

Titre de la thèse: Optimisation de l'imagerie @ New AGLAE - Application à l'étude non-destructive des dépôts présents sur les vitraux de Notre-Dame

Mots-clefs: Analyse par faisceau d'ions, Sciences du patrimoine, New AGLAE, imagerie, vitraux, Notre-Dame

Etablissement recruteur: New AGLAE - FR3506 CNRS/Ministère de la Culture

La fédération de recherche New AGLAE a été créée en 2012 pour assurer la gestion scientifique et administrative de l'Equipex New AGLAE (ANR-10-EQPX-22) entre les différents acteurs (ANR, Ministère de la Culture, CNRS). C'est également l'entité au centre des projets européens comme IPERION-HS dont l'activité principale est de fournir de l'accès aux grands instruments comme New AGLAE (plateforme FIXLAB), aux instruments mobiles (MOLAB) et aux archives (ARCHLAB).

La thèse est co-financée par la fondation EDF (75%) et le C2RMF (25%) et s'effectuera en partenariat avec les trois entités suivantes:

- le C2RMF (Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France), plus particulièrement l'équipe AGLAE qui maintient, conçoit et développe instruments et méthodes pour l'étude exclusive d'objets du patrimoine par analyse par faisceau d'ions [1]
- le département PRISME d'EDF R&D
- Le LRMH (Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques), plus particulièrement le pôle scientifique Vitrail

Description du sujet

Depuis l'installation de l'Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire dans les sous-sols du Palais du Louvre, l'équipe AGLAE a développé ses propres outils d'acquisition et de traitement des données spécifiques aux objets du patrimoine et aux besoins des chercheurs venant soumettre leurs objets au faisceau de particules. Une collaboration étroite, sur du long terme, est en place entre le pôle scientifique vitrail et l'équipe AGLAE. Les premières cartographies réalisées sur AGLAE ont été effectuées sur des vitraux. En particulier, des outils de cartographie d'information quantitative à partir des spectres PIXE [2] et RBS permettent une imagerie complémentaire et systématique. La méthodologie consiste à traiter chaque spectre PIXE ou RBS contenu dans chaque pixel au moyen du moteur de calcul *ad hoc* (GuPIXE pour les spectres PIXE, SIMNRA ou NDF pour la RBS). Une information quantitative est alors extraite pour chaque spectre traité et la répartition spatiale de celle-ci est reconstruite.

Le sujet de thèse envisagé entre le Nouvel AGLAE et EDF a pour objectif d'optimiser l'imagerie issue des produits de l'interaction particules/matière afin d'apporter des éléments de réponse aux problématiques des objets du patrimoine et en particulier des vitraux. Il s'agira, d'une part, d'optimiser le *Total-IBA* déjà pratiqué à AGLAE et, d'autre part, de développer la tomographie RBS.

1/ Optimisation du Total-IBA

Par *Total-IBA*, on entend la détection simultanée de tous les produits issus de l'interaction particules/matière avec l'instrumentation adaptée ainsi que les informations obtenues en combinant les précédents résultats entre eux de façon cohérente [3].

Cette dernière étape ne se fait pas automatiquement aujourd'hui et c'est en cela que le traitement des données pourrait d'abord être optimisé. En effet, une segmentation appropriée d'une cartographie PIXE en fonction de la répartition spatiale des éléments chimiques et de leur ratio permettrait de regrouper des pixels de composition proche afin de construire les cibles virtuelles correspondantes pour le RBS [4]. Le même travail peut s'effectuer sur la cartographie RBS acquise simultanément, rendant possible un affinement des cibles précédentes.

2/ Tomographie RBS

La cartographie RBS permet de représenter les profils de concentration en profondeur des éléments chimiques. L'épaisseur d'une dorure de quelques centaines de nm peut ainsi être représentée de façon précise. L'ajout d'un détecteur de particules rétrodiffusées à un autre angle de détection apportera des informations complémentaires qui permettront d'affiner les modèles de matériaux complexes. A notre connaissance, il n'existe pas de logiciel disponible pour combiner ces données et en construire une image. L'objectif est donc de développer ensemble un tel outil et en particulier les algorithmes associés.

Œuvres étudiées

Si la méthodologie et les outils seront validés essentiellement sur des échantillons standards ou parfaitement connus, des objets du patrimoine seront obligatoirement sujet d'étude dans le cadre de la thèse.

Les vitraux de Notre-Dame de Paris, feront l'objet d'une étude spécifique à AGLAE en collaboration avec le LRMH, et les outils développés dans le cadre de la thèse pourront s'avérer particulièrement utiles pour l'étude des verres et des peintures

Bibliographie

Hunault et al., 2021, "Thirteenth-century stained glass windows of the Sainte-Chapelle in Paris: An insight into medieval glazing work practices", *Journal of Archaeological Science: Reports*, 35, 102753, doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102753.

Jeynes et al., 2012 : "Total-IBA, where are we ?", *Nuclear Instruments and Methods B*, 271, 107–118, doi.org/10.1016/j.nimb.2011.09.020.

Le Guen et al., 2015: "Segmentation d'images de microscope électronique à balayage pour l'estimation de l'encrassement des générateurs de vapeur" Proceedings GRETSI 2015, https://www.researchgate.net/publication/315661435_Segmentation_d'images_de_microscope_electronique_a_balayage_pour_l'estimation_de_l'encrassement_des_generateurs_de_vapeur

Pichon et al., 2014 : “Development of a multi-detector and a systematic imaging system on the AGLAE external beam”, *Nuclear Instruments and Methods B*, 318, 27–31, doi.org/10.1016/j.nimb.2013.06.065.

Profil du/de la candidat(e)

Le/La candidat(e) sera diplômé(e) d'un master en sciences des matériaux ou chimie analytique et doit impérativement maîtriser la relation structure-propriétés des différentes classes de matériaux. La connaissance des interactions particules/matière, photons/matière doit être parfaitement acquise.

Le sujet étant à l'interface avec les mathématiques appliquées, une formation ou une expérience au cours de stages précédents faisant appel à des techniques de traitement du signal, de problèmes inverses ou de machine learning est un plus mais n'est pas rédhibitoire en cas d'absence. Le cas échéant, le/la candidat(e) devra montrer une forte motivation pour être formé(e) à un autre domaine scientifique que le sien d'origine. L'étudiant(e) doit savoir synthétiser, mettre en forme et présenter des résultats en langues française et anglaise et être à même de participer à un projet dans le cadre d'un travail en équipe dans une démarche collective respectant la déontologie.

Contact

Claire Pacheco
New AGLAE FR3506 CNRS/Ministère de la Culture
C2RMF - Palais du Louvre
14 quai F. Mitterrand
75001 Paris
France

claire.pacheco@culture.gouv.fr