

## Proposition de stage de Master Recherche 2<sup>ème</sup> année

### Imagerie TéraHertz appliquée à l'étude de peintures néolithiques

**Mots clés :** Imagerie THz, Spectroscopie THz résolue en temps, laser femtoseconde, diffusion et absorption de la lumière, pigments, calcite, art rupestre et pariétal.

**Localisation:** Université Savoie Mont-Blanc, labos IMEP-LAHC (UMR 5130) et EDYTEM (UMR 5204).

**Encadrants :** Jean François Roux (IMEP-LAHC) et Emilie Chalmin-Aljanabi (EDYTEM).

**Contacts :** emilie.chalmin-aljanabi@univ-savoie.fr et jean-francois.roux@univ-savoie.fr

**Plus d'informations :** <http://edytem.univ-smb.fr/> et <http://imep-lahc.grenoble-inp.fr/>

**Financement :** rémunération mensuelle de l'ordre de 550 euros

**Durée du stage :** 5 à 6 mois

**Contexte :** Le domaine des ondes Terahertz correspond au spectre électromagnétique compris entre les micro-ondes ( $f < 100$  GHz ou  $\lambda > 3$  mm) et le moyen Infra-Rouge ( $f > 10$  THz ou  $\lambda < 30$   $\mu$ m). Ces ondes dont l'énergie coïncide avec celles de rotations ou de vibrations de molécules complètent les techniques de l'optique visible ou des rayons X pour l'étude de matériau. Par exemple en imagerie, des milieux opaques dans le visible peuvent être transparents dans le domaine THz. C'est le cas de certains minéraux comme la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) que l'on retrouve fréquemment en milieu naturel et notamment le long des parois calcaires qui supportent bon nombre de peintures anciennes datant de l'époque du néolithique.

La lecture et la compréhension des figurations en art rupestre est un enjeu majeur pour comprendre les sociétés anciennes et accéder à leur savoir-faire. Pour permettre une étude de ces peintures, le relevé photographique est une étape indispensable avant de procéder à d'autres types d'analyse. Pourtant la lecture de ces figurations, n'est pas toujours facile en raison de l'état de conservation des parois naturelles soumises à différents facteurs naturels et anthropiques. Situées en milieu naturel, ces peintures souffrent de l'altération du temps et notamment des dépôts de calcite liés aux écoulements d'eau le long des parois rocheuses. Ainsi on connaît, dans les Alpes plusieurs sites pour lesquels une grande partie des images est masquée par une couche de calcite qu'il est impossible de détruire sans risquer de détériorer les peintures (voir photo ci-dessous). L'éventualité « d'observer » dans le domaine THz ces images à travers une couche qui est opaque dans le visible est donc particulièrement intéressante.

Cependant, l'instrumentation d'imagerie THz (caméra, sources THz) est actuellement en cours de développement et aucun système portable n'est disponible pour l'instant. Pour autant, les systèmes d'imagerie existent en laboratoires et la pertinence de leur utilisation pour l'étude d'objets d'arts (peintures sur tissus, gravures sur bois etc... ) a été démontrée [1]. L'application de ces techniques à l'étude de peintures murales débute elle aussi [2]. On est donc dans une phase de recherche « amont » qui pose les jalons des futures applications.



**Objectifs du stage :** L'objectif de ce stage de Master 2 est d'étudier, en laboratoire, de manière exhaustive la transparence et l'absorption aux ondes THz de la calcite et des pigments minéraux utilisés dans les peintures du néolithique. Cette étude sera complétée par l'acquisition d'images THz d'échantillons « tests » fabriqués en laboratoire.

En fonction du profil de l'étudiant(e) et du programme de la formation suivie, plusieurs pistes de travail peuvent être envisagées. L'imagerie et la spectroscopie de minéraux « naturels » met en jeu des problèmes d'optique (diffusion, absorption de la lumière, inhomogénéité des échantillons) mais aussi des problèmes de physico-chimie des matériaux. En effet, il peut exister des interactions entre les mélanges picturaux et le support ainsi qu'avec des encroutements de calcite piégeant la matière picturale.

**Présentation des laboratoires :** Le laboratoire IMEP-LAHC est un laboratoire mixte de l'Université de Savoie Mont-Blanc, de Grenoble INP et de l'Université Joseph Fourier. Les thématiques de recherches couvrent différents domaines de la photonique, de la microélectronique, des radiofréquences et des THz. Situé sur le campus du Bourget du Lac, le groupe d'Optoélectronique THz s'intéresse depuis une vingtaine d'années à l'utilisation de signaux THz générés à l'aide de laser impulsions femtosecondes et dispose d'une demi-douzaine de bancs expérimentaux couvrant le spectre 0.1- 5 THz.

Le laboratoire EDYTEM est un laboratoire de l'Université Savoie Mont-Blanc regroupant une communauté de recherche interdisciplinaire sur les problématiques médiales et territoriales de montagne. L'unité regroupe des chercheurs et enseignants-chercheurs de différents champs disciplinaires (géosciences, sciences de l'environnement et sciences humaines – géographie et économie territoriale –) travaillant autour d'une même démarche (croisement des concepts et des méthodes) et de mêmes objets de recherche. Le laboratoire EDYTEM vise à répondre concrètement aux enjeux environnementaux et socio-économiques actuels des milieux et les territoires de montagne, par la production de nouvelles connaissances et le développement de nouveaux modes d'acquisition et de traitement des données.

**Profil recherché :** Etant donné le caractère transversal du sujet proposé, ce stage est ouvert aux étudiants ayant suivi une formation avancée dans un des domaines suivants : Optique et Spectroscopie et/ou Physico-Chimie des Matériaux. Dans tous les cas, une forte motivation pour le travail expérimental est attendue ainsi qu'un intérêt pour les actions de recherche transversales.

**Bibliographie:**

- 1- Jackson, J.B.; Bowen, J.; Walker, G.; Labaune, J.; Mourou, G.; Menu, M.; Fukunaga, K., "A Survey of Terahertz Applications in Cultural Heritage Conservation Science," in Terahertz Science and Technology, IEEE Transactions on , vol.1, no.1, pp.220-231, Sept. 2011.
- 2- Gillian C. Walker, John W. Bowen, Wendy Matthews, Soumali Roychowdhury, Julien Labaune, Gerard Mourou, Michel Menu, Ian Hodder, and J. Bianca Jackson, "Sub-surface terahertz imaging through uneven surfaces: visualizing Neolithic wall paintings in Çatalhöyük," Opt. Express 21, 8126-8134 (2013).