

# Atelier interdisciplinaire scientifique

## « Matériaux du patrimoine et patrimoine matériel »

### sur le plateau de Saclay

Ecole Polytechnique – 10 mars 2016

## Résumés des contributions

L'Atelier a été organisé par les laboratoires IPANEMA (CNRS, MCC, UVSQ), DYPAC-IECI (UVSQ) et LinX de l'Ecole Polytechnique. Il a reçu les soutiens du CNRS, de l'Université Paris-Saclay (département de Chimie, School Humanités, Ecole doctorale Interfaces), de l'Ecole Polytechnique, de l'Université de Versailles–Saint-Quentin, du Labex Patrima et de la Fondation des Sciences du Patrimoine, de la Maison des Sciences de l'Homme de Paris-Saclay et de la Fédération de Chimie Physique de Paris-Saclay.



**Comité d'organisation** : Loïc Bertrand (IPANEMA, CNRS, MCC, UVSQ), Etienne Anheim (DYPAC, UVSQ), Frédéric Brechenmacher (LinX, Ecole Polytechnique), Sophie David (IPANEMA, CNRS, MCC, UVSQ), Susanna Holowati (IPANEMA, CNRS, MCC, UVSQ)

**Comité scientifique** : Vincent Bontems (LARSIM, CEA), Pierre Chastang (DYPAC, UVSQ), Pierre Galtier (GEMaC, UVSQ), Hélène Gispert (GHDSO, Université Paris-Sud), Delphine Neff (LAPA, NIMBE, CEA, CNRS), Steve Oudot (Geometrica, Inria), Mathieu Thoury (IPANEMA, CNRS, MCC, UVSQ)

## Table des matières

<b>Emilande APCHAIN, Delphine NEFF, Annick TEXIER, Aurélia AZEMA, François MIRAMBET, Dominique ROBCIS, Jean-Paul GALLIEN, Albert NOUMOWE, Philippe DILLMANN</b> .....	5
Protection de la statuaire en bronze, comparaisons de traitements classiques et d'approches par carboxylates	
<b>Lucile BECK</b> .....	6
Les accélérateurs de particules au service du Patrimoine Culturel	
<b>Emilie BERARD, Philippe DILLMANN, Valérie TOUREILLE, Catherine VERNA, Alan WILLIAMS, Philippe MALGOUYRES</b> .....	7
Fabrication et usage des armures médiévales, étude interdisciplinaire	
<b>Loïc BERTRAND, Mathieu THOURY, Sebastian SCHOEDER, Serge COHEN, Regina OPRANDI, Sophie DAVID</b> .....	8
La plateforme de recherche IPANEMA et l'infrastructure E-RIHS	
<b>Jean BLETON, Alain TCHAPLA, Myriam BONOSE</b> .....	9
Identification de substances naturelles organiques par CG/SM	
<b>Marc BORMAND, Anne BOUQUILLON</b> .....	10
Etudes sur les stucs italiens de la Renaissance	
<b>Pierre CHASTANG, Pauline LEMAIGRE-GAFFIER</b> .....	11
Gestion des données scientifiques et politique d'archivage des laboratoires : production, interopérabilité, réutilisation	
<b>Serge COHEN</b> .....	12
Nouvelles données et matériaux anciens : une intersection non singulière	
<b>Patrick DI MARTINO</b> .....	13
Interactions microorganismes-matériaux du patrimoine : approches analytiques	
<b>Philippe DILLMANN</b> .....	14
10 ans de recherches interdisciplinaires sur les métaux archéologiques sur le plateau de Saclay	
<b>Anne-Clothilde DUMARGNE</b> .....	15
Anonymes, ordinaires et utilitaires : recontextualisation et matérialité des chandeliers médié- vaux et modernes	
<b>Elisabeth FORTIS, Marie CORNU</b> .....	16
Le vrai saisi par le droit : la question des multiples en matière d'œuvres d'art	
<b>Marina GASNIER, Yacine AÏT OUMEZIANE</b> .....	17
Les matériaux du patrimoine industriel : des sciences historiques aux sciences de l'ingénierie	
<b>Dominique GENTY</b> .....	18
Les spéléothèmes, matériaux d'étude pour les reconstitutions paléoenvironnementales – Un exemple d'étude du transfert du carbone	
<b>Frédérique GIORGIUTTI-DAUPHINÉ, Ludovic PAUCHARD</b> .....	19
Craquelures : signature des propriétés mécaniques d'une peinture d'art	

<b>Marie GODET</b> .....	<b>20</b>
Jaunissement de la Pierre par Nettoyage Laser : mise en évidence de nanoparticules riches en fer pour des échantillons modèles	
<b>Sophie GROUSSET, Florence MERCIER, Alexandre DAUZERES, Didier CRUSSET, Yannick LINARD, Valérie DEYDIER, Laurent URIOS, Muriel BOUTTEMY, Arnaud ETCHEBERRY, Smaïl MOSTEFAOUI, Philippe DILLMANN, Delphine NEFF</b> .....	<b>21</b>
Analyse de la composition isotopique du soufre pour la détermination de l'origine bactérienne ou inorganique des sulfures de fer formés lors de la corrosion anoxique du fer	
<b>Patricio GUERRERO PRADO</b> .....	<b>22</b>
In-depth imaging of flat ancient material objects through a back projection reconstruction of a 2D conical Radon Transform	
<b>Andrew KING</b> .....	<b>23</b>
PSICHE : une ligne de lumière pour la tomographie à SOLEIL	
<b>Jérôme LAMY</b> .....	<b>24</b>
Que faire dire au patrimoine scientifique bâti ? Matérialité, mémoire et histoire. L'exemple de l'observatoire de Toulouse	
<b>Gaël LATOUR, Laurianne ROBINET, Alexandre DAZZI, François PORTIER, Ariane DENISET, Marie-Claire SCHANNE-KLEIN</b> .....	<b>25</b>
Caractérisation morphologique et chimique multi-échelle de la dégradation du collagène dans les parchemins	
<b>Thibault LE HEGARAT</b> .....	<b>26</b>
La matérialité exposée. Les représentations du patrimoine et la construction de la problématique de la matérialité	
<b>Anne-Solenn LE HÔ, Marion ALTER, François MIRAMBET, Nadège LUBIN-GERMAIN, Sandrine PAGES-CAMAGNA, Myriam EVENO, Patrice LEHUEDE, Gilles BASTIAN, Elisabeth RAVAUD, Michel MENU, Didier GOURIER, Laurent BINET, Dominique THIEBAUT, Vincent DELIEUVIN, Sigrid MIRABAUD, Loïc BERTRAND, Mathieu THOURY</b> .....	<b>27</b>
Conservation et altération de pigments de peinture : les verts au cuivre	
<b>Robin LE PENGLAU, Mickael BOUHIER, Delphine NEFF</b> .....	<b>29</b>
Données structurales et élémentaires de couche de produits de corrosion du fer traitées par analyse en composantes principales	
<b>Claire LE RENARD, Martine BLAT-YRIEIX</b> .....	<b>31</b>
Extraire d'un patrimoine du passé des informations sur le futur : le cas des réacteurs à neutrons rapides au sodium. Retour sur une démarche de valorisation des enseignements du patrimoine de Phénix et Superphénix	
<b>Stéphanie LEROY, Mitch HENDRICKSON, Emmanuelle DELQUE-KOLIC, Enrique VEGA, Philippe DILLMANN, Pira VENUNAN, Alexandre DISSER, Dominique SOUTIF, Brice VINCENT, Christophe POTTIER, Martin POLKINGHORNE, Roland FLETCHER</b>	<b>32</b>
IRANGKOR Le fer à Angkor : production, circulation, consommation du métal et expansion de l'Empire Khmer, Cambodge (IXe - XVe s.), une approche interdisciplinaire	
<b>Philipp LEU</b> .....	<b>33</b>
Matérialité dématérialisée : enjeux et défis de la numérisation des revues littéraires et artistiques de la fin du XIXe siècle	

<b>Evelyne LHOSTE</b> .....	<b>34</b>
De la zootechnie à la biologie intégrative : histoire du paysage du Campus Inra de Jouy-en-Josas	
<b>Delphine NEFF, Solenn REGUER, Florence MERCIER, Eddy FOY, Enrique VEGA, Jean-Paul GALLIEN, Florian TEREYGEOL, Valérie L'HOSTIS, Philippe DILLMANN</b> .....	<b>35</b>
La corrosion et le patrimoine au LAPA, une décennie de recherche appliquée dans le domaine des matériaux métalliques	
<b>Elisabetta NERI</b> .....	<b>36</b>
Mosaic tesserae: analyses of late Roman and Byzantine glass and gold	
<b>Claire PACHECO</b> .....	<b>38</b>
New AGLAE : jalons et état d'avancement	
<b>Solenn REGUER, Cristian MOCUTA, Pierre GUERIAU</b> .....	<b>39</b>
Contribution de la ligne DiffAbs du synchrotron SOLEIL pour la caractérisation multi technique et multi-échelle des matériaux du patrimoine dans la gamme des rayons X	
<b>Bénédicte ROLLAND-VILLEMOT</b> .....	<b>40</b>
Les collections des musées, matières, matériaux et archives matérielles	
<b>Laurent ROMARY</b> .....	<b>42</b>
Dématérialiser le patrimoine matériel – quelle interface entre patrimoine et humanités (numériques) ?	
<b>Jean-Noël ROUZAUD, Damien DELDICQUE, Bruce VELDE</b> .....	<b>43</b>
Paléothermométrie Raman de carbonisats anthropiques : un nouvel outil prometteur pour l'archéométrie	
<b>Evanghelia STEAD</b> .....	<b>44</b>
Tournant matériel contre tournant numérique ? Quelques considérations sur insuffisances et potentiels	
<b>Romain THOMAS</b> .....	<b>45</b>
Histoire de l'art et signification des matériaux. Bilan de la recherche actuelle	
<b>Nadine TISNERAT-LABORDE, Christine HATTE, Eric DOUVILLE, Michel FONTUGNE, Caroline GAUTHIER, Jean-Luc MICHELOT, Martine PATERNE, Edwige PONS-BRANCHU, François THIL, Hélène VALLADAS, Antoine ZAZZO</b> .....	<b>46</b>
Présentation d'ECHOMICADAS : un nouveau spectromètre de masse par un accélérateur dédié à la mesure du carbone 14 pour les Sciences de l'Environnement, du Climat et les Sciences Humaines	
<b>Hélène VALLADAS</b> .....	<b>47</b>
Contribution de la datation C-14 (SMA) à la connaissance de l'art pariétal préhistorique	
<b>Ambre VILAIN</b> .....	<b>48</b>
Présentation du projet ADeMat : analyse et description des matrices de sceaux du Moyen Age	
<b>Nicolas WILKIE-CHANCELLIER, Vincent DETALLE</b> .....	<b>49</b>
Spectroscopies LIBS et Raman pour l'extraction du profil de profondeur des matériaux du patrimoine culturel	

## Poster

### Protection de la statuaire en bronze, comparaisons de traitements classiques et d'approches par carboxylates

En milieu extérieur les statues en bronze subissent des altérations causées par l'eau et la pollution atmosphérique (Robbiola et al. 1993) qui entraînent des modifications physiques et esthétiques de l'œuvre. La patine, bien que résultant de la corrosion atmosphérique du bronze, fait partie intégrante de l'objet puisque c'est elle qui lui confère sa couleur verte caractéristique. Pour limiter ces altérations il convient de réduire les interactions entre la patine et l'environnement en appliquant sur la patine un traitement de protection : des cires microcristallines (Texier et al. 2014) ou des inhibiteurs de corrosion (Kosec et al. 2010). Pour ces derniers nous avons choisi d'utiliser des solutions de carboxylates (HC10 et NaC10) car elles sont non toxiques et non cancérigènes (Rocca and Mirambet 2007). L'efficacité de ces traitements n'a pas été systématiquement évaluée et nous ne disposons que de peu de données concernant les mécanismes ayant lieu à l'échelle microscopique dans les patines d'objets en cuivre et en bronze. Ce travail vise à évaluer et comparer l'efficacité des deux traitements en étudiant leur pénétration dans la couche de patine et en précisant leurs interactions à l'échelle microscopique avec celle-ci. Pour cela la patine formée naturellement en milieu extérieur de différents échantillons en cuivre (cathédrales de Metz et de Chartres) et en bronze (colonne Vendôme) a été caractérisée à l'aide de différentes techniques analytiques (microscopie optique, MEB-EDS, spectroscopie Raman, micro-diffraction des rayons X). Dans un second temps la même approche analytique a été suivie pour les patines protégées avec les deux types de traitement considérés. Enfin une remise en corrosion de tous ces échantillons est en cours (montage développé au LAPA) en utilisant des traceurs isotopiques ( $^{13}\text{C}$ ,  $\text{D}_2\text{O}$  et  $^{18}\text{O}$ ) qui seront par la suite détectée en TOFSIMS et à l'aide d'une microsonde nucléaire. Ce dernier travail permettra de préciser les mécanismes chimiques et de transport pour les deux traitements.

Kosec T., Legat A., Milošev I. 2010. The comparison of organic protective layers on bronze and copper. *Progress in Organic Coatings* 69:199-206.

Robbiola L., Christian F., Pennec S. 1993. New model of outdoor bronze corrosion and its implications for conservation. Pages 796-802. ICOM Committee for Conservation, 10th Triennial meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993: preprints.

Rocca E., Mirambet F. 2007. Corrosion inhibitors for metallic artefacts: temporary protection. *Corrosion of metallic heritage artefacts—investigation, conservation and prediction for long-term behaviour* 48:308-334.

Texier A., Geffroy A.-M., Syvilay D., Brocard-Rosa T. 2014. Les cires microcristallines dans la protection de la statuaire en cuivre et alliage de cuivre exposée en extérieur. Paper presented at Outdoor metallic sculpture from the XIXth to the XXth century: identification, conservation, restoration; 4-5 December, INP, Paris.

### Eléments biographiques

Emilande Apchain a obtenu un Master 1 en Chimie à l'Université Pierre et Marie Curie et un Master 2 Matériaux du Patrimoine dans l'Environnement à l'Université Paris-Est Créteil. Après avoir effectué un stage de Master 1 au Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF) et un stage de Master 2 au Laboratoire d'Archéologie Moléculaire et Structurale (LAMS) elle est depuis 2014 doctorante au Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (LAPA).

## Table ronde : Méthodes et matériaux

### Les accélérateurs de particules au service du Patrimoine Culturel

Les petits accélérateurs de particules de quelques mégavolts ont été développés à l'origine pour la physique nucléaire, puis par la suite, abandonnés au profit d'accélérateurs plus puissants. Leur intérêt a cependant ressurgi dans le domaine des sciences des matériaux où ils sont employés comme sources d'ions pour différentes techniques spectrométriques.

Depuis une trentaine d'années, le Patrimoine Culturel bénéficie de l'apport de ces techniques dans deux directions principales. D'une part, les accélérateurs sont utilisés pour la caractérisation élémentaire des matériaux grâce aux méthodes d'analyse par faisceau d'ions. Ces techniques IBA (Ion Beam Analysis) regroupent les méthodes PIXE, RBS, NRA et ERDA\* qui permettent la détection et la quantification de tous les éléments du tableau périodique. D'autre part, lorsque l'accélérateur est couplé à un spectromètre de masse, la méthode par AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*) donne accès aux analyses isotopiques et notamment permet de séparer les différents isotopes du carbone.

Ces techniques ont contribué au développement de deux volets importants de l'archéométrie et des sciences appliquées au Patrimoine Culturel :

- la caractérisation des matériaux anciens et précieux par des analyses non destructives qui déterminent la composition élémentaire des métaux, céramiques, verres, pigments à des fins d'authentification, de conservation et d'une meilleure connaissance des savoir-faire anciens (recettes, procédés, provenance des matières premières, usages...) [1-3] ;
- la datation de vestiges organiques (os, bois, tissus, ...) jusqu'à 45000 ans par la mesure du carbone 14 par spectrométrie de masse [4-6].

Différents résultats seront présentés afin de montrer la diversité des applications possibles de ces techniques.

[1] The dedicated accelerator-based IBA facility AGLAE at the Louvre, M. Menu, Th. Calligaro, J. Salomon, G. Amsel, J. Moulin, Nucl. Instr. and Meth. B 45, 1990, 610.

[2] IBA Techniques: Useful Combinations for the Characterization of Cultural Heritage Materials, L. Beck, L. Pichon, B. Moignard, Th. Guillou, Ph. Walter, Nucl. Instr. and Meth. B 269, 2011, 2999.

[3] Recent trends in IBA for cultural heritage studies, L. Beck, Nucl. Instr. and Meth. B 332, 2014, 439.

[4] Technique d'analyse par Spectromètre de Masse par Accélérateur, C. Moreau, Spectra Analyse n°292, 2013, 46.

[5] Palaeolithic paintings: Evolution of prehistoric cave art, H. Valladas et al., Nature 413, 2001, 479

[6] Hélène Valladas, cet atelier.

\* PIXE: Particle induced X-ray emission, RBS: Rutherford backscattering spectrometry, NRA: Nuclear reaction analysis, ERDA: Elastic recoil detection analysis

### Eléments biographiques

Lucile Beck est Docteur en physique des matériaux. Sa thèse s'articule autour du développement de méthodes nucléaires pour la caractérisation non destructive d'objets archéologiques, notamment pour l'étude de l'orfèvrerie antique (techniques de placage et de soudure). Ingénieur-chercheur au CEA depuis 1991, elle dirige actuellement la Plateforme Nationale LMC14 (Laboratoire de Mesure du Carbone 14) à Saclay. De 2005 à 2010, elle a été en charge d'études sur les monnaies, les peintures et les pigments au Centre de recherche et de restauration des musées de France à Paris. Lucile Beck est l'auteur de 80 articles environ.

## Poster

### Fabrication et usage des armures médiévales, étude interdisciplinaire

Dans le contexte de la guerre de Cent Ans puis de celles d'Italie, la pratique de la guerre conduit à l'une des formes de consommation massive des armures et donc des aciers dont elles sont composées. A ce titre, l'étude de la fabrication et du commerce des armures de la fin du Moyen Âge jusqu'au début de l'époque moderne constitue un observatoire de premier ordre pour saisir à la fois le dynamisme et la complexité des marchés européens (circulation et échange), les conditions de production d'un objet de luxe (élaboré dans différents centres européens de grande renommée), qui est aussi un produit de grande consommation et d'usage courant (armures de troupes).

Pourtant l'étude de la production et de la distribution de ces objets complexes et composites connaît encore des zones d'ombre. On s'interroge sur les gestes et les savoirs techniques, en particulier tacites, que leur réalisation implique ; sur la circulation de ces savoirs d'un atelier à l'autre et leur codification ; sur la nature et la qualité précise du métal utilisé ; sur les réseaux d'approvisionnement des armuriers et les conditions de diffusion des objets. Toutes ces questions peuvent aujourd'hui trouver des éléments de réponse dans une démarche croisée entre archéométrie et histoire, relevant d'une pratique raisonnée de la pluridisciplinarité.

Un corpus composé d'un ensemble d'armures produites dans les grands centres européens et notamment ceux d'Italie du Nord et d'Allemagne du Sud a ainsi été formé grâce à la collaboration mise en place avec la Wallace Collection (Londres) et le musée du Louvre. Ce premier corpus de pièces muséales sera enrichi par un second, constitué d'armure de troupe retrouvées en contexte archéologique et issues de régions potentiellement productrices d'armures pour lesquelles les recherches archéométriques ont pu établir une signature chimique à partir de l'analyse des déchets trouvés sur les sites de production de métal à savoir la Lorraine, la Lombardie, l'Ariège et la Normandie. Ceci dans le but de déterminer et de caractériser des éventuelles productions locales.

Une partie des échantillons a commencé à être analysée selon les modes opératoires développés au NIMBE/LAPA (métallographie, analyse MEB-EDS, La-ICP-MS). Les analyses métallographiques menées vont permettre de déterminer la nature des matériaux (fer, acier, fer phosphoreux, acier trempé, recuit etc.). Toutefois il apparaît qu'une approche spécifique liée à la faible taille des inclusions à sonder au sein du métal afin de remonter à la signature chimique du minerai employé doit être mise en place en adaptant les méthodologies précédemment développées (Leroy, 2011). Ces investigations permettront à terme, de déterminer les procédés de réduction par analyse des inclusions (Disser, 2014) mais également l'origine des aciers pour chacune des pièces analysées (signature chimique en élément traces et traitement multivariées) par comparaison avec les signatures chimiques des sites de production déjà caractérisés (Base De Données LAPA/NIMBE). Sur les pièces n'autorisant pas le prélèvement, la diffraction de neutrons sera mise en œuvre. Elle permettra de cerner (par décomposition Rietveld des diagrammes obtenus) la nature du matériau et des éventuels traitements thermiques, ce qui pourra répondre à certaines des questions évoquées précédemment.\*

Philippe Dillmann, Liliane Hilaire et Catherine Verna, « Les aciers avant Bessemer », dans *L'acier en Europe avant Bessemer*, Philippe Dillmann, Liliane Hilaire et Catherine Verna (éd.), Toulouse, 2011, p. 6-56.

Alexandre Disser et Philippe Dillmann, "Iron reinforcements in Beauvais and Metz Cathedrals: from bloomery or finery? The use of logistic regression for differentiating smelting processes", *Journal of Archeological Science*, 2014, vol. 42, p. 315-33.

Alan Williams, *The Knight and the Blast Furnace: A History of the Metallurgy of Armour in the Middle Ages & the Early Modern Period*, Leiden, 2002.

Stéphanie Leroy, Alan Williams et Philippe Dillmann, « First examinations of slags inclusions in medieval armours by confocal SR-  $\mu$ -XRF and LA-ICP-MS », *Journal of Archeological Science*. 2011, vol. 26, p. 1078-1087.

**Session : Grandes installations**

**La plateforme de recherche IPANEMA et l'infrastructure E-RIHS**

Les matériaux anciens présentent une complexité intrinsèque liée à leur hétérogénéité. Leur connaissance approfondie est néanmoins essentielle en archéologie, paléontologie, pour l'étude du patrimoine culturel et des paléo-environnements. Leur étude requiert de forts échanges interdisciplinaires, et la mise au point de méthodologies à même de dépasser des approches « moyennantes », pour bénéficier du potentiel attaché à l'étude fine de cette hétérogénéité intrinsèque.

Ces problématiques sont au cœur de la création par le CNRS et le ministère de la Culture et de la Communication, en partenariat avec le Muséum national d'Histoire naturelle et des institutions internationales, de la plateforme européenne de recherche IPANEMA (USR 3461) en 2010 sur le site du synchrotron SOLEIL. IPANEMA est un laboratoire de développement de méthodes avancées de caractérisation des matériaux anciens, et d'accompagnement de recherches synchrotron avec des utilisateurs externes hébergés sur la plateforme. Pour ce faire, IPANEMA développe et met à disposition un ensemble de techniques pour préparer les prélèvements, étudier artefacts et échantillons, analyser statistiquement les jeux de données collectées. IPANEMA travaille avec une quinzaine de lignes sur grands instruments, à SOLEIL et par le monde. IPANEMA est directement impliquée dans la mise en place de la ligne synchrotron PUMA (Photons utilisés pour les matériaux anciens), une ligne d'imagerie de rayons X sans équivalent au niveau international par son champ d'application.

Fin 2015, la Commission européenne a annoncé la mise en place de l'infrastructure European Research Infrastructure for Heritage Science, dont l'un des pôles sera localisé sur le plateau de Saclay (coordination française : C2RMF, IPANEMA). Ce développement intègre les deux composantes de soutien aux utilisateurs européens et de recherche méthodologique innovante couplée. Nous en présenterons les grands déterminants.

P. Gueriau, S. Bernard, and L. Bertrand. Synchrotron advanced imaging of paleontological specimens. *Elements*, 12(1), Feb 2016. In press.

L. Bertrand, S. Bernard, F. Marone, M. Thoury, I. Reiche, A. Gourrier, P. Sciau, and U. Bergmann. Emerging approaches in synchrotron studies of materials from cultural and natural history collections. *Top. Curr. Chem.*, 2015. In press.

L. Bertrand, M. Cotte, M. Stampanoni, M. Thoury, F. Marone, and S. Schöder. Development and trends in synchrotron studies of ancient and historical materials. *Phys. Rep.*, 519(2): 51–96, Oct. 2012.

**Eléments biographiques**

Loïc Bertrand est chercheur au synchrotron SOLEIL. Ses travaux portent sur l'étude de propriétés physico-chimiques de matériaux anciens par méthodes de micro-imagerie. Il développe des approches méthodologiques à partir des rayonnements synchrotron X, UV-visible et infrarouge. Il s'intéresse particulièrement à l'extraction d'informations sur le processus de vieillissement à long terme et la préservation exceptionnelle de vestiges biologiques et de matériaux issus de milieux archéologiques et paléontologiques à micro-échelle (micro-taphonomie), aux techniques de fabrication utilisées dans le passé, et à la provenance de matières premières employées pour la production d'artefacts archéologiques. Il dirige depuis 2010 la plateforme dédiée aux matériaux anciens IPANEMA du CNRS, du ministère de la Culture et de la Recherche, et de l'UVSQ, qu'il a initiée sur le plateau de Saclay. Il co-coordonne la participation française à l'infrastructure européenne E-RIHS.



## Session : Matériaux et conservation

### Identification de substances naturelles organiques par CG/SM

Les substances naturelles organiques sont présentes dans de très nombreux objets de notre patrimoine culturel : résidus alimentaires dans des céramiques, éléments entrant dans la fabrication d'outils, matériaux d'embaumement, éléments décoratifs... Ces substances correspondent généralement à des mélanges complexes susceptibles d'évoluer avec le temps et les conditions de conservation. Par ailleurs, elles sont souvent mélangées à d'autres substances. Pour identifier les substances présentes dans un objet du patrimoine, il est donc nécessaire d'obtenir des informations structurales à l'échelle moléculaire. La spectrométrie de masse est bien adaptée à cet objectif [1]. De plus, elle peut être couplée à des techniques séparatives comme la chromatographie en phase gazeuse ou en phase liquide. La technique d'analyse est destructive mais se contente de plus en plus de microéchantillons.

Au LETIAM, depuis une vingtaine d'années, nous utilisons, dans ce domaine, le couplage chromatographie en phase gazeuse/ spectrométrie de masse (CG/SM) et nous avons mis au point plusieurs méthodes de préparation de l'échantillon permettant de caractériser au mieux plusieurs familles de substances naturelles abondamment représentées dans les objets du patrimoine.

La micro-extraction sur phase solide (SPME) est bien adaptée pour mettre en évidence, sélectivement, les composés volatils piégés dans une matrice complexe, en particuliers les terpènes caractéristiques de certaines résines végétales [2]. L'extraction par solvant, suivie d'une réaction de silylation, et d'une analyse CG/SM à haute température permet d'observer les marqueurs de résine et de corps gras sans les dégrader [3]. Les gommes végétales sont composées de polysaccharides non directement analysables en CG/SM. Une réaction de méthanolyse acide permet de dépolymériser ces substances et une réaction consécutive de silylation permet de rendre volatils les monomères obtenus. Cette méthode permet de caractériser également les tannins végétaux, les cires, les huiles et les graisses [4].

Enfin, le couplage de la CG/SM avec un pyrolyseur permet de caractériser les substances qui résistent à un traitement chimique comme c'est le cas pour les laques asiatiques [5].

Les résultats d'analyses effectuées sur différents objets permettront d'illustrer l'intérêt des différentes méthodes de préparation d'échantillon.

- 1- Organic Mass Spectrometry in Art and Archaeology, M. P. Colombini and F. Modugno Editors, John Wiley & Sons, Ltd, (2009) 261-302.
- 2- Headspace solid phase microextraction for screening for the presence of resins in Egyptian archaeological samples. S. Hamm, J. Bleton, A. Tchaplà, Journal of Separation Sciences, 27 (2004) 235-243.
- 3- Challenging wax-cast figurine serial production unravelled by multi-analytical techniques. A. Le Gac, T. I. Madeira, M. S. Pereira, J. Santos, L. Piorro, L. Dias, M. Manso, J. Bleton, S. Longelin, C. M. Prazeres, J. Mirao, A. Candéias, J. G. Marques, M. L. de Carvalho, Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 30 (2015) 790-812.
- 4- Characterisation of embalming materials of a mummy of the Ptolemaic era. Comparison with balms from mummies of different era. A. Tchaplà, P. Mejanelle, J. Bleton, S. Goursaud, Journal of Separation Sciences, 27 (2004) 217-234.
- 5- Caractérisation physico-chimique de laques de Mongolie du Ier siècle ap. J.-C. L. Raffaëly, E. Pons, N. Lacoudre, J. Bleton, S. Vo Duy, A. Tchaplà, ArchéoSciences, Revue d'Archéométrie, 29 (2005) 69-81

### Eléments biographiques

Jean Bleton, docteur de l'Université Paris Sud, spécialité chimie organique, rejoint le LETIAM, en 1988, en tant qu'ingénieur d'études. Il s'y spécialise dans l'analyse de mélanges complexes par CG/SM. Ses premiers travaux dans le domaine du patrimoine concernent l'analyse des encres métallo galliques et il participe à différents projets de recherche dépendant du Ministère de la Culture.

Ses collaborations avec plusieurs musées nationaux (Guimet Lyon et Paris, Louvre) et laboratoires de recherche spécialisés dans le domaine (C2RMF, CRCC, LMHN et LRMH) lui permettent ensuite d'étendre ses compétences à l'analyse d'objets très variés.

## Session : Matériaux et conservation

### Etudes sur les stucs italiens de la Renaissance

Aborder l'étude d'une œuvre d'art par les matériaux constitutifs, leur nature, leur mise en œuvre, est une entreprise souvent complexe qui nécessite des regards croisés de spécialistes aux approches complémentaires.

En effet, parler de la matérialité d'une œuvre, ce n'est pas se contenter d'un éventail plus ou moins ouvert d'analyses physico-chimiques, c'est aussi et surtout explorer les chemins de la création pour comprendre les raisons imbriquées du choix et des traitements de chaque constituant matériel élu : sollicitations liées aux modes de production, volonté des commanditaires, sensibilité de l'artiste, impératifs divers, esthétiques, techniques, économiques et culturels...

Outre ces préoccupations de recherches, l'étude des reliefs de la Renaissance italienne en terre cuite menée de longue date par le C2RMF et le musée du Louvre, et de ceux en stuc de la même période, permet d'ouvrir une autre voie de réflexion : comment, par une diffusion à grande échelle, des reproductions de pièces originales célèbres, créées par les plus grands sculpteurs ; Donatello, Verrocchio, Desiderio da Settignano, Antonio Rossellino..., pour des commanditaires publics ou privés prestigieux seront-elles mises à la portée de populations bien plus larges, pénétrant ainsi dans un grand nombre de demeures ?

Une exploration comparative précise de la matérialité des œuvres et des reproductions peut seule répondre à cette question. Il s'agira de mettre en évidence les différences de qualité et de mise en œuvre des matériaux, depuis les matières premières constituant le support, leurs traitements, leur mise en œuvre jusqu'à leurs riches et diverses polychromies. Il conviendra également de rechercher les divers circuits de commercialisation

Cependant, avant de parvenir à cette synthèse, il faut mettre en place une stratégie analytique respectueuse de la déontologie liée aux œuvres d'art. Si les méthodes d'études sont assez bien connues et validées pour la terre cuite, il n'en est pas de même pour le stuc, matériau composite très peu étudié dans ce domaine et pour cette époque. C'est pourquoi nous nous proposons de présenter les mises au point méthodologiques nécessaires, les difficultés auxquelles nous sommes confrontées et les nouvelles pistes de recherche que nous explorons pour caractériser finement ce matériau particulier, mettre en évidence les procédés non invasifs de mise en œuvre, déterminer les sources d'approvisionnement. Nous illustrerons les premiers résultats à travers l'étude de plusieurs modèles de reliefs en terre et en stuc de Rossellino et de DellaRobbia et les confronterons à quelques rares écrits d'époque.

### Eléments biographiques

Marc Bormand est conservateur en chef au département des Sculptures au musée du Louvre, en charge des collections de sculptures italiennes du Moyen-Age et de la Renaissance. Divers co-commissariats d'expositions et publications lui ont permis de développer une bonne connaissance de la sculpture italienne de la Renaissance : Les DellaRobbia. Sculptures en terre cuite émaillées de la Renaissance italienne à Nice et à Sèvres en 2002-2003 ; Le printemps de la Renaissance. La sculpture et les arts à Florence à Florence et Paris en 2013-2014. La codirection avec A. Bouquillon des Journées d'études consacrées aux DellaRobbia. Dix années d'études (musée du Louvre et le C2RMF) en 2009 et des Journées d'études Terres cuites de la Renaissance, matière et couleur en 2011 et de leur publication a permis de développer une collaboration étroite sur l'étude des matériaux de la sculpture italienne de la Renaissance.

Anne Bouquillon est ingénieure de recherches au C2RMF. Elle est titulaire d'un doctorat en géologie et d'une HDR en sciences physiques. Elle dirige le groupe « objets » du département recherche. Spécialisée dans l'étude des céramiques, elle a pu développer en collaboration étroite avec plusieurs musées et plus spécialement avec le département des sculptures du musée du Louvre, des recherches ciblées sur les sculptures italiennes de la Renaissance.

**Table ronde : Corpus et séries**

**Gestion des données scientifiques et politique d'archivage des laboratoires : production, interopérabilité, réutilisation**

La communication s'attachera à dresser le bilan de l'évolution des pratiques d'archivage des laboratoires depuis les années 1990, époque à partir de laquelle la thématique émerge dans la littérature spécialisée. Elle proposera, à partir de quelques exemples, une réflexion centrée sur les enjeux actuels de la mise en place de politiques d'archivage et de la préservation des données scientifiques. Trois thèmes seront privilégiés : la question de la production et de l'archivage des métadonnées / données, celle de l'interopérabilité et celle enfin de la réutilisation des données produites dans le cadre de la recherche publique.

**Eléments biographiques**

Pierre Chastang est professeur d'histoire du Moyen Âge à l'UVSQ, Directeur du laboratoire DYPAC, ancien directeur du master Métiers de la culture-Archives (<http://www.dypac.uvsq.fr/mchastang-pierre-89945.kjsp?RH=1354723530933>).

Pauline Lemaigre-Gaffier est MCF en histoire moderne à l'UVSQ, directrice du Master Gestion de l'archivage (<http://www.dypac.uvsq.fr/lemaigre-gaffier-pauline-291811.kjsp?RH=1354723530933>).

**Session : Méthodes et données**

**Nouvelles données et matériaux anciens : une intersection non singulière**

Bien que très divers, les matériaux anciens, qu'ils soient étudiés dans le domaine du patrimoine culturel, de l'archéologie ou de la paléontologie, possèdent des caractéristiques communes quant à leur étude à travers les techniques de caractérisation physico-chimique. Leur nature hétérogène multi-échelle, le fait qu'ils soient le produit de plusieurs processus avec des temps caractéristiques très différents, la faible connaissance *a priori* que nous en avons initialement en font des sujets idéaux pour les techniques d'imagerie spectrale, surfacique et/ou volumique, toutes techniques générant un volume très important de données. Ces matériaux étant non reproductibles en laboratoire, il devient impossible de les optimiser pour simplifier l'exploitation des mesures, et le développement de méthodes d'analyse des données devient le levier principal pour extraire autant d'informations que possible des échantillons. Les particularités des problématiques autant que des échantillons et des données produites sont autant de motivations pour développer des méthodes mathématiques originales dans les champs de l'analyse statistique et/ou du traitement du signal. Alors que cette recherche mathématique est pilotée par l'application, les résultats théoriques fournissent les garanties nécessaires pour contrebalancer la faible connaissance *a priori* sur les systèmes.

**Eléments biographiques**

Après une formation initiale axée sur les mathématiques et la physique, Serge Cohen a fait un doctorat en biologie structurale pour compléter sa formation en vue d'effectuer sa recherche sur l'amélioration des méthodes mathématiques d'extraction de données en biologie structurale. Depuis 2007, il a porté son expérience pour développer des méthodes de traitement du signal et de statistiques adaptées aux spécificités de l'étude des matériaux anciens sur synchrotron. Son approche combine pragmatisme, utilisant les problématiques réelles des domaines d'applications pour orienter son activité, et recherche de résultats théoriques qui seuls permettent de fournir les garanties indispensables quand les objets étudiés sont insuffisamment connus *a priori*.

Poster

**Interactions microorganismes-matériaux du patrimoine : approches analytiques**

L'étude des interactions microorganismes-matériaux du patrimoine s'inscrit dans le cadre de la préservation du patrimoine. En effet, l'adhérence microbienne puis la formation de biofilm sur ces matériaux participe à leur détérioration, on parle de biodétérioration. Ce recouvrement peut induire un changement de couleur (verdissement, noircissement, etc.), une érosion par attaque biochimique et mécanique, une dissolution par attaque acide. Les mécanismes de cette biodétérioration mettent en jeu les cellules microbiennes via leur activité mais également les exopolymères qu'elles sécrètent. Par opposition à ces phénomènes de biodétérioration, le recouvrement microbien de matériaux peut induire leur bioprotection dans certaines circonstances, en les isolant de phénomènes climatiques agressifs (pluie, vent, rayonnement solaire). La capacité d'un matériau ancien à être colonisé par des microorganismes dépend de très nombreux facteurs liés aux propriétés du matériau et à son état de conservation, on parle de bioréceptivité. Au-delà de ces phénomènes naturels, le développement de la biotechnologie permet de tirer profit de l'activité de différents microorganismes pour développer des biotraitements de matériaux du patrimoine. Ainsi, l'activité biocalcifiante bactérienne peut être mise à profit pour consolider des plâtres et des pierres détériorées, les activités enzymatiques de différentes espèces bactériennes peuvent être mises à profit dans des biotraitements destinés à enlever des sulfates ou des nitrates mais aussi à effacer des graffitis de la surface de monuments. Cette présentation a pour objet de présenter des problématiques et des questions scientifiques inhérentes à l'étude des interactions entre microorganismes et matériaux du patrimoine, à présenter des exemples d'études et de techniques analytiques mises en œuvre dans ce contexte et à discuter des besoins de développements d'approches expérimentales pluridisciplinaires.

**Eléments biographiques**

Docteur de l'Université d'Auvergne en Microbiologie en 1995 Lauréat du prix jeune chercheur de la ville de Clermont-Ferrand en 1998 Maître de Conférences en Microbiologie à l'UFR Sciences et Techniques de l'Université de Cergy-Pontoise de 1997 à 2009 Soutenance de l'Habilitation à Diriger des Recherches en 2002 à l'Université de Cergy-Pontoise Professeur des Universités en Microbiologie à l'IUT de l'Université de Cergy-Pontoise depuis 2009 Professeur première classe Responsable du groupe thématique BCMI (Biofilm et Comportement Microbien aux Interfaces) au sein du laboratoire ERRMECe Co-organisateur du colloque européen ECBSM (European Conference on Biodeterioration of Stone Monuments) à l'Université de Cergy-Pontoise en 2014

**Table ronde : Méthodes et matériaux**

**10 ans de recherches interdisciplinaires sur les métaux archéologiques sur le plateau de Saclay**

En complément des approches historiques et archéologiques, les études physico-chimiques sur les artefacts archéologiques ou historiques constituent une source à part entière, qu'il convient de croiser avec les deux premières pour produire un discours historique global et systémique alliant les questionnements tirés de la matérialité de l'objet à ceux portant sur les aspects anthropologiques, culturels et symboliques. Depuis 10 ans, dans un dialogue interdisciplinaire exigeant avec l'ensemble des disciplines concernées par l'histoire économique et techniques de la métallurgie (archéologie, histoire, chimie, métallurgie, sciences analytiques,...), les programmes de recherches menés au Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération (LAPA-CEA/CNRS) situé sur le site du CEA de Saclay, abordent des problématiques sur la production, l'usage et les échanges des métaux dans les sociétés anciennes (de l'Age du Fer à la fin du Moyen-Age, en Europe occidentale et en Asie). Nous nous proposons, dans cette communication de dresser un bref bilan prospectif de ces études. Celui-ci se divisera en trois parties une analyse à teneur historiographique sur la spécificité des approches interdisciplinaires en histoire des techniques et les méthodologies employées en archéométrie, basées sur l'emploi de techniques de la science des matériaux mais également de méthodes d'analyse permettant de doser les éléments à l'état de traces dans des micro-volumes et sur l'exploitation statistique des résultats.

- L'exposé de quelques problématiques phares en histoire de la métallurgie (gestions des ressources et matières premières, production, apparition, diffusion des procédés, des gestes techniques et des savoirs, valeur et circulation des métaux) à travers l'exemple de quelques cas d'études où les données des sciences archéologiques sont intégrées à une réflexion globale. Les exemples porteront sur les réseaux d'échanges et la place des métaux aux âges du fer, sur l'apparition et la diffusion d'un nouveau procédé sidérurgique au Moyen-Age, sur la production des métaux non ferreux au Moyen-Age et la place des métaux ferreux dans les cathédrales gothiques médiévales, et de manière générale sur les notions de qualité en relation avec l'usage des métaux.
- Une tentative de dresser des perspectives sur les enjeux importants de la recherche dans le domaine et qui pourraient donner lieu à de nouvelles collaborations interdisciplinaires au sein de l'UPS, basées sur la mise en commun des approches et données existantes et de l'apport potentiels d'autres laboratoires.

Celles-ci pourraient porter sur le développement de nouvelles méthodes statistiques pour l'exploitation des résultats et les études de provenance, sur celui de nouvelles méthodes analytiques pour la détection de teneurs basses dans des micro volumes de matière, la mise en place de programmes spécifiques intégrant les métaux dans d'autres perspectives historiques et anthropologiques (histoire des sciences ? de l'art?), le développement d'approches en modélisation permettant de tester des hypothèses sur l'organisation des sociétés ou la diffusion des procédés et des savoirs,...

**Eléments biographiques**

Philippe Dillmann est Directeur de Recherche au CNRS. Il est docteur et ingénieur en sciences des matériaux et "Habilité à Diriger des Recherches". Il est responsable du réseau CAI-RN Archéométrie de la Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS et dirige le Laboratoire Archéomatériaux et Préviation de l'Altération (CNRS/CEA) Il mène des recherches en archéométrie qui visent à comprendre la fabrication et les voies d'échange, la datation des objets métalliques dans les sociétés anciennes. Ses recherches portent également sur l'altération et la conservation des objets métalliques du patrimoine.

## Poster

### **Anonymes, ordinaires et utilitaires : recontextualisation et matérialité des chandeliers médié- vaux et modernes**

Comment connaître et déterminer la provenance d'un objet du quotidien utilisé depuis toujours, indispensable et donc fabriqué en très nombreux exemplaires, dont la banalité l'a privé de véritable valeur, et dépourvu de la moindre marque ou inscription permettant son identification, sa datation ou son affiliation ?

C'est la problématique qui entoure la production des ustensiles mobiles de luminaire qu'ils aient été utilisés en contexte domestique ou religieux. Les chandeliers fabriqués en bronze, en laiton et en cuivre figurent en effet parmi la multitude de marchandises produites par les ateliers de fondeurs dont les nombreux modèles commercialisés se sont adaptés à la fois aux exigences de rentabilité et à une demande qui ne cessait de croître. Destinés au début du Moyen Âge aux garnitures d'autels, ils se sont progressivement introduits dans les demeures seigneuriales puis paysannes comme ustensiles domestiques plus fiables, plus durables et plus esthétiques que les dispositifs précaires d'éclairage alors en vigueur (torches, lampes en terre cuite, chandelles fichées dans les murs, lumière du foyer). Cette popularisation a changé à la fois la perception et le statut de l'objet. Révérencieux et symbolique au sein de l'église, il devient utilitaire et ordinaire dans la demeure et fréquemment omis, tant sa valeur est moindre, dans les inventaires de biens domestiques. S'il était ainsi d'usage pour l'artisan de signer le chandelier qui trônait sur le maître autel afin de faire connaître son travail ou pour le fidèle d'y inscrire son nom pour professer sa foi, les fondeurs se sont abstenus de marquer les objets destinés aux particuliers, trop nombreux, trop simples et trop communs pour juger utile de les distinguer.

Ces particularités en font des objets qui posent donc de sérieux problèmes de recontextualisation pour deux raisons essentielles : l'absence récurrente de marques ou d'inscriptions permettant facilement de les dater ou d'identifier leur fabricant et le peu de sources historiques dont on dispose pour les documenter. En effet, si les représentations iconographiques et certaines sources écrites permettent d'attester la présence, l'usage et la diversité des modèles et des formes de ces objets, elles s'avèrent très insuffisantes lorsqu'il s'agit par exemple d'aborder des problématiques techniques ou commerciales. C'est pourquoi, les processus de commande tout comme l'évaluation du prix d'une de ces pièces à une époque donnée est généralement très difficile. La mise en évidence des techniques utilisées ou des pratiques d'atelier l'est tout autant. Le caractère sériel de ces objets, tout comme la multiplicité des modèles existants ont sans doute contribué au peu d'intérêt manifesté par les chercheurs pour ce domaine de recherche ces dernières années, rebutés probablement par la perspective d'un travail de collecte fastidieux et peu documenté. La dispersion des objets et l'état de conservation des trouvailles archéologiques sont également des problématiques qui rendent leur étude malaisée.

La difficulté de retracer l'histoire de ces objets, de la conception à l'utilisation au quotidien et d'en apporter les preuves matérielles nous contraint à avoir recours à l'interdisciplinarité pour tenter d'apporter des réponses concrètes aux problématiques qu'ils posent en étudiant l'objet autrement. La comparaison morphologique des gabarits, l'étude des collections, l'élaboration d'une typologie, le dépouillement des archives, la recherche iconographique, la détermination physico-chimique de la composition des alliages sont autant de méthodes envisagées pour pallier le manque de sources historiques en se concentrant sur la matérialité de l'objet.

Cette communication a donc pour ambition de présenter les problématiques complexes qui entourent l'étude d'un objet domestique incontournable des sociétés anciennes dont les enjeux patrimoniaux et matériels offrent de nouvelles perspectives de recherche.

### **Eléments biographiques**

Anne-Clothilde Dumargne commence sa thèse en 2014 à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, en partenariat avec la Fondation des Sciences du Patrimoine (labEx PatriMa). Son projet s'attache à envisager les dimensions historiques, sociales, techniques, culturelles et économiques qu'implique l'utilisation d'un objet de la vie quotidienne dans les sociétés anciennes dans un souci de recontextualisation afin de mettre en évidence les prescriptions, les besoins, les modèles et les transformations qui ont présidé à l'évolution d'un objet utilitaire incontournable des époques médiévale et moderne. Fondamentalement interdisciplinaire, cette étude fait appel au domaine de la culture matérielle en travaillant à partir des sources écrites, archéologiques et iconographiques ainsi qu'à la caractérisation physico-chimique des matériaux.

**Session : Patrimoine et représentations sociales**

**Le vrai saisi par le droit : la question des multiples en matière d'œuvres d'art**

La question posée s'inscrit dans la thématique plus générale de la définition de l'authenticité d'une œuvre d'art. Pour opérer une telle définition, il est nécessaire de croiser les normes juridiques, en particulier les qualifications pénales applicables dans ce domaine et les notions et pratiques des professionnels de l'art : artistes, galeristes, musées, experts, restaurateurs. Comment le droit saisit-il le « vrai » en art ? Cette question est au cœur de la création artistique et une partie des réponses est liée aux critères juridiques adoptés, notamment à ceux d'unicité et d'originalité d'une œuvre. De ce point de vue, la création de multiples d'une œuvre d'art oblige le droit à élargir ses critères et à prendre parti sur des modes de création artistique différents des modes habituellement admis. Par exemple, des œuvres telles que les lithographies sont par nature multiples alors que d'autres ne le sont pas. Il est donc possible de présenter les lignes directrices suivies par le droit en matière de multiples puis d'illustrer la question en s'attachant au régime particulier des fontes de bronze. Ces œuvres sont-elles destinées à être multipliées ? Si oui, à quelles conditions sont-elles considérées comme authentiques ? Quelles sont les techniques de multiplication d'un bronze qui permettent de sauvegarder l'originalité de l'œuvre et partant son authenticité ? Peut-on modifier licitement une œuvre par le biais de multiples en lui adjoignant par exemple un autre matériau ? Des fontes posthumes, c'est-à-dire réalisées après la mort de l'artiste, peuvent-elles être considérées comme authentiques ? Les réponses à ces questions seront apportées en utilisant les qualifications pénales de faux, de contrefaçon et d'escroquerie, en analysant la jurisprudence et en présentant le point de vue de professionnels fondeurs et d'ayants droit d'artistes.

- CARON Christophe, Le droit d'auteur confronté au faux artistique, note sous CA Paris 16 novembre 2012, *Communic. Comm. électr.*, mai 2013, n° 5
- HENAFF Pierre, Les lacunes de la loi de 1895 sur le faux artistique, *Communic. Comm. électr.* Février 2006, n° 5
- LEQUETTE-de KERVONAEL Stéphanie, L'authenticité des œuvres d'art, Thèse Paris I, LGDJ 2006
- LUCAS-SCHLOETTER Agnès, La contrefaçon artistique : état des lieux, *Communic. Comm. électr.* Février 2011, n° 3
- Cass. crim., 6 octobre 1999, n° 98-82769
- Cass. crim., 22 mai 2002, n°01-86156
- CA Paris, 27 octobre 2004, n° 1999/21280, arrêt La Vague, Camille Claudel
- CA Paris 18 janvier 2013, n° 10/12650

**Eléments biographiques**

Elisabeth Fortis, professeure de droit privé à l'Université Paris Ouest Nanterre La défense, en délégation à l'ISP Cachan. Directrice du Master 2 de droit pénal et sciences criminelles. Membre fondateur de la Société internationale pour la recherche en droit du patrimoine culturel et droit de l'art. Sujet de recherche : « la circulation illicite des biens culturels » développé avec le CNRS (ISP Cachan) et des universités européennes (Genève et Milan) depuis plusieurs années.

Marie Cornu, Directrice de recherche CNRS, ISP Cachan, Membre fondateur de la Société internationale pour la recherche en droit du patrimoine culturel et droit de l'art



**Table ronde : Méthodes et matériaux**

**Les matériaux du patrimoine industriel : des sciences historiques aux sciences de l'ingénierie**

En France comme à l'étranger, le nouveau paradigme écologique rend de plus en plus pressant le développement de telles recherches, l'élaboration d'outils et l'invention de nouvelles méthodes, dont l'interdisciplinarité entre SHS et SPI apparaît comme une voie fort prometteuse. Il s'agit d'appréhender la complexité de la problématique des performances thermiques de ces édifices patrimoniaux selon une approche globale visant à analyser, d'une part leur valeur historique, leur rapport à l'environnement et à l'aménagement du territoire, puis d'autre part leurs caractéristiques structurelles. La reconversion patrimoniale suscite de nouvelles manières de penser et de construire le territoire à partir des héritages en place. De plus en plus, les caractéristiques propres au patrimoine industriel tendent à se révéler comme des atouts en accord avec les nouveaux paradigmes économiques et environnementaux. La reconversion patrimoniale amène à renouveler les termes du questionnement, comme à recourir à de nouvelles méthodes de travail sans perdre de vue la cohérence qui doit s'exercer avec les acquis et les enjeux contemporains. Le patrimoine industriel n'est plus seulement le témoin historique d'une époque, d'un style architectural, d'un processus technique. Il recouvre désormais un rôle actif dans la production du territoire. Dès lors, il convient d'analyser la double problématique de la préservation historique de ces objets au titre de support identitaire et mémoriel, puis de leur contribution effective à la grande course environnementale dans le domaine de la performance thermique du bâti existant.

Si l'ambition de ce programme de recherche vise l'échelle nationale, la première phase concerne l'étude d'un corpus de sites industriels implantés en région Bourgogne Franche-Comté afin d'évaluer la faisabilité de telles recherches à plus grande échelle. L'objectif consiste à proposer une méthodologie non destructive destinée à mesurer les performances mécaniques et thermiques de l'architecture industrielle du 19<sup>e</sup> siècle et de la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle. Plus largement, le développement de telles techniques présente un intérêt incontestable du point de vue de la conservation du patrimoine matériel.

Les résultats attendus visent à contribuer à une meilleure connaissance de tout un pan jusqu'alors ignoré du patrimoine en général, et industriel en particulier. La problématique de la reconversion des friches touche l'ensemble de l'Hexagone composé de régions dont l'histoire industrielle a légué sur leurs territoires respectifs des centaines d'hectares de sites désaffectés auxquels sont confrontées de nombreuses collectivités. A terme, ces recherches devraient aider à la constitution d'outils d'aide à la décision, tout en préservant au mieux le patrimoine matériel qui contribue à faire valoir l'identité territoriale, sans pour autant rester en marge de l'actualité, désireux de répondre aux défis environnementaux de notre temps. Ressources patrimoniales, qualité paysagère, performances énergétiques et tenue mécanique sont au cœur du programme en construction.

**Eléments biographiques**

Marina Gasnier est maître de conférences HDR (histoire des techniques - patrimoine industriel) à l'Université de technologie Belfort-Montbéliard, depuis 2005. Rattachée au département des Humanités, elle exerce sa recherche au sein du laboratoire IRTES-RECITS (EA 7274). Elle vient de soutenir son dossier d'habilitation à diriger des recherches à l'Université de Paris 1, sous l'intitulé : *Le patrimoine industriel au prisme de nouveaux défis. Du renouvellement conceptuel au territoire durable*. Depuis 2007, elle est membre de la 72<sup>e</sup> section du CNU (épistémologie et histoire des sciences et des techniques).

Yacine Aït Oumeziane est maître de conférences à l'IUT de Belfort-Montbéliard depuis septembre 2015. Rattaché au Département Génie Civil – Construction Durable (GCCD) et Génie Thermique et Energie (GTE), il exerce sa recherche au sein de l'Institut FEMTO-ST (UMR 6174) - département ENERGIE. Ingénieur diplômé en 2009 de l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique (ENSMA) de Poitiers, il soutient en 2013 un doctorat en Génie Civil, à l'INSA de Rennes – Université Européenne de Bretagne.

Poster

**Les spéléothèmes, matériaux d'étude pour les reconstitutions paléoenvironnementales – Un exemple d'étude du transfert du carbone**

Les spéléothèmes (stalagmites, planchers stalagmitiques essentiellement) sont devenus incontournables dans les études paléoclimatologiques pour diverses raisons parmi lesquelles : leur large répartition sur les continents, la possibilité de les dater précisément par des méthodes radiométriques jusqu'à 450ka voire plus, pouvoir y effectuer de nombreux types d'analyses isotopiques et géochimiques qui renseignent sur le climat et la végétation au-dessus de la grotte (Fairchild and Baker, 2012). En milieu archéologique, les spéléothèmes sont largement utilisés pour donner des jalons chronologiques précieux sur l'histoire géologique du site (fermeture, effondrement) et sur l'occupation humaine de celui-ci (scellement de sols archéologiques, d'œuvres pariétales)(Genty et al., 2005; Genty et al., 2011). L'interprétation des signaux isotopiques ou géochimiques (proxys) mesurés le long de l'axe de croissance des spéléothèmes dépend de la compréhension que l'on a des divers facteurs qui contrôlent ces proxys. Ainsi, des stations automatiques de mesures de paramètres environnementaux installées dans plusieurs cavités, couplées à des suivis isotopiques des eaux d'infiltration donnent des informations sur la saisonnalité dans les grottes, sur les temps de transfert de l'eau d'infiltration, sur l'impact d'un événement extrême etc. (Genty et al., 2014). Sur les spéléothèmes, les analyses sont effectuées sur la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) constitutive de la majorité des échantillons mais aussi sur les molécules piégées dans le réseau cristallin (matières organiques, éléments chimiques) et sur les inclusions fluides :  $^{14}\text{C}$  AMS ; U/Th ; pétrographie ; isotopes stables de la calcite  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  ; isotopes stables des inclusions fluides  $\delta^{18}\text{O}_w$ ,  $\delta\text{D}$  ; éléments chimiques en trace ;  $\Delta 47$ . Après une présentation générale sur les spéléothèmes, sur leur intérêt, sur les méthodes analytiques et les derniers développements, je montrerai un exemple précis sur l'étude du transfert du carbone entre l'atmosphère extérieure ( $\text{CO}_2$ ) et les spéléothèmes ( $\text{CaCO}_3$ ) (Genty et al., 2001 ; Genty and Massault, 1999), en particulier en utilisant les conséquences des essais nucléaires des années soixante comme traceur pour déterminer les sources et les proportions des atomes de C dans  $\text{CaCO}_3$ .

- Fairchild, I., Baker, A., 2012. Speleothem Science. Wiley-Blackwell.
- Genty, D., Baker, A., Massault, M., Proctor, C., Gilmour, M., Pons-Branchu, E., Hamelin, B., 2001. Dead carbon in stalagmites: Carbonate bedrock paleodissolution vs. ageing of soil organic matter. Implication for  $^{13}\text{C}$  variation in speleothems. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65, 3443-3457.
- Genty, D., Blamart, D., Ghaleb, B., 2005. Apport des stalagmites pour l'étude de la grotte Chauvet : datations absolues U/Th (TIMS) et reconstitution paléoclimatique par les isotopes stables de la calcite. *Bull. de la Société Préhistorique Française* 102, 45-62.
- Genty, D., Konik, S., Valladas, H., Blamart, D., Hellstrom, J., Touma, M., Moreau, C., Dumoulin, J.P., Nouet, J., Dauphin, Y., Weil, R., 2011. Multi-methods dating of the Lascaux Cave grotto formation. *Radiocarbon* 53, 479-500.
- Genty, D., Labuhn, I., Hoffmann, G., Danis, P., Mestre, O., Bourges, F., Wainer, K., Massault, M., Van Exter, S., Regnier, E., Orenco, P., Falourd, S., Minster, B., 2014. Rainfall and cave water isotopic relationships in two South-France sites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 131, 323-343.
- Genty, D., Massault, M., 1999. Carbon transfer dynamics from bomb- $^{14}\text{C}$  and  $^{13}\text{C}$  time series of a laminated stalagmite from SW France - Modelling and comparison with other stalagmite records. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63, 1537-1548.

**Eléments biographiques**

Dominique Genty est Directeur de Recherche au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CNRS/CEA/UVSQ UMR 8212 (Gif-sur-Yvette, France) depuis 2000, je travaille sur la reconstitution des climats anciens à partir des spéléothèmes (stalagmites, planchers stalagmitiques essentiellement). J'utilise principalement les isotopes stables de la calcite ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), de l'eau piégée ( $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) et les éléments chimiques (majeurs, trace, terres rares). Une partie importante de mon activité consiste à étudier, en parallèle, les systèmes actuels pour calibrer les relations entre le climat extérieur et les caractères géochimiques des spéléothèmes. Je collabore aussi avec les archéologues, demandeurs de données chronologiques (apportées par les datations U-Th des spéléothèmes) et de données sur les climats anciens contemporains des cultures préhistoriques. Cette coopération nous donne accès à des sites exceptionnels où l'intérêt est de croiser des données géochimiques et archéologiques (ex. Chauvet, Cussac, Lascaux, Teyjat, Villars, Gueldaman (Algérie)).

## Poster

### Craquelures : signature des propriétés mécaniques d'une peinture d'art

Les craquelures dans les peintures n'interviennent pas au hasard mais apparaissent et se propagent en suivant des lois bien définies. Par leur grande variété de morphologies elles constituent depuis plusieurs années l'empreinte digitale d'un tableau [1]. Elles sont également caractéristiques de la matière et des contraintes extérieures qui ont été appliquées à la couche et constituent ainsi un moyen non invasif pour déterminer certaines informations sur la matière utilisée et les méthodes utilisées par les artistes. En effet une couche picturale est un système complexe de par sa géométrie (ensemble stratifié de sous-couches sur un support déformable) et de par sa composition [2].

Le séchage contrôlé de couche de particules colloïdales de propriétés variables constitue un système modèle bien contrôlé permettant de reproduire une grande gamme de morphologies de craquelures. Au cours de la solidification d'une telle couche, des contraintes mécaniques importantes se développent. Ces contraintes sont relaxées par la formation hiérarchique de craquelures [3]. Celles-ci peuvent prendre la forme de germes isolés, ou délimitent des fragments polygonales plus ou moins réguliers dans le plan de la couche [4]. La largeur, la profondeur ainsi que la localisation d'une craquelure dans l'épaisseur de la couche reflète les propriétés mécaniques, les inhomogénéités de celle-ci et le champ de contraintes mécaniques dans l'épaisseur de la couche (connexion d'une craquelure à une craquelure préexistante par exemple).

L'étude de la stabilité d'un réseau de craquelures permet également de donner sous l'effet de contraintes extérieures entrent est un grand intérêt dans le domaine de la conservation des peintures d'art.

- [1] L. Pauchard, V. Lazarus, B. Abou, K. Sekimoto, G. Aitken, C. Lahanier, *Craquelures dans les couches picturales des peintures d'art*, Reflets de la physique 5-9 (2007).
- [2] « La Joconde, essai scientifique » ouvrage collectif sous la direction de C. Lahanier, Codex Images (2007).
- [3] S. Bohn, L. Pauchard, Y. Couder, *Hierarchical crack pattern as formed by successive domain divisions.*, Physical Review E 71 (4), 046214 (2005).
- [4] L. Pauchard, V. Lazarus, *From craquelures to spiral crack patterns: influence of the layer thickness on the crack patterns induced by desiccation*, Soft Matter 7, 2552 (2011).

### Eléments biographiques

F. Giorgiutti Dauphiné est maître de conférences à l'Université Paris Sud au Laboratoire F.A.S.T (Fluides, Automatique et Systèmes Thermiques). Elle travaille sur les instabilités de systèmes complexes solides ou liquides et notamment s'intéresse à l'apparition d'instabilités mécaniques comme les craquelures ou les phénomènes de délamination (perte d'adhésion) dans les peintures d'art.

Poster

**Jaunissement de la Pierre par Nettoyage Laser : mise en évidence de nanoparticules riches en fer pour des échantillons modèles**

Au début des années 1990, le laser Nd : YAG (1064 nm) pulsé était considéré comme une des technologies les plus innovantes pour le nettoyage de la pierre, surtout pour éliminer efficacement les croûtes noires gypseuses indurées. Cependant, le développement de cette technologie a largement été freiné par un de ses effets secondaires : le laser confère parfois à la pierre une teinte jaune [1]. Ce jaunissement induit par laser a suscité une grande polémique, surtout en France où le jaunissement laser a été considéré comme un problème esthétique majeur qui a peu à peu conduit à la quasi disparition de cette technique des chantiers de restauration du patrimoine bâti [2]. Pour le moment, ce phénomène de coloration jaune reste partiellement expliqué : une des hypothèses communément admises stipule que les oxydes de fer contenus dans la croûte noire se transforment sous irradiation laser en une ou plusieurs nano-phases jaunes qui se redéposent ensuite sur le substrat nettoyé [3][4]. Pour étudier cette hypothèse, deux axes de recherches ont été développés dans le cadre du projet JAPILOR : l'étude d'une part de croûtes noires naturelles provenant de la Basilique St Denis et d'autre part celle de croûtes noires modèles, plus simples à étudier, élaborées à partir d'un mélange de gypse  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  et d'hématite  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  synthétiques. Ces deux types de croûtes, naturelles et modèles, sont ensuite irradiées par un laser Nd-YAG pulsé déclenché : leur couleur vire instantanément au jaune. Pour identifier la ou les phases jaunes créées durant l'irradiation, une méthodologie analytique a été développée, couplant le microscope électronique à transmission (TEM) pour observer les phases et déterminer leur composition chimique à l'échelle nanométrique, et l'absorption des rayons X (XAS) pour caractériser le degré d'oxydation et l'environnement géométrique du fer dans ces phases. Les résultats présentés ici concerneront les croûtes modèles. Le TEM couplé à une sonde d'analyse EDX et un spectromètre EELS a permis de mettre en évidence la présence d'au moins deux types de nanoparticules : des très petites mesurant quelques nanomètres, riches en fer et oxygène et des plus grandes, mesurant plusieurs dizaines de nanomètres, riches en fer, oxygène, calcium et parfois soufre. Ces nanoparticules jouent probablement un rôle important dans la couleur jaune observée sur les croûtes modèles irradiées. Quant aux analyses XAS (effectuées au synchrotron SOLEIL sur la ligne DIFFABS), elles ont permis de montrer que le fer présent dans la ou les phases jaunes était probablement sous forme de  $\text{Fe}^{3+}$ , éliminant ainsi les (hydrox-) oxydes de fer (II) comme causes potentielles du jaunissement.

[1]: Pouli, P., Oujja, M., Castillejo, M., 2012, Practical issues in laser cleaning of stone and painted artefacts: optimisation procedures and side effects, *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 106, 447-464.

[2]: Délivré, J., 2003, Laser cleaning: Is there specific laser aesthetics?, *Journal of Cultural Heritage*, 4, 245-248.

[3]: Vergès-Belmin, V., Dignard, C., 2003, Laser yellowing, myth or reality?, *Journal of Cultural Heritage* 4, 238-244.

[4]: Klein, S., Fekrsanati, F., Hildenhagen, J., Dickmann, K., Uphoff, H., Marakis, Y. & Zafirooulos, V., 2001, Discoloration of Marble During Laser Cleaning by Nd: YAG Laser Wavelengths, *Applied Surface Science*, 171(3-4), 242-51.

**Eléments biographiques**

Marie Godet, née en 1992, études d'ingénieur à Chimie ParisTech (ENSCP) avec une spécialisation matériaux. Très vite, la possibilité d'utiliser le raisonnement scientifique pour explorer la matérialité du monde de l'art – objets, monuments – m'a captivée. Ce sont là deux manières complémentaires de décrire le monde qui nous entoure... *Stage* de 5 mois au C2RMF sur la caractérisation chimique et minéralogique de céramiques « en terres mêlées » de Bernard Palissy. *Stage* de 6 mois chez Saint-Gobain sur la synthèse de pigment jaune pour émaillage de carreaux céramiques. *Thèse CIFRE* (depuis 1 an, entreprise SILLTEC) au CRC (LRMH) sur le jaunissement induit par nettoyage laser de la pierre encrassée de monuments historiques avec Christine Andraud et Véronique Vergès-Belmin.

## Poster

### Analyse de la composition isotopique du soufre pour la détermination de l'origine bactérienne ou inorganique des sulfures de fer formés lors de la corrosion anoxique du fer

La présence de micro-organismes dans les systèmes naturels anoxiques est susceptible d'entraîner des modifications dans les processus de corrosion auxquels sont soumis les objets ferreux enfouis. En particulier, les bactéries sulfato-réductrices (BSR) sont capables de réduire les sulfates en sulfures. La précipitation de sulfures de fer est alors possible, ce qui modifierait les processus de corrosion [1]. Dans le contexte de la conservation de mobiliers archéologiques ferreux « in situ », c'est à-dire dans leur milieu d'enfouissement actuel tel que cela se pratique dans certaines conditions de conservation (tourbières ou sites lacustres) [2], il est donc impératif de pouvoir détecter l'action de bactéries dans les processus de corrosion.

En présence de bactéries ou en milieu sulfuré, les systèmes de corrosion anoxiques conduisent à la précipitation de phases de sulfures de fer de type greigite, mackinawite et/ou pyrite [3,4]. Selon la littérature, l'étude de la composition isotopique du soufre au sein de ces sulfures de fer permettrait de préciser leur origine. En effet, la réduction microbienne des sulfates aboutirait à un fractionnement isotopique  $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate-sulfure}}$  allant jusqu'à 75‰ [5]. Mais la plupart de ces études ont été menées sur des systèmes aqueux. Notre approche consiste à tester, sur des systèmes solides, l'intérêt et la faisabilité de l'étude de la composition isotopique du soufre pour la détermination de l'origine des sulfures de fer.

Des expériences de corrosion menées sur des coupons de fer en présence ou en absence de BSR, ont permis de tester la validité de l'hypothèse selon laquelle la composition isotopique du soufre permet de détecter l'intervention bactérienne dans les processus de formation des sulfures de fer.

Nous avons également étudié la faisabilité des mesures sur des systèmes réels de corrosion. Pour cela, des échantillons archéologiques provenant de milieux d'enfouissement anoxiques variés ont été analysés en MEB-EDS et spectroscopie Raman pour la localisation et l'identification des phases de produits de corrosion à l'échelle microscopique. A cette échelle, des mélanges de phases, notamment greigite et mackinawite sont présents. C'est pourquoi une méthodologie d'analyse basée sur la spectroscopie nano-Auger a été développée afin de déterminer la distribution de ces phases à une échelle plus fine de l'ordre de la dizaine de nanomètres. En parallèle, la composition isotopique du soufre dans les liserés de sulfures de fer observés a été déterminée par la technique NanoSIMS afin de conclure sur la (bio-)origine de ces composés. Ainsi, la distribution spatiale des différentes phases de sulfures de fer obtenue en nanoAugera pu être comparée aux variations de composition isotopique observées en NanoSIMS.

- [1] H.A. Videla, W.G. Characklis, Biofouling and microbially influenced corrosion, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 29 (1992) 195–212. doi:10.1016/0964-8305(92)90044-o
- [2] V. Fell, M. Ward, Iron sulphides: Corrosion products on artifacts from waterlogged deposits., in: *Met. 98 Conf. Met. Conserv.*, James and James, Draguignan-Figanières, France, 1998.
- [3] C. Remazeilles, A. Dheilly, S. Sable, I. Lanneluc, D. Neff, P. Refait, Microbiologically influenced corrosion process of archaeological iron nails from the sixteenth century, *Corros. Eng. Sci. Technol.* 45 (2010) 388–394.
- [4] Y. Fors, *Sulfur-Related Conservation Concerns for Marine Archaeological Wood*, Université de Stockholm, 2008.
- [5] M.S. Sim, T. Bosak, S. Ono, Large Sulfur Isotope Fractionation Does Not Require Disproportionation, *Science*. 333 (2011) 74–77. doi:10.1126/science.1205103.

### Eléments biographiques

Sophie Grousset est ingénieure Chimie ParisTech. En 2013, elle obtient un master 2 en Chimie Analytique, Physique et Théorique de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6). Dans le cadre de son stage de master 2, elle étudie la corrosion des armatures en acier dans les bétons armés au sein du Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (LAPA). Depuis, elle y effectue une thèse traitant de l'étude de la bio-origine des sulfures de fer formés lors de la corrosion anoxique du fer, par l'étude de la composition isotopique du soufre.

Poster

**In-depth imaging of flat ancient material objects through a back projection reconstruction of a 2D conical Radon Transform.**

Introduction and context

Patrimonial and ancient material objects having a flattened geometry, i.e. having a large ratio between the top or bottom area and its thickness, are nowadays difficult to study with classic radiation tomography methods. A Compton Scatter Tomography (CST) approach is then envisaged. While incoherent (Compton) scattering data is usually considered as noise, it will be treated in this work as the primary phenomenon of the image formation process. In a Compton event, an incident photon of energy  $E_0$  is absorbed by a target electron, who re-emits a secondary photon scattered by an angle  $\omega$  relative to the direction of the original photon. The scattered photon has an energy  $E_\omega < E_0$  and it will be the collected information to perform the in-depth reconstruction, without the need of rotating the system. The energy loss is practically encoding the scattering angle information.

Methods

CST focuses to reconstruct the electron density map of the object. The Conical Radon Transform (CRT), introduced and developed in [1, 2], is used to this goal. The locus of scattering points of the object having the same detecting site  $D$  and the same scattering angle  $\omega$ , encoded by a measured energy loss  $E_0 - E_\omega$  are included in a cone  $C$  with apex at  $D$  and opening angle  $\omega$ . The photon flux density recorded at  $D$  having an energy  $E_\omega$  can be modelled with the CRT as a surface integral over the cone  $C$  [1].

Results

Inversion of a bidimensional CRT is established in [2] and a backprojection inversion in [1] for a Compton gamma-ray Camera. We will present in this work 2D reconstructions of simulated patrimonial objects in a different imaging configuration: A synchrotron radiation setup with a monochromatic parallel source and 2D energy detectors. In these first attempts, attenuation and multiple scattering will be neglected.

[1] J. Cebeiro, M. Morvidone and M. K. Nguyen, Back-projection inversion of a conical Radon transform, *Inverse Problems in Science and Engineering*, 2015.

[2] M. Morvidone, M. K. Nguyen, T. T. Truong and H. Zaidi, A novel V-line Radon transform and its imaging applications, *International Journal of Biomedical Imaging*, 2010.

**Eléments biographiques**

Patricio Guerrero, PhD candidate since November 2014 at IPANEMA under the direction of Serge Cohen, Mai Nguyen and Laurent Dumas. Studies of applied mathematics at Jean Monnet University in Saint Etienne. Internship at Aximum Produits Electronics to develop a road traffic prevision algorithm (2013). Internship at Mines Saint Etienne to study some properties and applications of Gaussian Random Fields (2014).

**Poster**

**PSICHE : une ligne de lumière pour la tomographie à SOLEIL**

PSICHE (Pression, Structure et Imagerie par Contraste a Haut Energie) est une ligne de lumière du synchrotron SOLEIL où chercheurs puisse utiliser des techniques d'imagerie au rayonnement synchrotron. Tomographie (3D) et radiographie (2D) sont possibles. L'instrument a été optimisé pour la science des matériaux, mais il a été utilisé aussi pour des applications sur les matériaux et objets du patrimoine. Cette communication présentera l'instrument, et va donner des exemples d'applications sur le patrimoine.

**Eléments biographiques**

Andrew King est un scientifique du synchrotron SOLEIL, responsable pour la tomographie sur la ligne PSICHE depuis 2013. Il a travaillé précédemment à l'ESRF à Grenoble, et à PETRA III à Hambourg. Son recherché personnel est sur les techniques combinent de la tomographie et la diffraction.

**Session : Grandes installations**

**Que faire dire au patrimoine scientifique bâti ? Matérialité, mémoire et histoire. L'exemple de l'observatoire de Toulouse**

La ville est un espace saturé de signes et de significations : une superposition d'écrits, d'indices, de marques, d'ornements organise le regard et construit un récit urbain, changeant selon les époques (Petrucci 1993). De ce feuillet d'empreintes à déchiffrer, l'histoire urbaine nous a donné une double lecture, celle de la puissance édilitaire toujours à réaffirmer (Boucheron 2014) et celle des débordements surgissant inévitablement (Denis, Pontille 2010). Mais qu'en est-il du bâti scientifique transformé en objet patrimonial ? Quelles interprétations donner aux intentions architecturales d'une structure savante comme un observatoire aux formes requises par la pratique de l'examen céleste ? Quels jeux de continuités et de discontinuités peut-on percevoir avec le processus de patrimonialisation à l'œuvre depuis la fin du 20<sup>e</sup> siècle pour les institutions scientifiques (Davalon et al. 2010) ?

Je propose dans cette communication d'analyser d'abord l'élaboration et les mutations de l'observatoire astronomique de Toulouse aux 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles. De la construction du bâtiment principal à l'éclatement du lieu en archipel de coupoles, ce sont toutes les évolutions politiques, scientifiques et techniques qui se lisent dans l'agencement du site. La logique scientifique d'étalement du bâti affronte la question d'une relégation périphérique problématique à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, au moment où la ville de Toulouse connaît une forte croissance.

L'abandon du lieu, au début des années 1980, en raison de l'impossibilité d'observer le ciel dans une zone urbaine trop polluée, marque le point de départ d'une opération patrimoniale partielle, morcelée, inchoative même parfois. La mise en valeur patrimoniale du bâti scientifique telle qu'elle est organisée, par les personnels de l'observatoire et le ministère de la Culture se fonde d'abord sur une sorte d'effacement de l'espace savant, dont les allées deviennent un jardin de la ville, au pied d'un quartier populaire. L'inscription à l'inventaire supplémentaire de certaines parties du lieu-dit l'embaras pour les administrations culturelles à se saisir d'une architecture scientifique assez éloignée des critères classiques de la mise en patrimoine.

Les usages amateurs du site renouvellent son inscription urbaine, tout en multipliant les récitatifs mémoriaux. L'histoire est tenue en lisière de cet investissement par les astronomes amateurs. Au début des années 2000, un processus patrimonial englobant l'ensemble du patrimoine associé, dans un jeu de tensions multiples, des astronomes professionnels et amateurs, des historiens et des spécialistes du patrimoine. La solidification progressive d'une ligne « historique », favorisant le recours aux archives pour informer le site et les visiteurs n'est rendue possible que par une suite de réflexions (parfois conflictuelles) sur la matérialité d'un site scientifique centenaire et sur la possibilité d'en produire une lecture la plus universelle possible.

Davallon, J., Boudia, Z., Rasmussen, A., Soubiran, S., 2010, Patrimoine et communautés savantes, Rennes, Presses Universitaires de Rennes.

Denis, J., Pontille, D., 2010, Petite sociologie de la signalétique. Les coulisses des panneaux du métro, Paris, Presses des Mines. Boucheron, P., 2014, De l'éloquence architecturale. Milan, Mantoue, Urbino (1450-1520), Paris, éditions B2.

Petrucci, A., 1993, Jeux de lettres. Formes et usages de l'inscription en Italie, 11<sup>e</sup>-20<sup>e</sup> siècles, Paris, éditions de l'EHESS.

**Eléments biographiques**

Jérôme Lamy est historien et sociologue des sciences (chercheur associé au Laboratoire PRINTEMPS – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines). Après une thèse sur l'histoire de l'observatoire de Toulouse, il travaille sur les formes de régulation des sciences et des techniques. En explorant l'histoire des programmes spatiaux (notamment le projet européen Copernicus), il envisage les modes d'articulation entre les pratiques politiques de gouvernement et les impératifs de l'ingénierie. Il a intégré la question patrimoniale à ses enquêtes. Parallèlement, Jérôme Lamy a entrepris une série de travaux sur la sociologie historique des sciences humaines et sociales à partir des propositions de Michel Foucault. Il a co-édité en 2014, avec Jean-François Bert, Michel Foucault, un héritage critique aux éditions du CNRS.



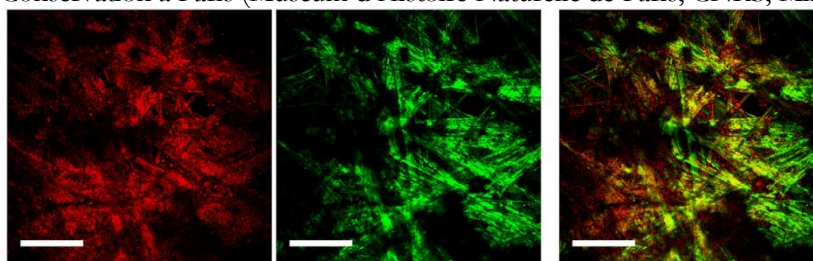
## Poster

### Caractérisation morphologique et chimique multi-échelle de la dégradation du collagène dans les parchemins

Le parchemin est une peau animale traitée puis séchée sous tension, constituée essentiellement de collagène fibrillaire. Ce matériau est sensible à l'eau et à la chaleur qui peuvent causer la dénaturation de ce collagène, et donner lieu à la gélatinisation du parchemin. L'objectif de ce travail est d'associer des techniques complémentaires permettant une caractérisation physico-chimique multi-échelle des matériaux pour identifier dans un premier temps les différentes étapes de la dégradation du collagène dans les parchemins, en vue d'être élargi à d'autres matériaux.

La microscopie optique non-linéaire permet de réaliser une imagerie tridimensionnelle et non invasive des matériaux. Elle présente l'avantage de pouvoir combiner plusieurs modes de contraste, dont la fluorescence excitée à deux photons et la génération de second harmonique (SHG). Ce dernier signal provient des structures non centrosymétriques telles que la cellulose, le plâtre ou le collagène fibrillaire. L'intérêt de cette technique de microscopie a notamment été démontré pour l'étude des instruments de musique pour l'analyse du bois et des vernis [1]. L'objectif est ici de mieux comprendre l'évolution des signaux issus du collagène fibrillaire en fonction de son état de dégradation. En complément de cette signature spécifique de l'organisation macro-moléculaire du collagène, nous utilisons une technique de spectroscopie infrarouge à l'échelle nanométrique (nanoIR) parfaitement adaptée à la taille caractéristique des fibrilles de collagène (quelques dizaines à quelques centaines de nanomètre). La corrélation de l'information morphologique obtenue par microscopie optique non linéaire à l'information chimique issue des spectres infrarouges permet ainsi de suivre la dégradation du collagène [2]. L'objectif étant à terme de relier cette information aux différentes étapes d'altération des parchemins.

Ce travail est une collaboration entre plusieurs laboratoires de l'université Paris-Saclay : Laboratoire d'Optique et Biosciences (Ecole Polytechnique, CNRS, Inserm), Laboratoire de Chimie Physique (Univ. Paris-Sud, CNRS), Laboratoire d'Imagerie et Modélisation en Neurobiologie et Cancérologie (Univ. Paris-Sud, CNRS) et le Centre de Recherche sur la Conservation à Paris (Museum d'Histoire Naturelle de Paris, CNRS, Ministère de la Culture).



Microscopie optique non-linéaire d'un parchemin du 17<sup>ème</sup> siècle. Fluorescence excitée à deux photons (en rouge), génération de second harmonique (en vert) et combinaison de ces deux informations. Barre d'échelle : 100  $\mu\text{m}$ .

- [1] G. Latour, J.-P. Echard, M. Didier, and M.-C. Schanne-Klein, In situ 3D characterization of historical coatings and wood using multimodal nonlinear optical microscopy, *Opt. Express* 20, 24623–24635 (2012).  
[2] G. Latour, L. Robinet, A. Dazzi, F. Portier, A. Deniset-Besseau, M.-C. Schanne-Klein (soumis)

### Eléments biographiques

Gaël Latour est maître de conférences à l'Université Paris-Sud. Après une thèse dédiée au développement de la tomographie optique cohérente (OCT) pour l'étude des objets du patrimoine, son activité de recherche s'est orientée vers la microscopie optique non-linéaire pour l'imagerie biomédicale durant ses années de post-doctorat. Cette technique est particulièrement adaptée à la caractérisation du collagène aussi bien dans les tissus (cornée, peau) que dans les objets anciens à base de collagène. Son activité de recherche consiste à développer de nouvelles modalités pour l'imagerie optique non-linéaire, telle la polarisation, et à coupler les informations obtenues à d'autres techniques d'imagerie afin d'obtenir une caractérisation morphologique et physico-chimique du collagène.

**Session : Patrimoine et représentations sociales**

**La matérialité exposée. Les représentations du patrimoine et la construction de la problématique de la matérialité**

Si la matérialité préoccupe au premier chef les scientifiques et professionnels du patrimoine, elle n'est pas négligée dans la médiation du patrimoine, même si les dimensions symboliques, historiques et esthétiques priment généralement auprès du public. Cela vaut notamment pour les grands médias, qui sont des acteurs importants de la démocratisation du patrimoine et de l'éducation du public aux problématiques patrimoniales. La télévision, qui affectionne de plus en plus le patrimoine au fil de son développement, n'a pas négligé la thématique de la matérialité. Ce sujet a même fait l'objet, à la télévision française, dans les JT et les magazines, de mise en images et de mises en scène originales recherchant l'attention du téléspectateur. Dans cette communication, je propose de donner un aperçu de la construction de la problématique de la matérialité du patrimoine au cours de la deuxième moitié du XXe siècle au travers de l'étude des programmes de télévision. La problématique de la matérialité est présente à chaque fois qu'est abordée la question de la conservation du patrimoine. La fragilité des artefacts patrimoniaux est un sujet de préoccupation pour les journalistes au point qu'il s'agisse d'un poncif des programmes de télévision sur le sujet. Quand le reporter Pierre de Lagarde crée en 1964 une émission intitulée *Chefs d'œuvre en péril*, il est le premier journaliste à montrer à la télévision des monuments qui menacent ruine et à prendre la défense du patrimoine endommagé et menacé de destruction. Cette veine a ensuite été creusée par de nombreux journalistes car c'est un sujet sur lequel ils affectionnent de construire une intensité dramatique et même des polémiques. Autre exemple, la médiatisation du patrimoine naturel est indissociable de la thématique de la fragilité des milieux naturels, ainsi que l'a montré la première émission d'écologie à la télévision, *La France défigurée* (1971-1978). L'assimilation de la matérialité à la fragilité en fait un des ressorts habituels du discours télévisuel sur le patrimoine. C'est bien davantage dans les émissions qui explorent la dimension scientifique de l'étude et de la protection des œuvres que la problématique de la matérialité est la plus sensible. Deux cas l'illustrent très bien : la série *Les secrets des chefs d'œuvre* présentée de 1959 à 1974 par Magdeleine Hours, directrice du laboratoire du musée du Louvre, et un numéro de 1980 de l'émission de vulgarisation scientifique d'Antenne 2 *Objectif demain*. Ces deux productions mettent en lumière les méthodes, outils et professionnels qui permettent de préserver les œuvres d'art. L'œuvre d'art est présentée dans sa chair, une chair meurtrie qu'il s'agit de soigner. L'altération du patrimoine, phénomène « naturel » sur lequel travaille le scientifique, est présenté à la télévision avec force dramatisation comme un processus alarmant. Ces émissions font alors l'éloge des compétences des scientifiques français qui sont capables de réparer même les œuvres les plus abîmées. Il y a ainsi deux logiques à l'œuvre dans la médiation de la matérialité à la télévision, une logique éducative et une logique médiatique, que je propose de mettre au jour.

« “La science et l'art font bon ménage.” Quand les émissions de télévision font dialoguer œuvres d'art et sciences expérimentales à travers l'exemple de *Secrets des chefs-d'œuvre* (1959-1974). » in Eric Thouvenel et Priska Morrissey (dir.), actes de l'ANR FILCREA, Université de Rennes 2 (publication prévue en 2016). « Patrimoine et matérialité », *Circé, Histoires, Cultures & Sociétés*, n° 3, 2013.

**Eléments biographiques**

Thibault Le Hégarat docteur en histoire, a soutenu en novembre 2015 une thèse de doctorat en histoire contemporaine sur le sujet « Télévision et patrimoine. Des origines à la fin des années 1990 », sous la direction du professeur Christian Delporte. ATER en histoire à l'UVSQ, Centre d'histoire culturelle des sociétés contemporaines. Ancien doctorant de la Fondation des Sciences du Patrimoine, lauréat du prix du doctorant Patrima 2014. Mes travaux, au croisement de l'histoire culturelle et de l'histoire des médias, sont consacrés à l'étude des représentations du patrimoine dans les programmes de télévision et l'analyse du rôle de ce média dans la popularisation du patrimoine et sa production.

## Poster

### Conservation et altération de pigments de peinture : les verts au cuivre

Les pigments organométalliques verts à base de cuivre sont connus depuis l'Antiquité, et deux d'entre eux ont particulièrement été utilisés dans la peinture de chevalet entre les XIV<sup>ème</sup> et XVII<sup>ème</sup> siècles, pour leurs propriétés optiques (brillance, transparence, couleurs) : le vert-de-gris et le résinate de cuivre. Le vert-de-gris, mélange d'acétate de cuivre et d'hydroxyacétate, est obtenu par réaction de vapeurs d'acide acétique sur du cuivre métallique [1]. Les résinates de cuivre sont des complexes de cuivre (II), produits de la réaction entre un acide résinique (colophane ou térébenthine) et un composé au cuivre.

Ces pigments subissent fréquemment une altération irréversible sous la forme d'un brunissement qui conduit à une perte du décor peint. La compréhension de cette dégradation et des interactions entre pigments au cuivre et leur environnement est nécessaire pour contribuer à une meilleure conservation des peintures, mieux envisager l'aspect d'origine de zones aujourd'hui dégradées, et décider des choix de restauration. Cette problématique est d'importance majeure et elle a été encore récemment abordée lors de la restauration de tableaux comme la Sainte Anne de Léonard de Vinci, ou le Retable d'Issenheim de Matthias Grünewald, conduites sous l'expertise du C2RMF.

Nos travaux sur des échantillons modèles ont montré que l'altération des pigments organométalliques verts à base de cuivre est initiée par la lumière et conduit à la formation d'espèces réduites à valence mixte Cu(I)- Cu(II), avec un transfert de charge entre des ponts peroxydes et les atomes de cuivre. Le brunissement est donc relié à des changements de degré d'oxydation du cuivre et de son environnement [2]. En plus de la lumière, d'autres facteurs interviennent également dans le brunissement [3] : la diffusion de l'oxygène au sein de la couche picturale, l'état de l'œuvre (craquelures) et la nature du liant organique.

De nouveaux résultats ont été collectés sur un corpus de 62 peintures historiques provenant de collections de musées français. Ces œuvres sont représentatives de différentes écoles (française, italienne, germanique, flamande et portugaise) et sont datées du XIV<sup>ème</sup> au XVII<sup>ème</sup> siècle. Des prélèvements ont été réalisés afin de valider le mécanisme d'altération proposé. La typologie et le degré d'altération des pigments organométalliques verts à base de cuivre et l'évolution du front d'altération le long de craquelures ont été considérés. La composition chimique des couches ainsi que la possible incompatibilité des pigments au cuivre avec d'autres pigments sont en cours d'étude. Un tiers des œuvres du corpus présente une altération des pigments verts organométalliques au cuivre.

Notre communication confrontera les données matérielles recueillies sur les œuvres avec plusieurs sources écrites traitant des anciens modes de production et d'utilisation des pigments composites organométalliques verts au cuivre. Ces sources regroupent des traités historiques de peintres ou théoriciens de l'art, des recueils de recettes anciennes, des prescriptions et des reconstitutions. Les résultats analytiques seront également discutés en fonction des aires géographiques, des techniques de peintures correspondantes (utilisation fréquente d'un glacis au résinate de cuivre en France, mélange du vert-de-gris avec d'autres pigments en Italie...), et de l'époque de réalisation.

[1] Kühn H. (1970) "Verdigris and copper resinate", *Studies in conservation*, 15, 12-36

[2] Santoro C., Zarkout K., Le Hô A.-S., Mirambet F., Gourier D., Binet L., Pagès-Camagna S., Reguer S., Mirabaud S., Le Du Y., Griesmar P., Lubin-Germain N., Menu M. (2014) "New highlights on degradation process of verdigris from easel paintings", *Applied Physics A*, 114, 637-645.

[3] Van Eikema-Hommes M. (2002) "Discoloration in Renaissance Baroque Oil Paintings", Thèse, Amsterdam University, sous la direction de Van de Wetering E.

### Eléments biographiques

Après une double formation en physique et en géomatériaux, Anne-Solenn Le Hô a obtenu un doctorat en Sciences des Matériaux. Elle a travaillé dans l'industrie aéronautique, puis a rejoint le C2RMF et l'IRCP en tant qu'ingénieur de recherche du ministère de la culture. Elle y dirige l'équipe Peinture regroupant scientifiques et conservateurs. Elle enseigne et participe également à des missions de formation à l'étranger auprès de professionnels du patrimoine culturel. Ses recherches portent sur : - la caractérisation et l'étude de mécanismes

de dégradation de matériaux organiques (laques, vernis) et de pigments (organométalliques) - le développement de méthodologies analytiques adaptées à l'identification de matériaux conservés en contexte archéologique ou provenant de collections muséales peintes.

## Poster

### Données structurales et élémentaires de couche de produits de corrosion du fer traitées par analyse en composantes principales

La prédiction de la corrosion sur le très long terme des matériaux ferreux est un enjeu crucial dans le domaine du patrimoine pour mettre en place des stratégies de conservation des objets en métal. Notre objectif est de décrire les couches de produits de corrosion formées en conditions réelles afin de comprendre les mécanismes de corrosion et le rôle que joue la couche dans le contrôle de ces phénomènes. L'utilisation des outils de traitement statistique multivariés pour le traitement de données spectroscopiques est particulièrement développée dans le cadre de ce projet.

Pour cette étude, nous proposons de déterminer les corrélations entre présence d'éléments mineurs et de phases plus ou moins réactives au sein des couches de produits de corrosion de matériaux ferreux corrodés sur le long terme. Pour cela, des agrafes métalliques multiséculaires provenant de cathédrales (Metz, Amiens) préparées en coupes transversales ont été étudiées. Les couches de produits de corrosion sont épaisses de quelques centaines de micromètres. Les données de structure cristalline acquises par spectroscopie Raman et de composition élémentaire par MEB-EDS (microscopie électronique à balayage - spectroscopie en dispersion d'énergie) ont été collectées sous forme d'images hyperspectrales [1]. Dans cette étude les données sont dans un premier temps prétraitées avant d'être analysées par analyse en composantes principales [2].

Les couches observées sont composées principalement de goethite ( $\alpha$ -FeOOH), de ferrihydrite (FeOOH,  $nH_2O$ ) et de lépidocrocite ( $\gamma$ -FeOOH). La ferrihydrite est une des phases oxydées du fer les plus réactives en réduction [3]. Cette réactivité peut être amenée à diminuer si des éléments s'adsorbent à sa surface du fait de sa faible cristallinité [4]. De précédentes études, effectuées par analyses Raman et MEB-EDS, ont permis d'observer que des zones riches en ferrihydrite et goethite contiennent des quantités massiques de phosphore supérieure à 0,2wt% et que des zones riches en lépidocrocite contiennent des quantités massiques de phosphore inférieure à 0,2wt% (non détectable) [5, 6]. Afin de vérifier que des éléments mineurs sont corrélés à la présence de phase(s) telles que la ferrihydrite, nous souhaitons analyser par des méthodes multiblocs/multivariées les données Raman et MEB-EDS.

Dans un premier temps, il convient de développer des outils de prétraitements efficaces pour éliminer les éléments parasites pouvant interférer dans le traitement statistique (raies cosmiques et fond de fluorescence pour le Raman principalement). Nous proposons donc de montrer les prétraitements que nous avons choisis avant d'effectuer le traitement multivarié des images hyperspectrales. L'analyse en composantes principales, permettant d'extraire l'information maximisant la variance du jeu de données, a été utilisée sur une même zone d'analyse pour qualifier le jeu de données après avoir effectué les prétraitements. Dans un second temps elle sera utilisée afin de comparer si la corrélation supposée entre les données de composition élémentaires et de structure cristalline est observable. Nous envisageons par la suite de travailler par analyses multiblocs des données pour observer de manière systématique les zones où les corrélations peuvent avoir lieu.

1. Smilde, A., R. Bro, and P. Geladi, *Multi-way Analysis: Applications in the Chemical Sciences*, ed. Wiley. 2005: Chichester. 396.
2. Massart, D.L., et al., *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part A*. 1997: Elsevier Science Inc. 867.
3. Antony, H., *Etude électrochimique des composés du fer - Apport à la compréhension des processus environnementaux*. 2005, Evry. p. 213.
4. Marc Michel, F., et al., *The Structure of Ferrihydrite, a Nanocrystalline Material*. Science, 2007. 316.
5. Bouchar, M., *Mécanismes de la corrosion atmosphérique multiséculaire des alliages ferreux : Le cas des renforts de la cathédrale de Metz*, 2015, Paris Saclay. p. 294.
6. Monnier, J., *Corrosion atmosphérique sous abri d'alliages ferreux historiques - Caractérisation du système, mécanismes et apport à la modélisation*. 2008, Paris Est. p. 319.

### Eléments biographiques

Après l'obtention d'une licence de physique fondamentale et d'un master de nanosciences à l'université Paris-Sud XI, Robin Le Penglau a débuté son doctorat au Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (LAPA) au CEA Saclay fin 2014. Il a effectué deux stages au Laboratoire de Physique des Solides (LPS) à Orsay en fin de master 1 et 2. Durant son stage de master 1, il a étudié la transition de phase métal-isolant de  $V_2O_3$  en utilisant la diffraction des rayons d'une anode tournante. Il a aussi étudié la dynamique de l'onde de densité de charge (ODC) dans un cristal de chrome lors de mon second stage. Cette dynamique hors équilibre a été observée en pompant le cristal avec un laser femto-seconde puis en le sondant par diffraction des rayons X sur la ligne Cristal du synchrotron soleil. Actuellement en deuxième année, il traite de manière statistique des jeux de

données Raman et MEB-EDS. Le but de ces manipulations est d'établir des corrélations entre des données structurales et élémentaires sur des coupes transversales d'objets archéologiques prélevés sur des monuments multiséculaires.

**Session : Grandes installations**

**Extraire d'un patrimoine du passé des informations sur le futur : le cas des réacteurs à neutrons rapides au sodium. Retour sur une démarche de valorisation des enseignements du patrimoine de Phénix et Superphénix**

Depuis l'après-guerre, les réacteurs à neutrons rapides au sodium constituent un horizon de développement de l'énergie nucléaire, du fait de leur capacité à régénérer leur combustible par un fonctionnement dit « surgénérateur ». Cette technologie a ainsi fait l'objet de développements de prototypes dans de nombreux pays, des développements de laboratoires aux centrales de taille industrielle (Fjaestad 2015). En vue des développements du nucléaire de quatrième génération, différents critères de « soutenabilité/ *sustainability* » ont été mis en exergue par un forum international (GIF 2002), au nombre desquels figure l'économie de ressources. La filière des réacteurs à neutrons rapides au sodium fait ainsi l'objet de nouveaux développements, en France depuis le début des années 2000, structurés en projets de recherche au sein des acteurs du nucléaire dont EDF et le CEA. Dans le cadre de ces projets tournés vers le long terme des développements énergétiques (2025, 2050 voire 2100), plusieurs équipes tirent beaucoup de connaissances d'objets du passé, issus des projets et prototypes précédemment développés en France, en particulier Phénix (début de projet en 1967, mise en service en 1973, arrêt en 2009) et Superphénix (début de projet en 1972, mise en service en 1985, arrêt en 1997). Cette communication traitera des démarches de ces équipes, situées dans des domaines disciplinaires aussi différents que les Sciences Humaines et Sociales et les Sciences des Matériaux. La recherche en Sciences Humaines et Sociales s'est appuyée sur un patrimoine constitué d'archives transmises par des « anciens » des projets précédents, ainsi que sur des entretiens avec eux, pour en tirer des enseignements (Le Renard, 2015a, 2015b). Les matériaux irradiés dans le réacteur Phénix fournissent des informations irremplaçables pour la Sciences des Matériaux. La structuration des études de R&D de l'époque et les résultats associés constituent aussi un retour d'expérience très riche. Après une présentation de chacun des champs de recherche, la communication traitera de points communs des démarches d'extraction d'informations dans ces deux domaines, telles que le souci de préserver de la destruction des matériaux et archives, dans un climat où les discours sur « l'innovation » sont souvent synonymes d'injonctions à la « dématérialisation ». Avec l'aide de la « courbe de Midler », on mettra en exergue l'apport de telles études à un projet d'innovation : paradoxalement, on apprend beaucoup sur le futur en travaillant sur le passé. Extraire l'information d'un patrimoine du passé permet de réduire l'incertitude d'un projet d'innovation tourné vers le futur.

- Fjaestad, Maja (2015). "Fast Breeder Reactors in Sweden: Vision and Reality." *Technology and Culture* 56.1 (2015): 86-114. GIF – Generation IV International Forum (2002) : « A Technology Roadmap for the Generation IV Nuclear Energy Systems » - gif.inel.gov/roadmap Le Renard, C. (2015a), Le prototype, à l'interface entre une promesse technologique et son industrialisation, in Cihuelo, J., C. Grandclément & A. Jobert (Eds): "Energie et transformations sociales : enquêtes sur les interfaces énergétiques", Lavoisier, janvier 2015.
- Le Renard, C. (2015b), Une analyse sociotechnique du programme français de réacteurs à neutrons rapides : les formes successives de l'évaluation. Gérer et Comprendre n°122, Les Annales des Mines, Paris.

**Eléments biographiques**

Claire Le Renard est ingénieur-chercheur en sociologie au Groupe de Recherche Energie Technologie Société d'EDF R&D. Depuis octobre 2015, elle est aussi doctorante au Laboratoire Interdisciplinaire en SHS de l'Ecole de Polytechnique (LinX) et au Laboratoire Interdisciplinaire Sciences Innovation Sociétés (LISIS), de l'Université Paris-Est (UMR CNRS INRA UPEM). Sa recherche en sociologie des sciences et des techniques porte sur des innovations dans le secteur de l'énergie (filières nucléaires, démonstrateurs SmartGrids, énergies renouvelables). Elle a une formation d'ingénieur en environnement (Ecole Polytechnique puis Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts).

## Poster

### **IRANGKOR Le fer à Angkor : production, circulation, consommation du métal et expansion de l'Empire Khmer, Cambodge (IXe - XVe s.), une approche interdisciplinaire**

C'est à partir du site d'Angkor au Cambodge, classé aujourd'hui au patrimoine mondial de l'UNESCO, que l'Empire khmer étend entre les 11e et 13e siècles son influence politique en Asie du Sud Est. Il est communément admis que la puissance de cet empire reposait sur la mise en place d'un système bureaucratique avancé, et s'appuyait à la fois sur une forte implantation régionale de temples et sur un réseau routier élaboré. Mais les mécanismes qui ont présidés à son expansion rapide restent à ce jour mal compris. L'absence de ressources en matières premières à proximité immédiate de la capitale angkoriennne confère au réseau d'échange conçu pour répondre aux nécessités d'approvisionnement une importance indéniable dans un contexte de fort développement. La dimension industrielle de l'exploitation des ressources, des procédés de fabrication, des circuits de distribution et de l'utilisation des produits devrait témoigner d'une telle mobilisation des activités socio-économiques. Consommé sous diverses formes, le fer occupe une place essentielle dans l'économie des sociétés anciennes. Encore non documenté dans l'économie angkoriennne, ce matériau représente un outil pertinent pour appréhender les processus qui ont contribué au développement de l'Empire khmer.

Ce poster se propose de présenter les contours (contexte et collaborations), objectifs et premiers résultats du projet ANR INTERNATIONAL IRANGKOR (2015-2018), première étude de grande ampleur menée sur la production et les réseaux de distribution du fer khmer dans le but de fournir un éclairage nouveau sur les échanges économiques et technologiques au sein de l'empire. L'étude se focalise sur deux problématiques intimement liées. D'une part, il s'agit d'étudier l'évolution de l'organisation de la production, de la circulation et de la consommation des matériaux ferreux aux périodes comprises entre le 9e siècle et le 15e siècle, deux repères chronologiques qui balisent l'histoire angkoriennne par son émergence et son déclin. Nous proposons d'autre part d'éclairer le rôle joué par les temples régionaux et le réseau routier dans l'organisation de ces activités.

Pour répondre à ces questions, nous nous appuyons sur une approche combinant étroitement études archéologique, technologique, chronologique et de provenance de deux régions de production attestées à l'échelle de l'empire khmer et de trois classes d'objets ferreux représentatifs des divers contextes socio-culturels et répertoriés dans la zone d'influence de l'empire khmer à l'époque angkoriennne. A échéance plus lointaine, une approche intégrée inscrite dans un cadre Bayésien innovant sera mis en place afin de modéliser dans leur ensemble les liens ('pattern') entre la source (minerais), la production (déchets) et la consommation (objets) dans l'objectif de restituer dans une approche diachronique et synchronique les formes d'organisation des échanges des matériaux ferreux en Asie du Sud-Est entre le 9e et le 15e siècle. Couplé à des avancées méthodologiques majeures, ce projet permettra de poser *in fine* des jalons pour l'étude des matériaux ferreux en Asie du Sud-Est et de mettre en place des référentiels pour l'étude d'activités industrielles comparables (céramique, métallurgie du bronze).

Leroy, S, Hendrickson, M., Delqué-Kolic, E., Vega, E., Dillmann, P., 2015. Construction and Modification of the Baphuon Temple Mountain in Angkor, Cambodia. PLoS ONE 10(11): e0141052.

### **Eléments biographiques**

Stéphanie Leroy est chercheur au LAPA (IRAMAT-NIMBE, CEA/CNRS/Université Paris-Saclay). Ses activités de recherche portent sur la production, la provenance et la datation des matériaux ferreux anciens afin d'apporter un éclairage nouveau sur les réseaux d'échanges et l'usage des métaux dans les sociétés anciennes. Son approche générale s'inscrit résolument dans une démarche interdisciplinaire, diachronique et multi-scalaire, ancrée dans la dynamique de recherche soutenue par le LAPA, associant les approches des sciences humaines et des sciences de la matière. Ses activités se partagent donc entre (1) aspects méthodologiques, pour la mise au point d'outils de lecture des données et de protocoles d'étude des matériaux ferreux et (2) applications en SHS, ces deux axes scientifiques majeurs étant complémentaires. Depuis 2014, elle coordonne le projet ANR International IRANGKOR qui se nourrit de ces approches interdisciplinaires et contribuera aux avancées méthodologiques dans le domaine.



## Poster

### **Matérialité dématérialisée : enjeux et défis de la numérisation des revues littéraires et artistiques de la fin du XIXe siècle**

Les revues littéraires et artistiques représentent aujourd'hui une source riche et souvent unique pour l'étude des mécanismes culturels et du discours littéraire et artistique de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Pourtant la fragilité de leurs supports oblige les bibliothèques à limiter l'accès à ces imprimés et renvoie les chercheurs vers les reproductions microfilmées ou numérisées. Une bibliothèque numérique de revues littéraires et artistiques doit tenir compte de l'architecture, de l'organisation et de la configuration de ces supports particuliers. Les revues se trouvent dans un dialogue permanent ; elles captent, partagent, répandent. L'épuration systématique des revues littéraires et artistiques de leur contenu non littéraire (couvertures, pages publicitaires, bulletins) lors des processus de conservation et de numérisation nous donne une vision appauvrie de leur nature et de leur fonctionnement au sein de la production culturelle.

Ce sont des objets culturels pour lesquels la manière de transmettre un certain message fait autant partie de leur discursivité que le message lui-même. Cette nouvelle sensibilité à la médiation s'exprime dans la recherche actuelle sur les périodiques, et s'inscrit plus largement dans le « material turn » ouvrant de nouvelles perspectives sur les implications de la matérialité, sa dimension symbolique. Comme Sean Latham et Robert Scholes l'ont déjà souligné en 2006 (Sean LATHAM et Robert SCHOLES, « The Rise of Periodical Studies », *PMLA*, n° 121, 2006, p. 529), la question de la revue numérisée est liée à une double contrainte : (1) les revues s'intègrent difficilement dans la bibliothèque physique, (2) la bibliothèque numérique est construite à l'image de la bibliothèque physique. La bibliothèque physique n'est pas conçue de manière à accueillir la revue. Le périodique se plie difficilement aux exigences de conservation, car il doit, pour ce faire, être transformé en volume – ceci aux dépens de sa nature originale. Le volume impose une lecture linéaire, page par page, à un objet qui est fait pour une lecture non linéaire, déterminée par sa matérialité et sa mise en page. Les revues encouragent pourtant en même temps leur passage en livre par l'usage d'une pagination continue, et la mise à disposition des lecteurs d'une table des matières, d'une couverture, et d'un frontispice pour la reliure. Si la revue entre dans le circuit bibliothéconomique, c'est sous cette forme monographique et, si les indicateurs de sa périodicité (couvertures, publicité, bulletins) ne sont pas supprimés du volume, ils sont alors reportés à la fin ; la périodicité passe en annexe, pour ainsi dire.

La bibliothèque numérique est – dans son architecture actuelle – aussi faite pour les livres, présentant ses collections en imitant la bibliothèque physique. Même si dans certains dispositifs numériques de lecture, il est possible d'afficher un calendrier, pour aller directement à une date, ce mode d'affichage se limite à un seul titre, et une lecture parallèle de plusieurs périodiques est impossible. La contrainte de la bibliothèque physique organisée en volumes est transférée à son double numérique, alors qu'un aspect primordial des revues est leur constitution en réseaux, caractérisée par l'intertextualité et le dialogue permanent établis entre elles.

Nous allons illustrer la problématique en parcourant plusieurs bibliothèques numériques, afin de voir dans quelle mesure elles rendent compte de la matérialité de la revue littéraire et artistique et jusqu'à quel point elles s'offrent comme des outils de recherche permettant au lecteur de tirer, à partir de la reproduction numérique, des conclusions concernant l'original. Sur la base de cette exploration et de notre examen des paramètres matériels, nous allons ensuite proposer une conception différente de la bibliothèque numérique visant une reproduction qui se substitue le plus possible à l'original.

### **Eléments biographiques**

Doctorant contractuel au sein du Labex Patrima (Fondation des Sciences du Patrimoine), en partenariat avec la Bibliothèque Nationale de France, Philipp Leu étudie depuis 2012 la matérialité et la numérisation des revues littéraires et artistiques fin-de-siècle en Europe, sous la direction d'Évanghélia Stead (CHCSC, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines). Ses recherches posent la question de la revue d'avant-garde en tant que laboratoire du renouvellement artistique, s'inscrivant au sein du discours culturel autant par le contenu (« code linguistique ») que par la forme (« code bibliographique »).

## Poster

### De la zootechnie à la biologie intégrative : histoire du paysage du Campus Inra de Jouy-en-Josas

Notre enquête porte sur le centre national de recherche zootechnique de l'Inra à Jouy-en-Josas (CNRZ), le berceau de la recherche sur les productions animales. Ouvert en 1950 avec pour enjeu de recherche la modernisation de l'élevage français, le domaine agricole de Vilvert fut quasiment déserté dans les années 1970 suite à une vague de décentralisation imposée par l'Etat. Lorsqu'en 1980 l'Inra se lance dans les biotechnologies, le centre de recherche de Jouy-en-Josas en devient le fer de lance. Il est aussi entraîné dans le mouvement de polarisation de la recherche au sein de la Région Ile-de France et plus tard, de l'Université Paris-Saclay. Bien qu'il ne porte plus l'épithète « national », le Campus de Vilvert conserve une haute valeur symbolique pour l'institution du fait de sa situation métropolitaine et de son envergure internationale.

En abordant le Campus de l'Inra de Jouy-en-Josas comme un paysage socio-technique qui rend visible l'histoire du champ scientifique des productions animales, nous étudions l'inscription de cet objet dans l'espace géographique à travers des cartes que nous mettons en parallèle avec l'évolution des territoires scientifiques. Dans l'espace scientifique, les champs thématiques se situent à la frontière des sciences de l'animal, de l'alimentation et des microbes. Nous avons cherché à cartographier les réseaux de collaboration scientifique à travers une analyse lexicométrique des productions scientifiques. Nous postulons que les changements dans la gestion du territoire physique traduisent les dynamiques sociales, épistémiques et politiques d'un champ de recherche autant qu'ils les modèlent.

Ce travail contribue à l'étude des changements induits par le passage d'un régime de production des connaissances qualifié de colbertiste très lié aux filières de l'élevage à un régime de capitalisme académique voué aux biotechnologies (Bonneuil et Thomas, 2009) et comment ils s'inscrivent dans les matérialités. Cette notion de régime permet d'appréhender comment s'articule un ensemble non homogène mais néanmoins coordonné de discours, de pratiques, de productions (écrits, techniques, standards, procédures), de valeurs et de normes (épistémologiques, morales et sociales) dans et hors du monde de la recherche. Au niveau géographique, les bâtiments d'élevage sont déconstruits pour libérer de la surface au profit de laboratoires de biologie moléculaire. Ces agencements sont contemporains de transformations dans les cultures épistémiques des chercheurs. Dans la période antérieure, il s'agissait plutôt d'agronomes souvent plus enclins à transférer les connaissances à la profession qu'à rédiger des articles pour des revues scientifiques. La révolution « biotech » voit arriver de jeunes universitaires tandis que l'institution incite ses chercheurs à l'excellence scientifique, ce qui se traduit par des publications dans des revues internationales. Parallèlement à ces dynamiques globales, le périmètre du Campus s'étend par le fait des alliances institutionnelles locales.

L'analyse lexicométrique des productions scientifiques montre que les coopérations de proximité (entendu comme géographique et disciplinaire) sont les plus fréquentes. Ces transformations sociales, organisationnelles et techniques préexistent à la promesse scientifique consistant à mettre en avant la biologie intégrative pour affirmer la possibilité de concevoir un animal en fonction de finalités prescrites par des enjeux d'innovation et de durabilité.

Bonneuil et Thomas, 2009. Gènes, pouvoir et profits. Ed Quae. 619 pages.

### Eléments biographiques

Docteure en physiologie animale et maître en études des sciences et de l'innovation, Evelyne a conduit des travaux sur les effets préventifs de l'alimentation à l'Inra. Depuis 2011, elle s'intéresse aux régimes de production des connaissances. Elle a choisi le centre Inra de Jouy-en-Josas comme terrain d'enquête pour étudier les activités interdisciplinaires dans la biologie intégrative et interroger le rôle des plateformes technologiques dans les activités intermédiaires. Lhoste, EF, et Barbier, M. 2016. Fablabs : l'institutionnalisation de Tiers-Lieux du hacking soft. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*. Lhoste, EF, De Montera B. 2011. L'expérimentation animale : une responsabilité à dire et à partager. Natures, Sciences, Sociétés.

**Session : Matériaux et conservation**

**La corrosion et le patrimoine au LAPA, une décennie de recherche appliquée dans le domaine des matériaux métalliques**

La corrosion des objets archéologiques métalliques conduit à leur dégradation et met en danger leur préservation sur le long terme. Selon les métaux et les contextes de dégradations, différents systèmes de corrosion se forment. Par exemple ces mobiliers peuvent subir des périodes d'abandon, en milieux terrestres, subaquatiques et sous-marins, ou être, durant leur utilisation, exposés à l'atmosphère ou à des liants de scellement, cas des éléments métalliques architecturaux de structure, de la statuaire et des objets de musée. Ces systèmes de corrosion d'une grande diversité découlent sur des problématiques de dégradations complexes et spécifiques. La recherche en science de la conservation dans ce domaine nécessite donc le développement en amont d'approches innovantes de la physico-chimie en collaboration étroite avec des laboratoires de recherche interdisciplinaires des sciences humaines et de la conservation afin de mettre en œuvre des stratégies de conservation adaptées.

C'est dans ce contexte que le Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (LAPA, CEA/CNRS) a développé ses projets de recherche au cours de cette dernière décennie. L'approche développée dans le domaine de la corrosion des objets archéologiques et de leur conservation, se veut résolument mécanistique. Elle est basée sur le postulat que la mise en œuvre de solutions pratiques pour lutter contre la disparition de ces objets est indissociable d'une connaissance de la physico-chimie des couches formées et des mécanismes de corrosion associés.

La méthodologie développée au LAPA repose sur un protocole analytique de caractérisation multi-échelle des couches épaisses jusqu'à plusieurs millimètres des produits de corrosion (fer, acier, bronze etc...). Des outils analytiques de laboratoire ainsi que sous rayonnement synchrotron utilisés à des échelles du nanomètre à celle de l'objet, ainsi que des dispositifs d'observation in-situ des processus sont mis en œuvre dans cette démarche. Cette communication présentera d'une part l'avancée des connaissances sur les mécanismes de corrosion sur le long terme en fonction des milieux et d'autre part l'effet de traitement de conservation d'objets archéologiques (cas de la déchloruration) sur l'évolution des systèmes de corrosion. Elle s'ouvrira sur les perspectives d'évolution méthodologique autour, notamment, des traitements statistiques des données en imagerie hyperspectrale ainsi que sur la mise en œuvre de nouveaux traitements et revêtements innovants pour la protection des métaux du patrimoine.

**Eléments biographiques**

Delphine Neff est chercheuse au CEA depuis 10 ans organisme au sein duquel elle a développé l'approche des analogues archéologiques pour l'étude de la corrosion sur le long terme. Elle a contribué à la mise en place d'une méthodologie adaptée à l'étude des couches d'altération des objets anciens et à la compréhension des transformations induites lors des traitements effectués sur les objets archéologiques. Ses recherches se poursuivent sur la mise en place de traitement et de protection innovants pour la protection du patrimoine métallique.

Poster

**Mosaic tesserae: analyses of late Roman and Byzantine glass and gold**

Glass mosaics are considered among the most outstanding and elaborate forms of mural and floor decoration in Antiquity. From the Late Antique and Byzantine periods onwards, coloured glass and gold leaf *tesserae* covered large surfaces and were the prevalent material of wall mosaics. Despite the rise in interest for mosaic *tesserae*, the workshops where glass *tesserae* were made are still unknown and the analytical data available for Late Roman and Early Byzantine (4th-8th c.) glass does not allow accurate dating (Neri-Verità 2013, Neri, Morvan, Colomban, Guerra, Prigent submitted & Neri, Verità, Biron, Guerra submitted). The large number of studies and chemical analyses performed on ancient glass over the last decades suggests that glass manufacturing was a two-stage process: first the production of glass ingots and then the manufacture of glass objects (Baley-Freestone-Jackson 2015). Abundant literature is also available on the raw materials and their provenance, on the compositional classification of raw glass, and on the chronology of the glass objects. Glass *tesserae* from the 1st to the 8th c. were made from soda-lime glass characterized by low potassium, magnesium and phosphorus contents (so-called natron-type glass). After the 8th c. a new type of soda-lime-silica glass containing higher potassium, magnesium and phosphorus contents, produced with plant ashes rich in soda and lime, serving as flux, was introduced. However, both natron and ash glass continued to circulate side-by-side until the 12th c., and mixed-types (natron glass mixed with ash glass or ash) have been identified. Some scholars suggested that mosaic *tesserae* produced from the 4th-5th c. onwards could originate either from the dismantling of older mosaics or the melting of cullet (Schibille and Freestone 2013). Surely, *tesserae* re-using was a widespread practice, attested by many sources from the 1st to the 12th c., but it is nowadays impossible to define the ratio between re-use and new production. The split of production between primary workshops, which made glass ingots, and secondary workshops, which fabricated artefacts, has important implications for the interpretation of the analytical data. The chemical composition of the *tesserae* base glass is not specific to the workshop producing the artefact, but rather to the primary infrastructure producing the raw glass. The addition of colouring and opacifying agents to a mosaic glass is a complex process, but their identification could hint at the location of the secondary workshop where the glass cakes were made. For the gold leaf made of a beaten thin gold leaf sandwiched between two glass layers, the production and chronology can be evaluated by the analytical study of both the gold and the glass of the tesserae used in the mosaic patterns. The gold alloys, whose composition seems to indicate the use of monetary alloys, could be envisaged to be used as source of information on the mosaics chronology (Neri-Verità 2013).

110 gold leaf tesserae and coloured opaque tesserae (selected from archaeological sites in France, Germany, Italy, Albania, Turkey, Syria, Israel) covering the period that goes from the 4th to the 10th century, were analysed by optical microscopy, SEM-EDS, PIXE-PIGE, and Raman microspectroscopy to search for the composition and the structure of the glass, the composition of the gold leaves and the nature of pigments and opacifiers.

The Raman signatures and the composition of the glass are typical of soda-lime-silica glass and showed the presence of several opacifiers. For the opaque and coloured tesserae, the use of soda ash matrix glass and the presence of calcium antimonates, pyrochlore solid solution and cuprite in many samples showed the continuity in a Roman technological tradition. However, the presence of cassiterite and quartz in samples from the beginning of the 5th century allowed distinguishing new from reused tesserae by narrowing the dating range. For the gold leaf tesserae, the good match of the gold leaf compositions with circulating monetary alloys (see Neri-Verità 2013 & Neri, Verità, Biron, Guerra submitted) provided criteria that could be used to date the production of the tesserae and to confirm the separation between new productions and re-used tesserae. Since after the 7th century the circulation of gold in the Byzantine Empire was less controlled, that relation is harder to be established.

The use of different types of raw glass and different recipes of opacification suggests the existence of several workshops in the Eastern and Western part of the Mediterranean.

- J. BAILEY- I.C. FREESTONE- C. JACKSON, *Glass of the Roman world*, Oxbobooks, Oxford, 2015.  
E. NERI - M. VERITÀ, Glass and metal analyses of gold leaf tesserae from 1st to 9th century mosaics. A contribution to technological and chronological knowledge, "Journal of Archaeological Science" 40 (2013), p. 4596-4606.  
E. NERI - A. CONVENTI - M. VERITÀ, Glass mosaic tesserae from the 5th-6th century baptistery of San Giovanni alle Fonti, Milan, Italy. Analytical investigations, in L. JAMES (ed.), *New Light on Old Glass: Byzantine Glass and Mosaics*, p. 1-13.  
E. NERI, M. VERITÀ, I. BIRON, M.F. GUERRA, Glass and gold: analyses of 4th-12th centuries Levantine mosaic tesserae. A contribution to technological and chronological knowledge, in "Journal of archaeological science", submitted in October 2015.

E. NERI, C. MORVAN, PH. COLOMBAN, M.F. GUERRA, V. PRIGENT, Raman Identification of Opacifiers in Late Roman and Byzantine Mosaic Tesserae (5th-9th c.): Continuity and Discontinuity of Roman Glass Technology, in "Archaeometry", submitted in November 2015.

SCHIBILLE N., FREESTONE I.C., 2013. Composition, Production and Procurement of Glass at San Vincenzo al Volturno: An Early Medieval Monastic Complex in Southern Italy, PLoS ONE 8 (10), e76479.

### **Eléments biographiques**

Elisabetta Neri, PhD at the Catholic University of Milan, is a Late Antique and Early Medieval archaeologist, specialising in craft techniques. She has cooperated in teaching and scientific activity at the same university since 2003. She is a scientific member of the Italian archaeological mission at Hierapolis, and an associate researcher at UMR 8178 in Paris. Her scientific work follows a multidisciplinary approach (archaeology, archaeometry and written sources) and is focused on two main subjects: the first is the archaeology of the techniques used (in particular Medieval bells, and Late Antique and Byzantine wall mosaics), the second is the archaeology of churches and of perception (both visual and acoustic) of their interiors. During the four year of post-doc in Paris (at Labex RESMED and at UMPC Programme Convergence Sorbonne Universités), she has collaborated with C2RMF (Isabelle Biron and Maria Guerra), MONARIS-UMPC (Philippe Colomban) and LAMS (Philippe Walter) and she has a leader of two CHARISMA projects.

## Poster

### New AGLAE : jalons et état d'avancement

Depuis plus de 25 ans dans les sous-sols du Palais du Louvre, l'Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire alias AGLAE est dédié à l'étude des matériaux du patrimoine. Ce grand équipement n'a pas cessé d'être développé et adapté aux contraintes particulières des objets d'art [1]. et c'est dans la même perspective que s'inscrit le projet Equipex New AGLAE (ANR-10-EQPX-22).

Pluridisciplinaire, ce projet fournira une ligne de faisceau exceptionnelle et polyvalente avec de très bonnes performances en terme de stabilité de faisceau, résolution spatiale et des capacités de détection multiples et concomitantes bien supérieures à la ligne de faisceau précédente.

L'un des objectifs du projet New AGLAE est d'automatiser la ligne de faisceau permettant ainsi d'augmenter le temps de faisceau effectif. Pour atteindre ce but, une meilleure stabilisation en énergie et position est nécessaire, constituant une étape pré-requise indispensable. Ce travail en cours s'effectue en collaboration avec la société Thalès et nécessitera l'arrêt d'AGLAE pendant plusieurs mois entre 2016 et 2017 afin d'intégrer les nouveaux éléments d'optique de faisceau dans la ligne à haute énergie.

Afin de préserver les matériaux anciens et de diminuer d'éventuelles modifications induites par le faisceau de particules, un multi-détecteur composé de 5 détecteurs de rayons X SDD de 50 mm<sup>2</sup> chacun a été conçu et réalisé, permettant de diminuer l'intensité du faisceau incident. Ce multi-détecteur est couplé à un système d'acquisition en listmode, enregistrant simultanément chaque événement et les coordonnées x, y du faisceau sur la cible. Ce nouveau système de détection permet ainsi de réaliser des images chimiques systématiques et est déjà opérationnel sur la ligne actuelle d'AGLAE [2]. Des outils de traitement de données, AGLAEMap, TRAUPIXE et DataImaging, sont également développés au quotidien afin de visualiser, traiter et représenter les résultats quantitatifs obtenus en PIXE, PIGE, IBIL et RBS/EBS.

Des résultats obtenus sur des objets du patrimoine illustreront les développements instrumentaux.

[1] J.C. Dran, J. Salomon, Th. Calligaro, Ph. Walter, Ion beam analysis of art works: 14 years of use in the Louvre, NIMB, June 2004, 219-220, 7-15.

[2] L. Pichon, B. Moignard, Q. Lemasson, C. Pacheco, Ph. Walter, Development of a multi-detector and a systematic imaging system on the AGLAE external beam, NIMB, January 2014, 318, 27-31.

### Eléments biographiques

Docteur en Physique des Archéomatériaux de l'Université de Bordeaux 3, Claire Pacheco a soutenu sa thèse en 2007 sur l'Etude de films d'or sur matière vitreuse – application à la céramique glaçurée islamique médiévale – Asie Centrale XIVe-XVe s., Iran XIIe-XIIIe s. Elle s'est ensuite intéressée à la mise en forme des feuilles métalliques obtenues par battage au cours d'un post-doc en 2008 au CEMEF – Mines ParisTech à Sophia-Antipolis. Elle a rejoint l'équipe AGLAE en 2010, tout d'abord en tant que post-doctorante pour la coordination des projets CHARISMA sur l'accélérateur de particules AGLAE, et depuis 2011, elle est responsable du groupe AGLAE+ au sein du département recherche du centre de recherche et de restauration des musées de France

## Table ronde : Corpus et séries

### Contribution de la ligne DiffAbs du synchrotron SOLEIL pour la caractérisation multi technique et multi-échelle des matériaux du patrimoine dans la gamme des rayons X

Les nombreuses lignes de lumière du synchrotron SOLEIL permettent d'explorer diverses questions scientifiques dont l'étude des matériaux du patrimoine. Chaque ligne de lumière est spécialisée par domaine d'énergie (des rayons infrarouges aux rayons X durs, i.e. énergie jusqu'à plusieurs dizaines de keV) et propose une à plusieurs techniques d'analyse ponctuelle et/ou d'imagerie permettant d'accéder à des informations morphologiques, chimiques et/ou structurales. Différentes échelles de mesures sont disponibles depuis le mm jusque l'échelle nanométrique, avec plus de 10 lignes de lumière offrant une résolution spatiale inférieure à 10  $\mu\text{m}$ . Un même échantillon peut être caractérisé sur différentes lignes de lumière par le large panel de techniques d'analyses complémentaires accessibles mais des mesures multimodales sur une même ligne de lumière peuvent également être envisagées avec une variabilité de la taille du faisceau en lien avec l'hétérogénéité du matériau étudié.

DiffAbs est une ligne de lumière optimisée pour combiner des mesures de diffraction des rayons X et de spectroscopie d'absorption et de fluorescence des rayons X (dans une gamme de 3 à 23keV). L'intérêt de ce couplage est de garantir que les mesures sont effectuées sur la même zone de l'échantillon, dans des conditions physico-chimiques totalement identiques, afin d'établir des corrélations entre les informations acquises dans le cas de matériaux complexes ou en conditions extrêmes ; en particulier les études de transformations in-situ de matériaux sous traitement chimique, contraintes ou encore portés à hautes températures.

En mode continu d'acquisition et en bénéficiant de l'efficacité des détecteurs (performances temporelles, faible bruit, bonne linéarité de la réponse, etc.) combinés à un faisceau de rayons X focalisés (flux de photons important de la source synchrotron) et une synchronisation de la position de l'échantillon dans le faisceau, il est possible d'acquérir des données à des fréquences de plusieurs 100 Hz. En particulier pour DiffAbs, des cartographies sur plusieurs 10 mm<sup>2</sup> à une résolution latérale de quelques 10  $\mu\text{m}$  sont réalisables dans des intervalles de temps rapides (inférieur à l'heure) avec des contrastes en absorption, fluorescence et/ou diffusion (incluant la diffraction).

Ces développements expérimentaux profitent pleinement aux matériaux du patrimoine et certains résultats obtenus récemment sur la ligne seront présentés :

- (1) Dans le cadre de l'optimisation des stratégies de conservation des métaux, des mesures in situ ont permis d'une part de mettre en évidence des processus de corrosion mais encore de réaliser un suivi cinétique de stabilisation d'objets archéologiques lors de leur déchloration [1, 2].
- (2) Des cartographies d'éléments traces dans des fossiles à conservation exceptionnelle ont apporté de nouvelles données anatomiques et palé-environnementales [3, 4].
- (3) Les modifications chromatiques de certains pigments ont été étudiées [5, 6].

[1] S. Grousset et al. JAAS, 2015

[2] J. Monnier et al. Corrosion Science, 2014

[3] P. Gueriau et al. PLoS One, 2014

[4] P. Gueriau et al. Analytical Chemistry, 2015

[5] C. Gervais et al. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 2015

[6] C. Santoro et al. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 2014

### Eléments biographiques

Solemn Reguer, scientifique de la ligne DiffAbs, Synchrotron SOLEIL. Physico-chimiste impliquée dans le développement de techniques de caractérisation des matériaux par rayonnement synchrotron ; spécialisée dans l'utilisation de la spectroscopie d'absorption et de fluorescence des rayons X ainsi que la diffraction de poudres. Recherche en lien avec l'étude des matériaux du patrimoine : altération et protection des métaux, optimisation de traitements de stabilisation d'objets archéologiques et développement de stratégies de conservation altération des pigments (bleu de Prusse et pigments verts au cuivre).

## **Poster**

### **Les collections des musées, matières, matériaux et archives matérielles**

Le musée ne conserve, à proprement parler, que de la matière ; comment transmettrait-il des savoir-faire qui ne se transmettent que dans la pratique, dans le cadre du groupe de travail, à la différence des savoirs enseignés formellement, en milieu scolaire par exemple ? Il n'a pas, à notre sens, comme objectif principal de diffuser des connaissances ou techniques, d'acculturer à la technique, ou de permettre une meilleure adaptation des gens à leur environnement technique. En effet, l'objet d'art est le produit d'une approche esthétique mais également technique par les processus qui sont mis en cause lors de sa création ou de sa production. Questionnements :

- Le premier porte sur la technique et les matériaux constitutif des objets, la technique étant alors définie comme les moyens mis en œuvre pour atteindre ses fins.
- Le second, au premier abord plus inattendu, questionne la manière dont les musées donnent à percevoir et à penser la technique comprise comme l'ensemble des procédés, propres à une société donnée, nécessaires aux activités de production.

Dans le monde moderne, la technique n'est pas seulement cette part du réel qui se surajoute à ce qu'on appelle la nature. La nature est, en effet, presque en tous lieux, habitée, modifiée, travaillée par des procédés et des objets techniques. Dès lors, le geste n'a plus à se faire oublier pour laisser apparaître la nature.

Cette conception erronée consiste à réduire la technique à son statut instrumental. Fascinés Nous croyons que la technique est seulement un ensemble de moyens artificiels que les hommes mettent au service des fins qu'ils poursuivent. Selon ce point de vue, le seul problème de la technique est de maîtriser les moyens en question pour les mettre au service des fins les plus élevées.

Mais, nous dit Heidegger, si « la technique menace davantage d'échapper au contrôle de l'homme », si elle résiste, c'est précisément en vertu de notre ignorance à son égard. Non pas que les objets techniques n'aient pas d'utilité, mais parce que « l'essence de la technique n'est absolument rien de technique L'objet technique se définit par sa cohérence interne, non par son usage. En premier lieu, il convient d'affranchir la technique de sa réduction à l'instrumentalité et à l'utilité par quoi on l'asservit à des fins extérieures : nous ne voyons pas. A strictement parler, nous ne savons pas ce qu'est un objet technique, ce qu'il y a de spécifiquement technique à penser. Or, il ne faut pas confondre l'usage que nous en faisons, selon des conditions économiques et sociales variables qui permettent d'expliquer pourquoi celui-là est fabriqué plutôt qu'un autre, et son être propre, ce qui fait qu'il est techniquement réalisable. Cet être propre consiste en une matérialité qui est tout autant une cohérence de toutes ses parties. Or cette unicité entre l'aspect matériel concret son rapport à l'image qui constituent l'originalité et l'authenticité des collections de musées.

Les Métiers du patrimoine et leur implication dans le processus opératoire autour du bien culturel. Pour arriver à bâtir une politique culturelle autour des collections, il faut aussi une meilleure compréhension et une meilleure intégration de la culture de l'Autre. Ainsi les conservateurs du patrimoine qui ont une activité de recherche reconnue par leur statut en 2007 font parfois trop confiance aux « scientifiques » et cèdent parfois trop souvent à la culture « scientiste » qui a court dans le monde muséal depuis les années 1980. Or, leur métier consiste en effet par rapport aux universitaires en sciences humaines de se préoccuper de la matérialité des œuvres et de leur histoire matérielle Il faudrait pour ce faire que les conservateurs acquièrent un minimum de connaissances techniques des matériaux.

Culture de l'atelier, culture du laboratoire, culture académique ? Ces deux approches sont ressenties comme antithétiques et non complémentaires Comment construire une transdisciplinarité nécessaire à l'étude des collections dans le cadre de la professionnalisation accrue des métiers du patrimoine ?

### **Eléments biographiques**

Conservateur en chef du patrimoine (ministère de la culture) ; Institut national du patrimoine, chargée de Mission auprès du directeur des études du département des restaurateurs. chargée du programme « égalités des chances » ; Doctorante en histoire des techniques, Centre d'histoire des techniques de l'Université Panthéon-Sorbonne Paris I, « Histoire des techniques, matières et matériaux dans la pratique des musées de France, des années 1960



aux années 2000 »; Chercheur associé au CH2ST-EA 127, IHMC ,Centre d'histoire des techniques de l'Université Panthéon-Sorbonne Paris I. Enseignements: 2014-2015 École du Louvre; Classes préparatoires au concours de conservateur : encadrement d'étudiants; Institut national du Patrimoine (INP); Université Sorbonne Paris IV; Intervenante dans la master 1 et 2 de l'UFR d'études slaves CIMER Université Panthéon-Sorbonne Paris I; Centre d'histoire des Techniques.

## Table ronde : Corpus et séries

### Dématérialiser le patrimoine matériel – quelle interface entre patrimoine et humanités (numériques) ?

Le projet européen Iperion CH regroupe un ensemble d'acteurs européens offrant des services d'infrastructure pour l'étude du patrimoine matériel sous la forme d'équipements fixes ou mobiles. Ces différents services génèrent potentiellement de grandes quantités de données qu'il est nécessaire de gérer et documenter. En particulier, il semble utile de travailler à la constitution d'un réservoir de telles données, qui soit consultable par une large communauté de chercheurs, notamment en sciences humaines. On peut ainsi penser au rôle que peuvent jouer des analyses précises d'une œuvre pour un historien des arts qui souhaite étudier l'évolution de la technique d'un peintre par exemple. La mise en place d'une telle infrastructure de données réutilisables dans le domaine du patrimoine matériel se heurte cependant à plusieurs difficultés que nous essayons de réduire au sein du projet Iperion. Tout d'abord, il n'est pas nécessairement dans la culture du déploiement des équipements eux-mêmes d'envisager une réutilisation large des données. Le scénario de base est souvent celui d'un chercheur qui va conduire une analyse ciblée d'un objet patrimonial, pour ensuite exploiter lui-même les résultats correspondants et passer à l'analyse suivante, sans se préoccuper d'une réutilisation des données produites. Ensuite, du point de vue des formats de données, on observe l'absence de réels standards de représentation communs aux différents types d'équipements. On se retrouve ainsi à devoir gérer des données propriétaires qui dépendent principalement des constructeurs des équipements. Enfin, se pose le problème complexe des droits d'utilisation, qui combinent un ensemble de difficultés liées au statut des œuvres elles-mêmes, aux règles régissant l'équipement, mais aussi à la volonté de partage du chercheur qui a effectué le recueil initial des données. Dans ce cadre, notre objectif est de mettre en place une démarche d'analyse de l'état des lieux et de proposition de principes communs de gestion des données au sein du projet. Il s'agirait ainsi de préfigurer une charte de gestion des données applicable à la future infrastructure européenne E-RIHS, en collaboration avec l'infrastructure numérique DARIAH en sciences humaines. Nous avons ainsi recueilli les réponses des différents partenaires du projet concernant à la fois les modes de gestion des équipements, et le statut des jeux de données disponibles. La variété des réponses obtenues montre déjà que seules des recommandations génériques pourront être produites à l'échelle européenne, et nous esquisserons quelques propositions dans ce sens.

### Eléments biographiques

Laurent Romary est directeur de recherche à Inria où il mène des recherches dans le domaine des humanités numériques et plus particulièrement sur la modélisation et la représentation de données en sciences humaines et sociales. Depuis plusieurs années, il a contribué à la définition des politiques d'information scientifique du CNRS, de la société Max Planck et d'Inria, où il a contribué notamment à la définition d'une obligation de dépôt en archives ouvertes dans HAL. Il a aussi participé de longue date à la définition et à l'évolution des directives de la TEI (*Text Encoding Initiative*), notamment comme membre, mais aussi comme président du conseil technique de la TEI, et préside le comité 37 de l'ISO (Organisation internationale de normalisation). Il dirige l'infrastructure Européenne DARIAH pour le développement de méthodes numériques en sciences humaines et sociales.

<https://cv.archives-ouvertes.fr/laurentromary>

**Session : Méthodes et données**

**Paléothermométrie Raman de carbonisats anthropiques : un nouvel outil prometteur pour l'archéométrie**

Nos études structurales récentes de pyrolyse du bois ont montré la puissance de la microspectrométrie Raman pour suivre les progrès de la carbonisation. Ainsi, le rapport des hauteurs HD/HG des 2 principales bandes Raman des carbones croit-il continûment avec la température de traitement entre 500 et 1200°C. L'étude de la carbonisation du pin sylvestre (espèce de bois exclusivement rencontrée dans la grotte Chauvet) nous a permis de proposer d'utiliser ce rapport HD/HG comme un thermomètre, avec une précision de l'ordre de +/- 15°C dans la gamme 600-900°C. Ce thermomètre est basé sur un traitement extrêmement simple des spectres Raman ne nécessitant aucune décomposition préalable. Nous avons montré que l'effet de la nature du précurseur végétal était négligeable et que celui du temps de résidence à la plus haute température était très faible et même nul au-delà de 6 heures de temps de résidence. Nous disposons ainsi d'un thermomètre à maximum enregistrant la plus haute température atteinte au cours de l'histoire du carbonisat.

Ce paléothermomètre Raman est un nouvel outil très prometteur pour l'archéométrie. Ainsi pour étudier les traces de feu préhistoriques, il donne des estimations fiables et précises des températures à partir de l'analyse de seulement quelques fragments micrométriques de carbonisats anthropiques (« charbons »), prélevés dans des foyers, certifiés ou supposés. Il devrait par exemple contribuer à mieux contraindre les estimations de température des foyers au bas de panneaux ornés de la grotte Chauvet lesquels sont supposés responsables d'un certain ramollissement, accidentel ou délibéré, des parois.

Parallèlement, une étude débute sur des « traces noires » échantillonnées en 1992 et en 1993 dans la grotte de Bruniquel par François ROUZAUD, Conservateur en Chef au service régional de l'archéologie de Midi Pyrénées. Nos tout premiers résultats vont dans le sens des hypothèses émises par F. ROUZAUD il y a plus de 20 ans : présence de carbonisats dans des structures de type foyer ainsi que dans une stalactite cassée au fond noirci qui aurait pu servir de lampe. De plus, dans au moins un échantillon, la détection combinée de phosphore, de calcium et d'oxygène (analyse EDX dans un MEB-FEG) sont en bon accord avec la présence de fragments de carbonisats issus de la combustion d'os. Tous ces résultats, très préliminaires, sont bien sûr à confirmer. Nos résultats seront confrontés aux études de spectroscopie Infra-Rouge actuellement menées par Dominique GENTY, Sophie MARIOT, Sophie VERHEYDEM et Jacques JAUBERT sur un os brûlé.

Il est prévu que ces études soient étendues à d'autres carbones anthropiques comme des suies formées dans des feux, facilement distinguables des carbonisats de type charbon de bois par Microscopie Electronique par Transmission Haute Résolution (cf. Rouzaud et al., 2015).

Rouzaud J.-N., Deldicque D., Charon E., Pageot J., 2015. Carbons at the heart of questions on energy and environment: A nanostructural approach. *C. R. Geoscience* 347 (2015) 124–133).

**Eléments biographiques**

Jean-Noël Rouzaud, docteur ès Sciences, DRCE-CNRS, Laboratoire de Géologie de l'ENS-Paris, UMR 8538

1979 : Doctorat de 3ème cycle, entrée au CNRS 1984 : Doctorat d'Etat ès Sciences Physiques 1986 - 2004 : Centre de Recherche sur la Matière Divisée ; DR2 en 1992 2004 - 2016 : Laboratoire de Géologie de l'ENS ; DR1 en 2009. 2014 : Grand Prix de l'Académie des Sciences (Prix Tissot) 2016 : Directeur de Recherche de Classe Exceptionnelle

Compétences : Carbones naturels, anthropiques, industriels ; Organisation multi-échelles ; Microscopie électronique en transmission, microspectrométrie Raman ; Mécanismes de carbonisation, de graphitisation, archéométrie

Bibliométrie : 182 publications, 210 communications, 21 conférences invitées ; 4887 citations, H index : 36 ; 20 thèses encadrées, 42 contrats, 3 brevets

### Session : Patrimoine et représentations sociales

#### Tournant matériel contre tournant numérique ? Quelques considérations sur insuffisances et potentiels

La communication proposée est conçue comme une suite et une extension des problématiques abordées dans la proposition de communication de Philipp Leu, «Matérialité dématérialisée : enjeux et défis de la numérisation des revues artistiques et littéraires de la fin du XIXe siècle». Elle se fonde sur l'expérience acquise à travers l'élaboration de mon ouvrage *La Chair du livre : matérialité, imaginaire et poétique du livre fin-de siècle* (Paris, PUPS, «Histoire de l'imprimé», 2012, rééd. 2013) et la co-direction du second volume de *L'Europe des revues (1860-1930) : réseaux et circulations des modèles* (Paris, PUPS, «Histoire de l'imprimé», à paraître en septembre 2016). Dans le prolongement des questions soulevées par Philipp Leu, il s'agirait non pas tant de souligner les défis que la matérialité pose au numérique que de montrer de quelle manière les humanités numériques pourraient compléter et enrichir notre lecture des supports traditionnels en matière de recherche sur les livres et les périodiques.

La communication proposée insisterait tout d'abord sur l'approche massivement textuelle réservée aux livres et périodiques. Elle soulignerait ses implications notamment philologiques et la hiérarchie qu'elle implique. Elle reviendrait ensuite sur la notion de réinterprétation (*remediation*) et la manière dont les nouveaux médias de chaque période « honorent, rivalisent avec et corrigent » les médias précédents (Jay Bolter and Richard Grusin, *Remediation: Understanding New Media*, Cambridge, MA, MIT Press, 1992).

Elle porterait ensuite notamment sur :

- l'importance des éditions numériques à développer en complément nécessaire de la numérisation massive qui ne livre pas à la recherche les résultats désirés (un point déjà souligné par Latham et Scholes)
- la manière dont notre époque (qualifiée par Robert Darnton de «quatrième ère de communication») peut enrichir notre approche du patrimoine matériel. Trois tentatives de possibilités de reconstitution des réseaux historiques peuvent être brièvement évoquées : le site *The Yellow Nineties on Line*, le programme italien *Capti : Spreading visual culture : contemporary art through periodicals*, archives and illustrations, et le développement par la BnF de l'outil *data.bnf.fr*, fondé sur l'hypertexte, qui pourraient servir à modéliser un système d'approche des réseaux des revues.

#### Eléments biographiques

Evangelia Stead, Professeure de Littérature Comparée à l'UVSQ (littératures classiques et européennes), EURIAS Senior Research Fellow en 2014-2015, dirige le séminaire interuniversitaire du TIGRE à l'ENS sur les livres et les périodiques depuis 2004. Ses travaux portent la poétique et l'imaginaire fin-de-siècle, la matérialité et l'imaginaire du livre, la lecture avec images, les périodiques en Europe, certains mythes, et la tradition littéraire de la mille et deuxième nuit (littératures européennes et arabe). Parmi ses livres, *Le Monstre, le Singe et le Fœtus: Tératogonie et décadence dans l'Europe fin-de-siècle* (Droz, 2004), *l'Odyssée* d'Homère (Gallimard, 2007), *L'Europe des revues, 1880-1920 : Estampes, photographies, illustrations* (PUPS, 2008), *Seconde Odyssée : Ulysse de Tennyson à Borges* (Millon, 2009), *Contes de la mille et deuxième nuit* (Millon, 2011), *La Chair du livre : matérialité, imaginaire et poétique du livre fin-de-siècle* (PUPS, 2012).

## Table ronde : Méthodes et matériaux

### Histoire de l'art et signification des matériaux. Bilan de la recherche actuelle

En plein essor dans la recherche anglo-saxonne ou néerlandaise, le thème de la matérialité de l'art et en particulier l'étude des matériaux constitutifs de l'œuvre émergent à peine dans la recherche française en histoire de l'art moderne (XVe-XVIIIe siècles), alors même que les institutions françaises de recherche sur le patrimoine ont depuis longtemps une expertise poussée dans l'analyse physico-chimique des matériaux du patrimoine.

La communication visera donc à faire un état des lieux des recherches actuelles en histoire de l'art à propos des matériaux constitutifs des œuvres et de leur signification. On s'intéressera aux approches d'histoire économique, d'histoire des sources techniques, d'histoire anthropologique appliquées aux matériaux du patrimoine, en tentant de montrer comment l'histoire de l'art peut enrichir ses problématiques grâce aux analyses physico-chimiques.

Christy ANDERSON, Anne DUNLOP & Pamela H. SMITH (dir.), *The matter of art. Materials, practices, cultural logics, c. 1250-1750*, Manchester, Manchester University Press, 2015

Erma HERMENS, « Technical art history. The synergy of art, conservation and science », in Matthew RAMPLEY et al. (dir.), *Art history and visual studies in Europe. Transnational discourses and national frameworks*, Leiden, 2012, p. 151-165

Jo KIRBY, Susie NASH & Joanna CANNON, *Trade in artists' materials. Markets and Commerce in Europe to 1700*, Londres, Archetype publications, 2010

Ann-Sophie LEHMANN, Frits SCHOLTEN, H. Perry CHAPMAN (dir.), *Meaning in materials, 1400-1800*, Netherlands Yearbook for History of Art, 62 (2012), Leiden/Boston, Brill, 2013

### Eléments biographiques

Romain Thomas est maître de conférences en Histoire de l'art moderne à l'université Paris Ouest Nanterre. Ancien élève de l'ENS Ulm (DS/98), diplômé du DEA de Physique Quantique (ENS/Paris 6, 2002), agrégé d'Histoire (2004), il a soutenu une thèse en Histoire moderne intitulée "La Fiancée hollandaise. Images du mariage et usages sociaux, religieux et politiques de la symbolique matrimoniale dans les Provinces-Unies au XVIIe siècle" (2012). Il a été en charge de la coordination scientifique de la Fondation des Sciences du Patrimoine (post-doc 2012-2014) et a animé, à cette occasion, un séminaire doctoral sur l'épistémologie des sciences du patrimoine. Ses recherches actuelles portent sur la matérialité de l'art, notamment par une approche intégrée de la physique et de l'histoire de l'art.

## Poster

### **Présentation d'ECHoMICADAS : un nouveau spectromètre de masse par un accélérateur dédié à la mesure du carbone 14 pour les Sciences de l'Environnement, du Climat et les Sciences Humaines**

Le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay) s'attache entre autres à replacer les événements marquants de l'histoire de la Terre et de l'évolution de l'Homme dans un cadre chronologique absolu. Depuis plus de 50 ans, l'équipe « Géochronologie-Traceurs-Archéométrie » a développé un parc analytique (traitements physico-chimiques et mesures physiques) pour dater les échantillons archéologiques (charbons, ossements, dents, poteries, coquilles...)1 afin de retracer les étapes du peuplement humain et l'évolution culturelle au cours du Quaternaire récent. Actuellement, ces mesures s'appuient sur un large éventail d'instruments : MC-ICPMS et ICPMS pour les datations Uranium-Thorium2, appareils de thermoluminescence et luminescence Stimulée Optiquement (TL/OSL) et un spectromètre de masse par accélérateur du laboratoire de mesure du carbone 14 (LMC14) pour les datations carbone 14 (14C)3. Depuis le mois de juillet 2015, ECHoMICADAS, un spectromètre de masse par accélérateur nouvelle génération4, dédié aux mesures de 14C a rejoint le LSCE. Cet instrument et ses éléments périphériques ont été financés par un ensemble de dotations issues de la région Ile de France (DIM Analytics), du fond européen de développement régional (FEDER), de la fondation BNP Paribas, du LabexBCDiv, des différentes tutelles ainsi que des ressources propres des trois laboratoires. L'acquisition d'ECHoMICADAS développé en partenariat avec ETH Zürich et en collaboration avec deux autres laboratoires franciliens, GEOPS (Univ. Paris Sud, CNRS) et AASPE (MNHN, CNRS) va permettre de mesurer des activités 14C sur des échantillons solides ou gazeux de petite taille (quelques dizaines de µg de carbone). Cette nouvelle technologie offre une facilité d'utilisation et une capacité analytique sans précédent et ouvre de nouvelles voies technologiques pour des échantillons inaccessibles auparavant. L'évolution des connaissances en archéologie a toujours bénéficié des améliorations technologiques et conceptuelles liées à la mesure de l'activité du 14C. Des résultats majeurs ont été ainsi obtenus à partir du 14C, notamment sur les grandes étapes des évolutions culturelles humaines par la datation des peintures rupestres5. ECHoMICADAS permettra d'envisager des développements méthodologiques qui amélioreront la fiabilité des datations. En effet, la possibilité de mesurer des microéchantillons rendra possible l'analyse d'extraits moléculaire organiques spécifiques (biomarqueurs) tels que l'hydroxyproline acide aminé du collagène, la conchioline protéine, des dégraissants organiques contenus dans les poteries. Pour les peintures pariétales, la datation des tracés noirs contenant peu de charbon mais aussi des liants organiques associés aux peintures rouges ou noires réalisées avec des oxydes de fer ou manganèse peut être envisagée.

Les premiers résultats d'ECHoMICADAS ainsi que quelques perspectives archéologiques seront présentés.

1. Tisnérat-Laborde et al. (2003) Radiocarbon 45(3), 409-419 ; Tisnérat-Laborde et al. (2001) Radiocarbon 43(2A), 299-304 ; Hatté et al. (2003) Radiocarbon 45(3), 421-430 ; Hatté et al. (2001) Radiocarbon 43(2A), 177-182.
2. Pons-Branchu et al. (2014) Quaternary Geochronology, 24, 44-53 ; Pons-Branchu et al. (2014) Bull. Soc. Prehist. Fr.111, 211-224 ; Douville et al. (2010) Chemical Geology, 272, 1-11.
3. Cottereau et al. (2007) Radiocarbon 49(2), 291-299.
4. Synal et al. (2007) NIMP Research B 259, 7-13.
5. Valladas et al. (2003) Antiquity, 77, 142-145 ; Roosevelt et al. (2004) Science, 272, 373-384 ; Valladas et al. (1992) Nature 357, 68-70.

### **Eléments biographiques**

Nadine Tisnérat-Laborde est ingénieur-chercheur au Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA), et plus précisément au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay). Elle est expert senior CEA dans le domaine des « Sciences du Climat et de l'Environnement » spécialité géochimie isotopique et actuellement, responsable du pôle 14C. Ses thèmes de recherche portent sur la géochronologie et la géochimie 14C. Engagée dans la R&D autour du 14C, ses champs d'applications vont de l'archéologie, l'étude de la dynamique de la circulation océanique à l'étude du cycle du carbone dans les hydrosystèmes. Elle est l'auteur de plus de 70 publications scientifiques :

[www.researchgate.net/profile/Nadine\\_Tisnerat-Laborde](http://www.researchgate.net/profile/Nadine_Tisnerat-Laborde)

## Table ronde : Corpus et séries

### Contribution de la datation C-14 (SMA) à la connaissance de l'art pariétal préhistorique

La datation carbone 14 par spectrométrie de masse par accélérateur (SMA) contribue de façon significative à la connaissance de l'évolution culturelle de l'homme préhistorique. L'une des applications importantes concerne l'art pariétal, dont l'étude chronologique a beaucoup progressé grâce aux datations directes des dessins et peintures réalisés avec du charbon de bois. La possibilité de dater de petits échantillons a permis des prélèvements pariétaux non vulnérants (quelques dizaines de milligrammes) et des mesures sur quelques centaines de microgrammes de carbone. L'homme préhistorique a fréquemment utilisé le dioxyde de manganèse pour obtenir la couleur noire mais quelques tracés pariétaux ont aussi été réalisés avec du charbon de bois (*pinus sylvestris*, en général) ; c'est le cas dans certaines grottes du Sud de la France et de sites espagnols (Altamira, el Castillo en région cantabrique...). En général, les datations de pigments pariétaux, notamment ceux prélevés sur des œuvres attribuées au Magdalénien (de 17 000 à 11 000 ans), sont en accord avec la chronologie fondée sur les données stylistiques<sup>1,2</sup>. Cependant, des âges antérieures<sup>3</sup> au Magdalénien, entre 27 000 et 23 000 ans ont aussi été mesurés sur des représentations des grottes ornées de Cougnac, Pech-Merle (Lot) ou de Cosquer<sup>4</sup> (Bouche du Rhône). Ces résultats ont confirmé l'existence proposée par plusieurs archéologues d'une activité artistique importante dès le Gravettien (de 27 000 à 22 000 ans), soit plus de 10 000 ans avant les peintures magdaléniennes. La découverte en 1994 de la grotte Chauvet Pont-d'Arc (Ardèche) et les datations d'esquilles charbonneuses récoltées sur plusieurs de ces dessins ont encore repoussé dans le passé l'apparition de l'art pariétal<sup>5</sup>. Les âges C-14 (32 000 à 30 000 ans BP) obtenus sur des œuvres remarquables ont contredit les théories en cours sur l'art paléolithique, en montrant qu'il n'avait pas évolué progressivement jusqu'à son plein épanouissement pendant le Magdalénien. Ces datations attestent que, dès l'Aurignacien (de 36 000 à 29 000 ans), à l'époque où les hommes modernes se sont répandus en Europe de l'Ouest, des artistes maîtrisaient parfaitement les techniques picturales. Cette présentation décrira les difficultés méthodologiques rencontrées lors de la datation C-14 des pigments ; elle présentera le bilan des données chronologiques obtenues sur des œuvres pariétales paléolithiques et leur apport à la connaissance des cultures préhistoriques.

1 Valladas, H., Quiros F., Clottes J., Cabrera Valdes V., Uzquiano P., Arnold M., (1992) Direct radiocarbon dates for prehistoric paintings at the Altamira, El Castillo and Niaux caves, *Nature*, 357, 68-70.

2 Valladas, H., Tisnerat-Laborde, N., Cachier, H., Arnold M., Bernaldo De Quiros F., Cabrera- Valdes, V., Clottes, J., Courtin, J., Fortea-Perez, J., Gonzales-Sainz, C., Moure-Romanillo, A., Radiocarbon AMS dates for Paleolithic cave paintings, (2001), *Radiocarbon*, 977 – 986.

3 Valladas, H., Clottes, J., Geneste, J. M., Garcia, M., Arnold, M., Cachier, H., Tisnerat-Laborde, N., (2001) Evolution of prehistoric cave art, *Nature*, 413, 479.

4 Clottes J., et Courtin, J (ed.). 2005, La grotte Cosquer, peintures et gravures de la caverne engloutie, Paris. (Ed. Seuil)

5 Clottes J. (ed.). 2001. La Grotte Chauvet – L'art des origines. Paris (Ed. Seuil)

### Eléments biographiques

Hélène Valladas, ingénieur-chercheur au Commissariat à l'Énergie Atomique, est rattachée au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, F- 91191 Gif-sur-Yvette, France. Elle s'intéresse à l'application des méthodes radionucléaires de datation à l'Archéologie. Son intérêt pour le Paléolithique moyen et le Paléolithique supérieur l'a conduit à étudier les étapes du peuplement de l'Europe et du Proche-Orient par les Hommes de Néandertal et les premiers Hommes modernes, en utilisant la méthode de la thermoluminescence sur silex chauffés. Ses recherches portent aussi sur l'évolution de l'art pariétal grâce à la datation directe des pigments organiques par la méthode du carbone 14 en spectrométrie de masse par accélérateur.

## Poster

### Présentation du projet ADeMat : analyse et description des matrices de sceaux du Moyen Age

Constitué de plusieurs milliers de matrices métalliques et de centaines de milliers d'empreintes en cire, le corpus sigillaire représente encore une terra incognita pour la communauté scientifique. Il n'existe, à ce jour, aucune approche globale des différents maillons de la chaîne opératoire qui va de la fabrication de la matrice à l'instant du scellage, pour se prolonger sur les questions liées au devenir des matrices à la mort de leur propriétaire. Le projet ADeMat ambitionne de poser les bases d'un renouvellement de l'approche sigillographique en se concentrant sur la partie de cette chaîne concernant l'outil matriciel. En effet, les matrices qui ont servi à façonner les sceaux n'ont pas encore été prises en compte pour ce qu'elles sont, à savoir un corpus métallique permettant grâce une masse considérable d'objets bien datés, d'enrichir notre connaissance de la production d'orfèvrerie médiévale. Profitant d'un mouvement favorable à l'égard d'un corpus en pleine éclosion, le projet, qui articule humanités et sciences dures et qui replace les matrices dans le contexte de leur production et de leurs usages, permet d'ouvrir de nouvelles perspectives de recherche pour des domaines aussi variés que l'archéométaballurgie, l'histoire sociale et politique, l'histoire des techniques, l'histoire de l'art, l'archéologie ou bien encore l'anthropologie.

Cet exposé sera l'occasion de présenter les premiers résultats des analyses archéométriques menées sur un corpus d'objets conservés aux Archives nationales et ainsi apporter quelques éléments de réponses quant aux problématiques de la composition métallique des matrices de sceaux.

### Eléments biographiques

Sigillographe de formation, Ambre Vilain a soutenu en 2011 sa thèse à l'Université Charles-de-Gaulle Lille III consacrée aux représentations architecturales sur les sceaux de villes en Europe septentrionale (XIIe-XVe siècle).

De 2009 à 2012 elle est chercheur invité (Pasteur Vallery-Radot) à la Bibliothèque nationale de France où elle est chargée de la rédaction du catalogue de la collection des matrices de sceaux conservées au Cabinet des médailles (Paris, éd. BnF, 2014).

Depuis novembre 2015 elle a rejoint le Labex Patrima avec le projet ADeMat, Analyse et description des matrices de sceaux du Moyen qui rassemble l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, les Archives nationales et le Laboratoire Archéomatériaux et prévention de l'altération.



**Session : Méthodes et données**

**Spectroscopies LIBS et Raman pour l'extraction du profil de profondeur des matériaux du patrimoine culturel**

L'étude et l'analyse des matériaux du patrimoine culturel sont toujours spécifiques à chaque œuvre puisqu'ils sont le plus souvent hétérogènes et organisés en plusieurs couches (peintures murales, produits de corrosion, ...). Par conséquent, la caractérisation d'une œuvre d'art complète par stratigraphie est l'un des enjeux de la restauration / conservation. En effet, en plus d'appréhender l'histoire de l'œuvre, la connaissance de ces couches permet une meilleure compréhension des processus d'altération, nécessaires à la mise en place d'une action de conservation appropriée. Parmi les méthodes instrumentales utilisées, la technique LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) peut être mise en œuvre pour étudier la stratigraphie d'une œuvre grâce à l'interaction laser/matière à l'échelle moléculaire. Celle-ci est habituellement réalisée in situ sur le monument dans le but d'éviter l'échantillonnage de ces matières précieuses. Cependant, cette seule investigation atomique est insuffisante pour caractériser deux matériaux composés par les mêmes éléments de base. Par conséquent, une analyse moléculaire complémentaire, comme la spectroscopie Raman, est parfois nécessaire pour une meilleure identification de la matière, en particulier pour les revêtements organiques dans le patrimoine culturel. Nous proposons de présenter l'intérêt de cette double approche spectroscopique LIBS-Raman pour la caractérisation de matériaux patrimoniaux. Le développement d'un traitement de signal dédié (basé sur la méthode SNV - Standard Normal Variate) autorise une représentation 3D facilitant l'identification stratigraphique des différentes couches qui composent le matériau. Les résultats, issus des mesures effectuées sur deux types de multicouches, montrent la très bonne complémentarité des spectres LIBS associés aux signatures Raman et à la fluorescence des échantillons pour une analyse stratigraphique plus fine des échantillons. Ce travail ouvre une nouvelle perspective pour la reconnaissance aisée d'une structure en couches avec une vue directe du profil de profondeur de l'œuvre.

**Eléments biographiques**

Nicolas Wilkie-Chancellor est Docteur de l'Université du Havre (2003) avec des travaux sur les interactions ondes ultrasonores- matériau. Il est recruté en tant que Maître de Conférences à l'Université de Cergy-Pontoise en septembre 2004. Membre du laboratoire SATIE (UMR 8029), ses activités de recherche sont centrées sur le CND par imagerie Acoustique/Electromagnétique ainsi que sur le développement de systèmes d'analyse de matériau par techniques laser. Impliqué dans PATRIMA et l'EquipEx Patrimex pour l'évaluation non destructive des matériaux du patrimoine culturel, il a obtenu son Habilitation à Diriger des Recherches en novembre 2015 pour ses travaux sur le développement de méthodes multimodales pour la caractérisation de matériaux complexes.

Vincent Detalle est docteur en sciences et stratégies analytiques de l'université Lyon I Claude Bernard. Il a travaillé 5 ans au CNRC à Montréal en tant que chercheur associé sur le développement de technique analytique par laser, notamment LIBS et Raman. Depuis 2004, il travaille comme ingénieur de recherche au MCC, au LRMH en tant que responsable du pôle « Peintures murales et polychromie », et il est en charge du développement du laboratoire mobile dans le cadre de l'EquipEx Patrimex, laboratoire dédié à l'étude et à la caractérisation de tous les patrimoines. Ce programme inclut le développement de nouvelles instrumentations et a pour enjeu de mettre à la disposition de la communauté scientifique des patrimoines ces outils, sur une base de fonctionnement équivalente au MOLAB européen, dont il est d'ailleurs partie prenante.