ailleurs sur la Table de Peutinger.

Avec une puissance stratigraphique de près de 4 m et des contraintes inhérentes aux diagnostics en milieu urbain, il convenait de définir ici une stratégie d'intervention adaptée pour l'étude de ce secteur. Une prospection radar (GSSI 350MHz Hyperstacking) avec positionnement en temps réel par station totale robotisée suivie de tranchées de diagnostic ont ainsi apporté des résultats significatifs tant en termes d'informations spatiales que stratigraphiques. Les données radar s'imposent, dans ce cas, comme un complément précieux aux ouvertures mécaniques limitées et contraintes. Un aller-retour entre données géophysiques et données issues des sondages permet d'optimiser les deux approches et de fournir une vision plus exhaustive du contexte archéologique.

Bien que la méthode radar s'avère ici idéale, celle-ci demeure sujette à de nombreuses limitations. La

mise en œuvre d'une telle démarche reste, dans tous les cas, onéreuse pour la phase de diagnostic et est susceptible de fournir que peu résultats (notamment sur les sols argileux). Cette approche doit donc être utilisée de manière raisonnée, en complément des tranchées de sondage et uniquement dans des cas précis où des connaissances préalables existent (archéologiques et pédologiques) permettant d'estimer au mieux l'intérêt de sa mise en œuvre.

<sup>1</sup>INRAP

Guillaume Bruniaux<sup>1</sup>, Vivien Mathé<sup>1</sup>, Victor Legrand<sup>2</sup>, François Lévêque<sup>1</sup>, Vincent Ard<sup>2</sup>

### **Approche comparative entre la prospection magnétique en champ total et en gradient vertical sur des enceintes fossoyées néolithiques (Grand-Ouest de la France)**

L'étude des enceintes fossoyées néolithiques exploite de plus en plus la prospection géophysique pour cartographier l'organisation spatiale de ces sites. Cette approche apporte des informations sur la structuration de l'enceinte et les possibles aménagements présents à l'intérieur. Parmi les nombreuses méthodes que proposent la géophysique, la méthode magnétique est de loin la plus représentée. Nombreuses sont les études interdisciplinaires d'enceinte néolithique intégrant une carte magnétique, dont l'exploitation est à des fins diverses : documentation du site, conservation du patrimoine, implantation de sondages. L'efficacité de la méthode magnétique sur ce type de site s'explique principalement par l'existence d'un contraste d'aimantation important entre le comblement d'un fossé et son encaissant (l'intensité du contraste dépendra du contexte géologique, pédologique et archéologique). Ces contrastes sont associés à une anomalie du champ magnétique total qui peut être mesurée de différente manière suivant le type de capteurs et de magnétomètres employés. Dans cette présente étude, réalisée dans le cadre de l'ANR MONUMEN (dir. Ard Vincent et Mathé Vivien), nous nous intéressons à la comparaison entre un gradiomètre de type fluxgate et deux magnétomètres en champ total (vapeur de césium et vapeur de potassium). Cette approche comparative a pour objectif de mettre en évidence l'intérêt de l'utilisation d'un magnétomètre en champ total par rapport à un gradiomètre (plus couramment utilisé) en termes de capacité de détection de structures néolithiques. La comparaison n'ayant pas pour conclusion de privilégier le magnétomètre en champ total au détriment du gradiomètre mais plutôt d'une exploitation combinée de ces deux instruments et de montrer ce que l'un apporte par rapport à l'autre.

<sup>1</sup>UMR 7266 LIENSs, Université de La Rochelle-CNRS, <sup>2</sup>UMR 5608 TRACES, Université Toulouse Jean Jaurès-CNRS

Rozan Al-Khatib Alkontar<sup>1</sup>, Bruno Gavazzi<sup>1</sup>, Marc Munsch<sup>1</sup>, Corinne Castel<sup>2</sup>

### **Champ magnétique total, pseudo-gradient ou dérivée verticale ? Magnétomètres scalaires ou 3 composantes ? Une comparaison de différents modes d'acquisition et de représentation de la mesure magnétique à travers un cas d'étude sur le site d'Al-Rawda, Syrie**

Le site syrien d'Al-Rawda, ville circulaire du troisième millénaire avant J.C, a été prospecté à l'aide de différents instruments de mesure magnétique : un gradiomètre scalaire en 2003 et 2005 et un système multi-magnétomètre fluxgate à 3 composantes en 2010. Ces acquisitions permettent de comparer différents types de mesures sur une même zone. À partir du système de gradiométrie, il est possible d'obtenir le champ magnétique total (TMI) de chacun des deux magnétomètres (deux hauteurs différentes), la différence entre ces magnétomètres (le pseudo-gradient) et le gradient vertical calculé à partir de la TMI à l'aide d'opérateur des méthodes potentielles. Le système à base de magnétomètres fluxgate permet d'obtenir la TMI corrigée des aimantations du dispositif (compensation magnétique) avec un rendement plus important que le gradiomètre. Les résultats des différents modes d'acquisition et dispositifs sont comparés afin d'évaluer les avantages et inconvénients de chaque mode, tant sur les aspects de qualité des données, de détectabilité des vestiges et de rendement d'acquisition. Pour aller plus loin, un exemple d'application d'opérateurs de transformation sur une même zone est présenté afin de montrer le potentiel de ces outils pour mieux comprendre positions et géométries des sources d'anomalie.

<sup>1</sup>UMR 7516 IPGS Unistra/CNRS, <sup>2</sup>UMR 5133 Archéorient (Lyon2)

François-Xavier Simon<sup>1,2</sup>, Julien Guillemoteau<sup>3</sup>, Alain Tabbagh<sup>4</sup>, Joachim Rimpot<sup>1</sup>, Guillaume Hulin<sup>1,4</sup>

## **Contraintes instrumentales, considérations théoriques et développements méthodologiques: De nouvelles perspectives pour les applications des méthodes électromagnétiques basse fréquence en archéologie**

La méthode électromagnétique basse fréquence (ou EMI pour ElectroMagnetic Induction), située à la croisée entre la méthode magnétique, électrique et radar, offre de nombreuses possibilités de développement mais est également contrainte par des considérations techniques. Malgré des développements instrumentaux initiés dans les années 60, l'utilisation des méthodes électromagnétiques a longtemps été limitée en archéologie à la cartographie de la conductivité électrique apparente et/ou de la susceptibilité magnétique (système mono-spire) sur des surfaces restreintes ou avec des stratégies à large maille. Les applications les plus originales (mesure de la susceptibilité avec des appareils EMI en phase) étaient alors dépendantes de développements instrumentaux propres à certains laboratoires (CRG de Garchy puis l'UMR7619 Sisyphe puis). Depuis la fin des années 2000, du fait de leur application en science du sol, les méthodes EMI ont été largement démocratisées. Les appareils mono-fréquence et mono-écartement ont été remplacés par des systèmes multi-écartements et multi-fréquentiels qui ouvrent des perspectives en termes de caractérisation spatiale 3D des structures cartographiées mais aussi en terme d'analyse des propriétés (conductivité électrique, susceptibilité magnétique, viscosité magnétique et permittivité diélectrique). Le développement de systèmes tractés et automatisés a ouvert la porte sur l'archéologie du paysage, mais en se basant sur des considérations théoriques limitées ne permettant pas une compréhension exhaustive des phénomènes physiques en jeu. Ce progrès technique, qui s'est surtout exprimé en termes de quantité de données a prévalu sur un travail théorique approfondi illustré aujourd'hui par l'inversion de données et l'analyse des sensibilités aux différentes propriétés géophysiques. Ce sont ces deux derniers volets, hérités en partie d'autres domaines d'études (cartographie des sols, de pollutions, etc.), mais aussi propre à l'archéologie (viscosité magnétique) qui ouvrent pourtant le plus de perspectives. L'Inrap à travers le projet ArchEM a décidé de poursuivre ce travail de recherche et de développement dans le but d'estimer en quoi et comment la méthode électromagnétique à basse-fréquence pouvait servir les opérations de fouille et de diagnostic en archéologie préventive (analyse des unités sédimentaires, analyse sur surface décapée, cartographie d'objet magnétique). Nous évoquerons les limites instrumentales auxquelles ces applications doivent faire face et qui sont souvent négligées. Nous présenterons le résultat de modélisations 1D et 3D qui remet en cause des considérations pratiques (profondeur d'investigation, sensibilité) basées sur les modèles linéaires. Enfin nous présenterons des résultats expérimentaux qui sont le moteur de nouveaux développements testés et optimisés au cours de l'activité opérationnelle de la cellule géophysique de l'Inrap.

<sup>1</sup>INRAP, <sup>2</sup>UMR 6249 Chrono-Environnement, <sup>3</sup>Potsdam University, <sup>4</sup>UMR 7619 Metis

Hugo Reiller<sup>1</sup>, Matthieu Fuchs<sup>1</sup>, Bruno Gavazzi<sup>2</sup>

## **Apport d'une prospection géophysique multi-méthodes pour répondre à une problématique archéologique : le site du théâtre gallo-romain à Horbourg-Wihr**

La complémentarité entre la campagne de prospection géophysique et la campagne de prospection archéologique a ici un double objectif : avancer sur le plan de la connaissance archéologique dans la commune de Horbourg-Wihr et démontrer la pertinence de l'utilisation de plusieurs méthodes de prospection géophysiques à travers cette exemple.

L'étude de la répartition des hétérogénéités d'un large panel de paramètres physiques permet d'affiner les interprétations liées aux mesures physiques de surface. Des mesures de susceptibilité magnétique, de résistivité électrique et de permittivité diélectrique du sous-sol sur un site d'étude présentant des vestiges de châteaux probablement édifier sur la base d'un théâtre gallo-romain ont été réalisées. Le caractère multi-paramètre de cette campagne se justifie par la successivité des infrastructures archéologiques sur un même site d'étude qui complique la compréhension de l'évolution de l'occupation des sols sur ce dernier et pose des problèmes de différenciation

d'infrastructures d'époque différente sur la seule base de leurs signaux géophysiques. Les diagnostics archéologiques ont été nécessaires à la différenciation des signaux géophysiques caractérisant les différents types d'infrastructure et les cartes géophysiques ont permis de comprendre leurs distributions à grande échelle.

D'un point de vue purement archéologique, la découverte d'un tel édifice présume de l'importance de la commune de Horbourg-Wihr à l'époque gallo-romaine. Une cité a priori à vocation civile à mettre en relation avec l'importante cité militaire de Biesheim à une dizaine de kilomètres à l'Ouest.

<sup>1</sup>Archéologie Alsace, <sup>2</sup>UMR 7516 IPGS (UNISTRA/CNRS)

## Posters

Marilou de Vals<sup>1,2</sup>, Amélie Perrier<sup>3,4</sup>, Isabelle Moretti<sup>5</sup>

### La pierre dans le sanctuaire d'Apollon de Delphes

L'antique cité de Delphes a été bâtie au pied d'une faille normale majeure affectant au quaternaire la nappe du Parnasse, qui implique les calcaires jurassique et crétacé de la Paléothetis. Il n'est donc pas surprenant que ces calcaires, ainsi que la brèche de pente qui les recouvre souvent, soient le matériel principal utilisé lors de la construction du sanctuaire oraculaire d'Apollon. La pierre y fut extraite du substratum lors du nivellement des reliefs par les bâtisseurs de l'époque, ou de carrières très proches, dont trois particulièrement importantes sont connues : Saint Elie, la carrière du Stade et Logari. Néanmoins, on trouve aussi dans le sanctuaire différents sédiments récents dont les dépôts sont liés à l'ouverture du Golfe de Corinthe et qui affleurent sur ses bordures Sud et Sud-Est du Golfe actuellement en surrection. Parmi eux on peut citer, le calcaire oolitique dans et sur lequel Corinthe est construit, il se retrouve dans les colonnes du temple d'Apollon à Delphes, ainsi que différents types de travertins et des grès de composition diverse. Le marbre mis en œuvre, mais non présent à l'affleurement dans la région, a été importé : la zone d'extraction la plus proche se trouvant à 35km (Livadia), la majorité des marbres provient plus sûrement d'Athènes (Pentélique) et des Cyclades (Paros, Naxos). Dans le cadre d'un programme de l'École Française d'Athènes sur « La Pierre à Délos et à Delphes », cette variété de roches présente dans les bâtiments a été étudiée et une cartographie des lithologies mises en œuvre sur le site a été faite. Cette carte ainsi que la description des différents facies identifiés seront l'objet de cette présentation.

<sup>1</sup>ENS Lyon, <sup>2</sup>Université Claude Bernard Lyon 1, <sup>3</sup>École Française d'Athènes, <sup>4</sup>Université d'Orléans, <sup>5</sup>Sorbonne Université

Armelle CHARRIE-DUHAUT<sup>1</sup>, Fabienne MEDARD<sup>2</sup>, Agathe MULOT<sup>3</sup>, Clotilde PROUST<sup>4</sup>, Solenne MILBLED<sup>3</sup>

### Étude interdisciplinaire des archéomatériaux organiques : de nouvelles perspectives

Parmi le mobilier découvert dans des nécropoles et sépultures anciennes, les matériaux organiques suscitent de plus en plus d'intérêt. Ils sont encore sous étudiés comparé au potentiel d'informations qu'ils livrent, par exemple, sur les procédés de fabrication ou les pratiques et mises en scène funéraires. Les études des archéomatériaux organiques connaissent en outre des développements plus importants encore, puisqu'elles permettent de répondre à des questionnements fondamentaux en sciences humaines : comment les sociétés anciennes étaient-elles organisées ? Quelles étaient leurs cultures, leurs fonctionnements sociaux et économiques ? Comment se sont-elles adaptées à leur environnement ? L'acquisition des matériaux organiques dépend en effet étroitement des stratégies d'exploitation du milieu, elles-mêmes soumises aux contextes socio-économique et culturel en place. L'utilisation des dits matériaux est, pour sa part, davantage liée aux habitudes de vies, aux systèmes relationnels et aux modes de pensées. La caractérisation des archéomatériaux organiques s'avère donc essentielle pour faire face à des questionnements multiples. Cependant, le domaine est complexe, nécessite des compétences à la fois pointues et variées et demande des développements spécifiques.

Dans les cas les plus favorables, l'identification reste possible par observation morphologique des vestiges (MEB microscope électronique à balayage). Pour les autres cas, la dégradation des matériaux

organiques inhérente aux contextes anciens (processus de dégradation similaires à ceux observés dans l'environnement), associée aux processus de minéralisation (en particulier au niveau des gangues de corrosion des métaux) conduisent régulièrement à la disparition des caractéristiques morphologiques utiles à leur identification. La spectrométrie de masse se pose alors comme un outil clé afin de caractériser ces archéomatériaux tant au niveau de la détermination des origines biologique et géographique qu'au niveau des études des processus d'altération. La stratégie repose sur l'identification de marqueurs moléculaires diagnostiques d'une substance naturelle ou d'un mécanisme de transformation anthropogénique ou lié au vieillissement naturel, à laquelle peuvent s'ajouter des analyses isotopiques. Une première catégorie de marqueurs moléculaires constituée de lipides de bas poids moléculaires est ainsi utilisée pour caractériser des matériaux faisant intervenir des substances pures ou en mélanges telles que des graisses et huiles, des cires, des substances végétales (résines, goudrons, fibres textiles). De nouvelles avancées permettent également de caractériser en contexte archéologique des protéines, molécules de haut poids moléculaires constituant majoritairement par exemple les cheveux, les plumes et les lainages. Quelques exemples illustreront ces travaux novateurs à l'interface entre des disciplines différentes et complémentaires.

<sup>1</sup>Laboratoire de Spectrométrie de Masse des Interactions et des Systèmes (LSMIS) UMR 7140 Unistra-CNRS "Chimie de la Matière Complexe », <sup>2</sup>Laboratoire ANATEX, expertise des matériaux organiques / analyse des textiles anciens, UMR7044, <sup>3</sup>Archéologie Alsace, <sup>4</sup>Musée d'Archéologie nationale

Blandine Courel<sup>1</sup>, Philippe Schaeffer<sup>1</sup>, Pierre Adam<sup>1</sup>, Estelle Motsch<sup>1</sup>, Clément Féliu<sup>2,3</sup>, Nathalie Schneider<sup>2,4</sup>

#### **Marqueurs stéroïdiens d'origine fécale dans des sols archéologiques anthropogénisés en Alsace**

L'analyse par couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse d'extraits lipidiques provenant de deux échantillons de sols mis au jour lors de fouilles archéologiques en Alsace a été effectuée. Ces échantillons comprennent notamment deux sols prélevés à Obernai et à Strasbourg, et datés respectivement du 1<sup>er</sup> et du 15<sup>ème</sup> siècle CE.

Ces analyses ont révélé la présence de quantités notables de stéroïdes en C<sub>27</sub> et C<sub>29</sub>, comprenant principalement des structures de type 5 $\beta$ -stanols, accompagnés de  $\Delta^5$ -stérols et 5 $\alpha$ -stanols en quantités moindres. Les 5 $\beta$ -stanols sont formés par réduction de  $\Delta^5$ -stérols par des microbes lors du processus de digestion dans le tractus digestif des animaux et des humains, et leur présence dans l'environnement est considérée comme indicatrice d'apports fécaux et/ou de fertilisation par du fumier. En contexte archéologique, les 5 $\beta$ -stanols représentent des marqueurs fiables de latrines, ce qui semble être le cas de la structure d'Obernai.

La détermination du rapport 5 $\beta$ -stanols en C<sub>27</sub>/5 $\beta$ -stanols en C<sub>29</sub>, qui permet d'estimer la proportion d'une alimentation carnée vs. végétale, suggère un régime alimentaire de type omnivore dans les deux échantillons, bien que l'apport végétal soit plus marqué dans le cas de l'échantillon d'Obernai. De plus, dans ce même échantillon, de la miliacine, un marqueur spécifique du millet (*Panicum miliaceum*) a été détectée en tant que lipide très nettement majeur, révélant la consommation de cette céréale durant la période Gallo-Romaine par la population établie à Obernai.

<sup>1</sup>Université de Strasbourg, CNRS-UMR7177, <sup>2</sup>Inrap Grand-Est Sud, <sup>3</sup>Université de Strasbourg, UMR 7044, <sup>4</sup>Université de Strasbourg, UMR 7362

Gilles Rixhon<sup>1,2</sup>, Clément Flaux<sup>3</sup>, Nicolas Carayon<sup>4</sup>, Lucy Semaan<sup>5</sup>

#### **10Be and 36Cl surface exposure dating of man-made excavations in northern Lebanon: Phoenician structures or not?**

In principle, surface exposure dating can be applied to anthropogenic structures such as flattened bedrock platforms or ancient quarries, even though it still has an unrealized potential in archaeological settings (Akçar et al., 2009; Rixhon, 2018). Antique quarries may represent a favourable context for this method, provided that major issues related to (i) inheritance and (ii) erosion (i.e. pristine bedrock surfaces of quarry floor/walls) can be avoided. The first point must be critically assessed given that muon-induced reactions produce cosmogenic nuclides at greater depths

(i.e. several meters below the surface). In the framework of this study, two archaeological sites in northern Lebanon were selected: Batroun and Anfeh. Although their excavation structures are well-studied, the so-called “great Phoenician trench”, i.e. a moat structure excavated in the Anfeh promontory and the “Phoenician sea-wall” related to quarrying activity in Batroun, their age remains unknown. These structures were respectively excavated in Eocene limestone and Late Pleistocene aeolianite. Samples for  $^{36}\text{Cl}$  (#4) and  $^{10}\text{Be}$  (#5) analysis were collected accordingly. Both sites present favourable characteristics to cope with inheritance: the moat floor is located ~10 m below the original surface whereas the top of the Phoenician sea-wall indicates quarrying depths reaching (at least) 4-5 m. Traces of former extracting activities on the quarry floor/walls are still conspicuous at several spots; the latter were preferentially targeted for sampling. Careful field measurements allowed a reliable assessment of topographic shielding, which plays a significant role in Anfeh. Sample preparation is currently under process. Surface exposure ages should be able to discriminate between a Phoenician origin or a latter excavation (e.g. during Middle Ages), without eluding a possible stepwise, polygenetic extraction process (especially in Batroun).

*Akçar et al., 2009. First results on determination of cosmogenic  $^{36}\text{Cl}$  in limestone from the Yenice Kale Complex in the Hittite capital of Hattusha (Turkey). *Quaternary geochronology* 4, 533-540.*

*Rixhon, G., 2018. Cosmogenic dating. The SAS Encyclopedia of Archaeological Sciences, Lopez-Varela, S. (Chief Editor), John Wiley & Sons, Hoboken (USA), 4 pages, DOI: 10.1002/9781119188230.saseas0135.*

<sup>1</sup>CNRS - LIVE 7362, Université de Strasbourg, <sup>2</sup>ENGEES, <sup>3</sup>CEREGE, <sup>4</sup>Ipsos Facto/Archeomed, <sup>5</sup>Maritime Archaeologist Lebanon, Honor Frost Foundation, UK

Blandine Courel<sup>1</sup>, Philippe Schaeffer<sup>1</sup>, Pierre Adam<sup>1</sup>, Estelle Motsch<sup>1</sup>, Quentin Ebert<sup>1</sup>, Emilie Moser<sup>1</sup>, Clément Féliu<sup>2,3</sup>, Stefano M. Bernasconi<sup>4</sup>, Irka Hajdas<sup>5</sup>, Damien Ertlen<sup>6</sup>, Dominique Schwartz<sup>6</sup>

### **Mise en évidence d'une culture du millet à Obernai depuis l'Age du Bronze : étude moléculaire, isotopique et datation au $^{14}\text{C}$**

Une étude moléculaire et isotopique des lipides extraits de sols ayant comblé des structures en creux d'un site archéologique situé à proximité d'Obernai (Alsace) a révélé la présence de miliacine, une molécule correspondant à un marqueur très spécifique du millet (*Panicum miliaceum*), indiquant que cette céréale a été cultivée sur ce site.

Les profils de concentration de la miliacine au sein des silos et sa présence dans d'autres types de structures (e.g., un fossé gaulois) suggère que la miliacine ne provient pas de millet originellement stocké dans les silos, mais serait plutôt liée à des sols de culture du millet qui ont rempli les structures en creux (dont les silos), après leur abandon. De plus, de la miliacine isolée à partir d'un échantillon de sol de comblement issu d'un silo du Second Age de Fer a été datée par radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) et a fourni un âge bien plus ancien (Age du Bronze) que celui du silo en question, confirmant que ce sol de comblement a enregistré la signature moléculaire d'une culture de millet antérieure à la période d'utilisation du silo. Par ailleurs, la datation  $^{14}\text{C}$  de miliacine isolée à partir de plusieurs autres structures archéologiques (silos, fossé, latrines) a permis d'établir que du millet a été cultivé pendant l'Age du Bronze et pendant la période Gallo-Romaine à Obernai. Il s'agit là de la première preuve attestant de l'existence d'une culture de millet en Alsace dès l'Age du Bronze.

<sup>1</sup>Université de Strasbourg, CNRS-UMR7177, <sup>2</sup>Inrap Grand-Est Sud, <sup>3</sup>Université de Strasbourg, Université de Haute Alsace UMR 7044, <sup>4</sup>Geologisches Institut, ETH Zürich, Switzerland, <sup>5</sup>Laboratory of Ion Beam Physics, ETH Zürich, Zürich, Switzerland, <sup>6</sup>Université de Strasbourg, CNRS, Laboratoire Image, Ville, Environnement, UMR 7362

Arnaud Gauthier<sup>1</sup>, Michel Dubois<sup>1</sup>, Léonore Cochard<sup>1</sup>

### **Apport de la minéralogie et de la géochimie à l'étude de la compréhension des processus archéométallurgiques. Cas des ferriers de la forêt de Moulière**

Située à proximité de Poitiers, la forêt de Moulière (Vienne, France), se situe sur un plateau entre les vallées de la Vienne et du Clain. L'exploration par l'abbé de la Croix au XIX<sup>ème</sup> siècle, puis les travaux de l'ONF ont révélé la présence de nombreux ferriers. Il s'agit d'amoncellements de scories, déchets

liés à la métallurgie du fer, qui sont distribués en plusieurs zones au sein du domaine forestier. Ces scories, relativement denses, se présentent en blocs centimétriques à décimétriques, à surface mamelonnée, avec parfois à l'intérieur l'existence d'une matrice fortement vacuolaire. Elles sont de couleur noire ou rouge-orangé. Formant des petits monticules pouvant atteindre 2m de hauteur, la végétation particulière (houx fragon et aubépine) les colonisant les rend aisément identifiables sur le terrain. S'il est difficile de dater précisément ces « crassiers », il est établi qu'une dizaine de forges était en activité au moment de la reformation des forêts par Colbert en 1667. Cette implantation sidérurgique dans cette forêt est sans nul doute liée à la facilité offerte pour l'exploitation du bois pour faire fonctionner les fours à bras ; mais également à la présence localement d'un minerai en l'occurrence un sable ferrugineux qui est présent en placage dans le sous-sol de la forêt.

L'objectif de cette étude a consisté en une caractérisation physico-chimique des scories présentes, et plus particulièrement des pellicules d'altération pouvant s'être développées en surface du matériau. Ces éléments pouvant en effet se révéler précieux dans le cadre de la gestion à long terme de certains déchets vitrifiés, en permettant une analogie de comportement impossible à obtenir à l'échelle du laboratoire. Les modifications d'ordre minéralogiques sont également abordées par des observations en microscopie électronique à balayage (MEB) et microspectrométrie Raman.

Les premiers résultats mettent en évidence une composition minéralogique essentiellement constituée de silicates (olivine ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ); quartz ( $\text{SiO}_2$ ); feldspaths ( $(\text{Ca},\text{Na},\text{K})(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_8$ )). Des oxydes de fer (hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )) ou de titane ( $\text{TiO}_2$ ) ont également été identifiés dans la périphérie des vacuoles ou formant des gouttelettes. Cette grande disparité minéralogique et chimique va conditionner la durabilité chimique de ce matériau.

<sup>1</sup>Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE, EA 4515), Université de Lille

Anne Gebhardt<sup>1,2,3</sup>, Estelle Camizuli<sup>4,5</sup>, Joseph Gauthier<sup>5</sup>, Anne Poszwa<sup>1</sup>, Danièle Bartier<sup>6</sup>

### **Approche interdisciplinaire d'un atelier minéralurgique du XV<sup>e</sup> s à Sainte-Marie aux-Mines (Vosges, France)**

Le site minéralurgique *Berg Armuth* (Alsace, France, XV<sup>e</sup> s. AD) a livré des structures de stockage de résidus de lavage finement lités en lien avec l'exploitation de la galène et des cuivres gris. Ce poster présente une étude interdisciplinaire, entre géosciences et archéologie, qui tente de mieux comprendre les processus de sédimentation et la taphonomie des résidus minéralurgiques accumulés dans le bassin de lavage et la halde.

L'analyse micromorphologique de blocs consolidés issus de la séquence de sédimentation des résidus confirme la cyclicité observée sur le terrain : des dépôts grossiers y alternent avec des plus fins et des accumulations de fragments micro-organiques. Au microscope, des figures micro-sédimentaires révèlent courants, érosion, figures de charge, dessiccation..., liées au fonctionnement du bassin. Ont ainsi pu être mis en lumière des arrêts de fonctionnement de la laverie dont la rythmicité reste à définir. Les analyses core-scanner XRF, effectuées sur ces mêmes prélèvements, permettent de suivre l'évolution des quantités relatives de plomb en fonction des niveaux identifiés par l'analyse micromorphologique. Les cartographies MEB mettent en évidence des alternances entre silicates et sulfures, mais renseignent également sur la nature des phases et la forme des grains.

En plus des analyses par diffraction des rayons X qui apportent des informations minéralogiques, les analyses géochimiques effectuées dans ces structures et dans la halde renseignent sur la nature des sédiments de lavage et le comportement chimique des éléments susceptibles de se retrouver dans l'environnement : teneurs totales (majeurs et traces) et teneurs en certains éléments mobilisables par altération (Cd, Cu, Ni, Pb, et Zn). Les méthodes d'observations et d'analyses mises en œuvre sur ces déchets minéralurgiques viennent éclairer la qualité des matériaux archéologiques et, partant, les modes opératoires susceptibles de les avoir produits, aider à mieux comprendre leur mode de mise en place. Les données acquises contribuent également à mesurer l'influence de ces résidus sur l'environnement actuel.

<sup>1</sup>LIEC UMR 7360, CNRS-Université de Lorraine, <sup>2</sup>LIVE UMR 7362, CNRS-Université de Strasbourg, <sup>3</sup>INRAP,

<sup>4</sup>CRESAT EA 3436, Université de Haute-Alsace, <sup>5</sup>Chrono-environnement UMR 6249, CNRS-Université de

Guillaume Bruniaux<sup>1</sup>, Vivien Mathé<sup>1</sup>, François Lévêque<sup>1</sup>, Vincent Ard<sup>2</sup>

### **Discrimination spatiale d'une enceinte fossoyée néolithique implantée sur un plateau calcaire pour estimer la localisation d'un niveau d'occupation**

Le site néolithique du Pontet (Saint-Nazaire-Charente, Charente-Maritime) est implanté sur un plateau calcaire et accolé à une paléo-falaise formant le versant d'une petite vallée. Il est localisé à environ 5 km de l'estuaire de la Charente. Il a été découvert en 2009 par E. Bouchet sur des clichés aériens montrant la présence de quatre fossés discontinus attribués au Néolithique récent. Son étude est intégrée au PCR « Dynamique d'occupation et d'exploitation du sel dans les golfes charentais, du Néolithique à l'Age du Fer ».

Une campagne de prospection magnétique à haute résolution a été effectuée sur l'ensemble site (5 ha) en employant un protocole original de cartographie magnétique (Bruniaux et al., 2017). Elle a précisé le tracé des fossés de l'enceinte et met en évidence deux autres enceintes, une imposante entrée avec des « pinces de crabe », des fosses et des trous de poteau. Ces données ont été complétées par des cartes et des sections de résistivité électrique. Sur la base de ces informations, un sondage a été réalisé sur une surface de 400 m<sup>2</sup> au niveau de quatre anomalies magnétiques circulaires et alignées, qui laissent supposer la présence de fosses néolithiques.

La fouille a permis de comprendre l'origine de ces quatre anomalies magnétiques et a mis en évidence la présence d'un niveau d'occupation néolithique conservé. Cette communication propose un protocole fondé sur une prospection magnétique exhaustive du site, des prospections électriques, une image multispectrale et un sondage d'extension limitée pour obtenir une estimation de l'épaisseur de sol recouvrant le substrat. Cette estimation apporte une information sur la conservation potentielle d'un niveau d'occupation néolithique. Cette démarche vise à guider les prochaines investigations archéologiques sur des sites néolithiques de même type.

*Bruniaux, G., Mathé, V., Lévêque, F., Camus, A., Ard, V., 2017. Data processing chain to high spatial resolution magnetic survey: application on the Neolithic site of Le Pontet (Charente-Maritime, France). Archaeological Prospection, 24, (3).*

<sup>1</sup>UMR 7266 LIENSs, Université de La Rochelle-CNRS, <sup>2</sup>UMR 5608 TRACES, Université Toulouse Jean Jaurès-CNRS

Marie-Caroline Charbonnier<sup>1</sup>

### **Géoarchéologie des axes de circulation : Premiers résultats de l'étude micromorphologique d'une rue à *Durocortorum* (Reims)**

Au début du I<sup>er</sup> siècle av. n-è, Reims fait l'objet d'un aménagement de grande ampleur qui prend en compte les contraintes que constituent la présence de l'*oppidum* gaulois et surtout de son fossé d'enceinte. Il s'agit ici de la création d'un vaste plan d'urbanisme aux dimensions inusitées dans l'Empire romain puisqu'il concerne une surface d'au moins 600 hectares. Un vaste plan viaire ortho-normé est donc conçu sous le règne d'Auguste, probablement en raison de son nouveau statut de capitale de la Gaule Belgique, mais aussi de la présence du siège du procurateur de la province.

De nombreuses fouilles réalisées récemment à Reims ont mis au jour des séquences stratigraphiques complexes de rues datant de l'époque romaine et du début du Moyen Âge. Leur interprétation, fondée sur des méthodes archéologiques classiques, reste souvent incertaine pour la caractérisation des niveaux d'utilisation et de réfection. La fouille archéologique préventive menée par l'Inrap en 2016 et en 2017 présentée ici, est située rue Marie Clémence Fouriaux, aux limites nord-ouest de la ville du Haut-Empire, à proximité de l'enceinte dite « augustéenne ». Il s'agit de la première opportunité de réaliser une étude géoarchéologique et micromorphologique de la matérialité d'une rue à Reims.

Des modèles descriptifs de formation des stratifications archéologiques pouvant servir de cadre théorique sont décrits dans Gé *et al.* 1993. Transposés aux espaces de circulation, et grâce aux analyses micromorphologiques, il est possible de proposer des modèles de formation schématiques

originaux et spécifiques des voiries (Charbonnier et Cammas 2018). Les résultats des analyses couplés aux observations de terrain permettent de décrire sur le site de Reims, un type polyphasé : c'est-à-dire une succession d'états de circulation, puis de fréquentation et d'utilisation. L'objectif est d'appréhender la nature de ces niveaux en couplant les observations faites sur le terrain aux analyses au microscope. Cette étude s'inscrit dans une problématique plus large qui a trait au mode de construction, à l'organisation et à la caractérisation d'un tronçon d'axe de circulation.

<sup>1</sup>INRAP Grand Est

Ferréol Salomon<sup>1</sup>, Claire Rambeau<sup>1,2</sup>, Laurent Schmitt<sup>1</sup>, Frank Preusser<sup>2</sup>, Daria Klekovkina<sup>2</sup>, Francisco Silva<sup>1</sup>, Pierre-Alexis Herrault<sup>1</sup>, Gilles Rixhon<sup>1</sup>, Damien Ertlen<sup>1</sup>, Anne Gebhart<sup>3</sup>, Nathalie Schneider<sup>3</sup>, Patrice Wuscher<sup>4</sup>, Laurent Lespez<sup>5</sup>, Clément Virmoux<sup>5</sup>, Aline Garnier<sup>5</sup>, Agnès Gauthier<sup>5</sup>, Charlène Morel<sup>6</sup>, Loup Bernard<sup>6</sup>, Marina Lasserre<sup>7</sup>

### **Paléo-dynamique et résilience des territoires fluviaux rhénans au cours de l'Holocène : Etude géoarchéologique de la plaine alluviale du Rhin entre Drusenheim/Rheinmünster et Seltz/Rastatt**

Dans le Rhin Supérieur, la mobilité latérale du fleuve au cours des derniers millénaires est encore mal connue et ses conséquences sur la répartition des sites riverains est mal comprise. Ce poster sera l'occasion de présenter les premiers résultats des recherches paléo-géomorphologiques et géoarchéologiques menées sur la plaine du Rhin au nord de Strasbourg, entre Drusenheim/Rheinmünster et Seltz/Rastatt. Avant les aménagements du Rhin au 19e s., cette zone d'étude était caractérisée par des anastomoses et des méandres naissants. Nous proposons de reconstituer la mobilité du Rhin dans une perspective à long terme et ses conséquences sur le peuplement de la plaine. La reconstruction de l'évolution du paysage alluvial repose sur (1) une synthèse des données historiques et archéologiques, (2) l'analyse de données LiDAR à haute résolution et de cartes anciennes, et (3) l'analyse de 30 nouvelles carottes sédimentaires. L'analyse de ces carottes associe géomorphologues, paléoenvironnementaux, géochronologues et archéologues afin de reconstituer l'instabilité latérale des chenaux du Rhin, d'identifier des origines des sédiments et de produire une chronologie fiable basée sur différents types de dates (balayage OSL, OSL, 14C, dates archéologiques et historiques).

<sup>1</sup>Laboratoire Image Ville Environnement – LIVE – UMR-7362, CNRS/Université de Strasbourg, <sup>2</sup>Institute of Earth and Environmental Sciences – Geology, University of Freiburg, <sup>3</sup>INRAP, <sup>4</sup>Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux – LIEC - UMR 7360, CNRS/Université de Lorraine, <sup>5</sup>Laboratoire de Géographie Physique – UMR-8591 CNRS/Université Paris-Est, <sup>6</sup>Archéologie et Histoire ancienne : Méditerranée – Europe (ArchiMède), MISHA – UMR-7044, CNRS/Université de Strasbourg, <sup>7</sup>Service régional de l'archéologie, DRAC Grand-Est

Nathalie Schneider<sup>1</sup>, Anne Gebhardt<sup>1</sup>, Sylvain Griselin<sup>2</sup>, François-Xavier Simon<sup>3</sup>

### **Géoarchéologie dans le cadre de diagnostics et de fouilles préventives, exemples de grands linéaires : LGV et COS, Alsace. Comment conserver une approche pluridisciplinaire dans les contraintes de temps actuelles ?**

La géoarchéologie s'est progressivement imposée comme une démarche totalement nécessaire à la compréhension d'un site archéologique. De l'alibi contextuel, cette motivation peut devenir l'objet principal des prescriptions : connaissance du tracé de paléochenaux (exemple de Lauterbourg, Illkirch...), étude des fosses en X, Y (PCR) ou analyse de contextes stratigraphiques dans les loëss du Kochersberg (COS). Les études géomorphologiques constituent la phase initiale indispensable à la compréhension du paysage. Elles peuvent être adossées à des analyses granulométriques et micromorphologiques. En fonction des milieux traversés peuvent ensuite se greffer des études palynologiques et carpologiques ou des analyses physico-chimiques ou géophysiques (susceptibilité magnétique, NIRS...). Ces analyses non exclusives peuvent enfin être enrichies de datation.

Dans le cadre de grands linéaires, des approches interdisciplinaires se mettent en place dont les résultats dépassent largement le seul cadre du chantier de fouilles. La ligne LGVEE a offert l'opportunité d'étudier une coupe complète dans les formations superficielles depuis les Vosges (Saverne) jusqu'à la plaine rhénane (Vendenheim). Les données de diagnostic fournissent quant à

elles la plus grande masse d'informations : des logs ont été enregistrés dans les 3000 tranchées ouvertes et complétés par des sondages ciblés dans les fonds de vallon (Ertlen, Schneider et alii 2015). Quelques exemples ayant permis d'aborder des synthèses spatiales seront présentés ici (LGV et COS notamment).

Cette démarche, forcément pluridisciplinaire a permis d'amasser de nombreuses données stratigraphiques, qui pour l'instant ne font qu'enrichir les bases de données nécessaires à la réalisation des SIG. L'exploitation de ces nouvelles formes de cartographie se met lentement en place. En effet la richesse de ces informations reste difficile à exploiter par les spécialistes dans les temps impartis de l'archéologie préventive.

<sup>1</sup>UMR 7362 LIVE, <sup>2</sup>INRAP, <sup>3</sup>UMR 6249 Chrono-Environnement

Mathilde Stern<sup>1</sup>, Emmanuel Weisskopf<sup>1,2</sup>, David Landry<sup>1</sup>, Aziz Ballouche<sup>1</sup>

### **Étude multi-proxy de l'évolution Holocène d'un bassin versant soudanien anthropisé (Site mégalithique de Wanar, bassin du Bao Bolon, Sénégal).**

Le mégalithisme sénégalais se présente sous des formes monumentales diverses, notamment des cercles de pierres dressées. Quatre sites du Sénégal et de Gambie sont classés au Patrimoine Mondial de l'Unesco, dont le site de Wanar au Sénégal, dans le bassin versant du Bao Bolon, affluent du fleuve Gambie, et daté entre le 7<sup>ème</sup> et le 16<sup>ème</sup> siècle AD. Depuis 2005, des fouilles archéologiques sont réalisées tous les ans sur la nécropole de Wanar, afin d'enrichir les connaissances socio-culturelles du mégalithisme sénégalais.

L'étude présentée a pour objectif général de reconstituer l'évolution des paysages de la région de Wanar, et en particulier au cours du fonctionnement du site mégalithique. Les recherches portent sur les dépôts sédimentaires du Bao Bolon ainsi que de certains de ses affluents, notamment le Khour qui s'écoule à proximité du site mégalithique de Wanar.

En Afrique de l'Ouest, les études paléoenvironnementales portant sur les systèmes fluviaux sont limitées, en raison des caractéristiques climatiques particulières de cette région. Le régime climatique, dont le principal moteur est la migration saisonnière de la zone de convergence intertropicale (ZCIT), entraîne un important contraste saisonnier des précipitations, avec des pluies pouvant être extrêmement violentes et une longue saison sèche. Sous ces conditions, les dynamiques hydrosédimentaires sont exacerbées, et limitent généralement la conservation d'archives sédimentaires de qualité.

Pourtant, les analyses sédimentaires des coupes, carottages et sondages réalisés dans la région de Wanar ont permis de mettre en évidence une chronostratigraphie cohérente et relativement continue au cours de l'Holocène. Grâce aux observations de terrain, aux analyses granulométriques (granulomètre laser) et aux datations radiocarbone, des phases d'aggradation et des phases d'érosion ont été identifiées. Une unité sédimentaire couvrant les deux derniers Millénaires, donc contemporaine au fonctionnement du site mégalithique, a notamment été identifiée dans l'ensemble des sites étudiés.

L'objectif est à présent de caractériser ces différentes phases en tant que types de milieux, dans une région où la granularité des dépôts est relativement homogène et où la matière organique est très mal conservée. Différentes études sont en cours, portant sur les palynofaciès et le signal incendie, sur des données XRF et le carbone ou encore sur la micromorphologie des dépôts et la morphoscopie des grains de quartz.

<sup>1</sup>Université d'Angers, UFR Sciences, LETG-Angers 6554 CNRS, <sup>2</sup>Université de Strasbourg, Master Géographie Environnementale

Rozan Al-khatib Alkontar<sup>1</sup>, Paul Calou<sup>1,2</sup>, Jérôme Rohmer<sup>3</sup>, Marc Munsch<sup>1</sup>

### **Cartographies magnétiques à différentes échelles sur le site préislamique de Thaj (Arabie Saoudite) et comparaison avec les résultats archéologiques**

Certaines études récentes montrent que les méthodes magnétiques et leur interprétation intégrée dans les études archéologiques sont utiles pour déterminer le plan des villes antiques. Cette méthode a été appliquée sur le site préislamique de Thaj (300 BC - 600 AD), situé dans l'actuelle Arabie

saoudite. Deux dispositifs de mesure à base de magnétomètres fluxgate 3 composantes ont été utilisés sur le site : 1 - un premier dispositif avec des capteurs à 1 m au-dessus du sol et espacés de 0,5 m qui permet de couvrir de grandes surfaces rapidement et dont les résultats ont donné une image spectaculaire de l'organisation du site et permis de tracer une partie du rempart de la ville, les rues principales et certaines structures qui pourraient être des bâtiments ; 2 - un deuxième dispositif avec des capteurs à 0.2 m au-dessus du sol et espacés de 0.1 m a permis de produire des cartes magnétiques détaillées pour aider à guider les travaux de fouilles. La comparaison entre les cartes magnétiques obtenues et les résultats de la fouille a donné une très bonne correspondance.

<sup>1</sup>UMR 7516 IPGS CNRS/UNISTRA, <sup>2</sup>ECA Group, <sup>3</sup>UMR 8167 Orient&Méditerranée

Benjamin Defert, Amélie Quiquerez, Hervé Bocquillon, Patrice Méniel

### **L'organisation interne de l'habitat protohistorique de l'oppidum de La Cheppe (51) : apport des prospections géophysiques**

Des campagnes de sondages réalisées à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle ont permis de révéler une forte occupation de l'oppidum de La Cheppe de la fin de l'Âge du Fer. Cependant, les connaissances concernant l'organisation interne de l'habitat protohistorique au sein de cette enceinte, mesurant au total une vingtaine d'hectares restent encore très lacunaires. Une campagne de prospection géophysique a donc été menée en 2017 sur la partie centrale ainsi que sur les différentes portes de l'enceinte en croisant des méthodes magnétiques (G-858) et électriques (RM15) pour palier de manque d'information. Les résultats géophysiques ont été confrontés aux données des fouilles menées en 2015, 2016 et 2018 ainsi qu'aux anomalies phytographiques détectées sur les photographies aériennes et les images satellites. Ce travail a permis de mettre en évidence un réseau parcellaire correspondant probablement à un habitat organisé et de révéler une structure orientée Nord-Sud correspondant à une partition de l'oppidum (fossé ou voie). Les résultats de cette étude permettront de localiser les lieux les plus pertinents pour les sondages futurs.

Tristan Fréville<sup>1</sup>, Florian Basoge<sup>2</sup>, Matthieu Fuchs<sup>2</sup>, Bruno Gavazzi<sup>3</sup>, Marc Munsch<sup>3</sup>, Gilles Pierrevelcin<sup>4</sup>

### **Présentation du projet DROMMA - Drone de Mesures Magnétiques pour l'Archéologie**

Le projet Dromma associe la start up Terremys, l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg et Archéologie Alsace pour développer une solution de mesures magnétiques aéroportées et adaptée à l'archéologie, notamment en contexte d'archéologie préventive. Financé par la région Grand Est et l'Europe à travers le Fond européen de développement régional (FEDER), l'objectif final est de pouvoir disposer d'une méthode non-invasive de détection et d'étude des vestiges archéologiques à grande échelle et à haute résolution. Elle doit être capable de s'affranchir de l'état du sol et à faible coût économique, afin de guider les sondages et d'apporter un nouveau niveau d'analyse des sites. Pour cela, des contraintes techniques et scientifiques doivent être levées : compensation de l'effet du drone sur la mesure, miniaturisation et intégration du système, suivi automatique du terrain. Les premiers résultats présentés ici permettent de faire une acquisition en drone mono-capteur à 0.5 m du sol, avec une qualité des données similaires à celles obtenues en mesure au sol. Les prochaines étapes du projet et perspectives sont également présentées.

<sup>1</sup>TERREMYS, <sup>2</sup>Archéologie Alsace, <sup>3</sup>UMR 7516 IPGS CNRS/UNISTRA

Amélie Laurent-Dehecq<sup>1</sup>

### **Utilisation du pénétromètre dynamique léger PANDA® pour la détection et la caractérisation des sols anthropiques en Région Centre-Val-de-Loire, France**

Dans le cadre des opérations archéologiques préventives et programmées, il est nécessaire de détecter et caractériser le plus précisément possible le gisement archéologique des sites. Pour répondre à ces objectifs, plusieurs méthodes de détection ponctuelles peuvent être mises en œuvre en couplage avec les sondages mécaniques traditionnels et les méthodes de détection surfaciques (géophysiques). En région Centre-Val-de-Loire (France), des recherches sont menées depuis 15 ans sur l'application du pénétromètre dynamique léger PANDA® en milieu urbain mais également en contexte castral ou pour des problématiques géomorphologiques. Les expériences ont été menées à partir de coupes de références et, dans certains cas, en couplage avec des sondages carottés ou des

prospections géophysiques. Un référentiel archéo-mécanique a été mis en place en confrontant les observations archéologiques et les propriétés mécaniques du sous-sol. Les résultats montrent qu'il est possible de distinguer les sols anthropiques des formations géologiques. Il est également possible de proposer une stratigraphie des zones étudiées et des hypothèses fonctionnelles des couches stratigraphiques. Cette présentation vise à présenter l'approche méthodologique et une synthèse de ces résultats. Ces derniers sont appréhendés à l'échelle des sites et des territoires.

<sup>1</sup>Service d'Archéologie Préventive du Département du Loiret / UMR 7324 CITERES

## Stands

### **ArkeoGIS (UMR 7044 ARCHIMEDE)**

ArkeoGIS est une plateforme sécurisée en ligne accessible en quatre langues (Allemand, Anglais, Espagnol, Français) qui permet de mettre en commun, de questionner et d'analyser au moyen d'une interface cartographique les données scientifiques géo-référencées concernant le passé (archéologie environnement, histoire...)

Site internet : <http://arkeogis.org/>

### **Laboratoire d'Analyses des Sols et formations superficielles (LAS - UMS 830 EOST)**

La plateforme LAS "Laboratoire d'Analyses des Sols" est une unité de services de l'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre dédiée à la réalisation d'analyses sédimentologiques utiles pour les communautés "recherche" et "opérationnel" en sciences de la Terre et en sciences de l'Environnement. La plateforme réalise des mesures selon des procédures certifiées en granulométrie, pédologie et hydrodynamique, de la prise d'échantillons sur site à la diffusion des résultats, selon une grille tarifaire. Des exemples de prestations en granulométrie seront présentés.

Site internet : <http://labsol.unistra.fr/>

### **Pôle analytique du LHyGes (UMR 7517 LHyGes)**

Le pôle analytique du LHyGes regroupe des équipements permettant les analyses chimiques élémentaires, les analyses isotopiques, les analyses et caractérisations minéralogiques par microscopie électronique et par diffraction des rayons X. Il inclut et intègre l'ensemble des moyens analytiques et techniques nécessaires non seulement à l'analyse, mais également à la préparation des échantillons pour la réalisation de ces analyses

Site internet : <https://www.lhyges.unistra.fr/-Moyens-analytiques->

### **Plateformes de $\mu$ XRF et de lames minces (UMR 7516 IPGS)**

La plateforme de  $\mu$ XRF de l'IPGS s'organise autour d'un spectromètre de microfluorescence X Bruker M4 Tornado. Équipé de deux sources Rh (focalisation du faisceau par optique polycapillaire à 20  $\mu$ m, l'autre focalisé par système de collimation à 1 mm), cet appareil permet la cartographie chimique rapide de grande dimension (>550 cm<sup>2</sup>) de la surface d'échantillons de nature variable incluant les solides, les particules, les systèmes multi-couches ou encore les liquides, tout en étant une technique non-destructive.

Des lames minces de roches sont confectionnées dans l'atelier de lithopréparation en fonction des différents types d'analyse à réaliser (microscopie optique, microscopie électronique, microsonde électronique, sonde ionique...). Nous pouvons réaliser des lames minces couvertes pour l'enseignement, des lames minces et des sections polies pour les différents instruments d'analyses et des lames épaisses pour l'études des inclusions fluides.

Le laboratoire est composé de trois scies à disques diamantés de différents diamètres, un prépolisseur, une rodeuse, un stand de collage, une scie d'arasement et une polisseuse. La capacité de fabrication varie en fonction des demandes et des matériaux. L'unique technicien peut réaliser entre 500 / 700 lames par an.

Site internet : <http://eost.unistra.fr/recherche/ipgs/plateformes-ipgs/microfluorescence-x-bruker-m4-tornado/>

**CARMA**

CARMA est un service de mesure, traitements et interprétations de données magnétiques au sol et aéroportées. Pour la partie mesure, le service utilise les développements propres du laboratoire.

**TERREMYS**

Terremys est une société de levés géophysiques par drones et se distingue par un service novateur de mesures, traitements et interprétations de données magnétiques développé en partenariat avec l'UMR 7516 IPGS

Site internet : <https://terremys.fr/>