

## **Offre de Thèse :**

### **Capteurs Avancés pour le Monitoring Environnemental des Régions Arctiques : CAMERA**

Thèse en cotutelle d'une durée de 48 mois entre l'Université de Sherbrooke (Canada)  
et l'Université de Rennes (France)

**Début de thèse :** Octobre 2025

**Financement :** Université de Sherbrooke (UdS) et Université de Rennes (UR)

**Directeurs de thèse :** Joël CHARRIER (UR, Institut Foton) et Frédéric BOUCHARD (UdS, Département de géomatique appliquée (DGA) & Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL))

**Mots clefs :** *Capteur photonique intégré, moyen infrarouge, gaz climatiquement actifs*

Cette offre est une thèse en cotutelle entre les Universités de Sherbrooke (Canada) et de Rennes (France) sur 4 ans avec des séjours de longue durée dans les deux établissements bénéficiant des moyens technologiques, de caractérisations et de terrain des différents laboratoires de recherche impliqués. Le planning prévisionnel est proposé à la fin de ce document.

### **Sujet**

Le besoin croissant de détection de molécules chimiques ou biochimiques à l'état de traces est un enjeu majeur dans les domaines de l'environnement, de la santé et de la sécurité. De nombreuses molécules possèdent des bandes d'absorption vibrationnelle dans le Moyen Infra-Rouge (MIR), domaine de longueurs d'onde s'étendant de 2 à 25  $\mu\text{m}$ . La spectroscopie dans le MIR est une technique d'analyse qui ne nécessite pas de marqueur et qui permet d'identifier et de mesurer quantitativement ces molécules caractérisées par leurs modes de vibration [1].

Par ailleurs, dans un contexte d'accélération des changements climatiques et du développement socio-économique dans les régions arctiques, la stabilité des écosystèmes et des infrastructures nordiques est menacée. Par exemple, le réchauffement climatique récent serait jusqu'à quatre fois plus rapide dans les hautes latitudes qu'ailleurs sur la planète [2], ce qui provoque une série d'impacts environnementaux profonds comme le dégel du pergélisol, le socle-même de ces écosystèmes et infrastructures nordiques [3]. Ce dégel, lorsque le sol est riche en glace et en matière organique, induit des modifications importantes dans le paysage, comme des glissements de terrain, une augmentation de la turbidité de l'eau qui nuit à l'habitat du poisson, ou des émissions accrues de gaz à effet de serre [4, 5]. Les communautés de l'Arctique circumpolaire, en premier lieu les peuples autochtones (Premières Nations, Inuit), sont de plus en plus concernées et inquiètes de ces bouleversements qui affectent leur environnement et leur mode de vie traditionnel.

Ce projet vise à générer le savoir nécessaire pour suivre et se préparer à la transformation des milieux nordiques à l'aide de technologies de pointe et de stratégies d'intervention visant la santé et le développement durable des communautés concernées. Spécifiquement, le projet propose de développer de nouvelles technologies optiques (capteurs automatisés) pour le suivi de molécules organiques et minérales et de gaz climatiquement actifs (GCA) tels que le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux et le sulfure de diméthyle dans un Arctique en mutation, et de tester ces outils sur le terrain, en collaboration avec les communautés locales. Cette thèse

visé ainsi à répondre à l'urgence d'instaurer des dispositifs permettant de surveiller et de quantifier les échanges et le recyclage des GCA et d'autres molécules associées pour renforcer les moyens d'analyse et d'adaptation. L'ensemble de ces composés présente des bandes d'absorption dans le MIR, notamment dans la gamme de longueurs d'ondes comprises entre 2 et 5  $\mu\text{m}$ .

Ainsi, la spectroscopie infrarouge est une réponse particulièrement adaptée à la détection de molécules par l'intermédiaire de leurs signatures spectrales [6, 7]. Actuellement, les systèmes de laboratoire de spectroscopie infrarouge sont basés sur plusieurs techniques d'analyse et des équipements coûteux et encombrants qui peuvent limiter le développement d'études individuelles. Aussi, l'un des enjeux dans cette gamme de longueurs d'onde du MIR est la conversion des systèmes stationnaires de laboratoire en micro-composants capables d'effectuer des mesures précises dans des environnements difficiles d'accès. Cette évolution des dispositifs devrait permettre une augmentation de la résolution temporelle et spatiale des mesures. De tels capteurs miniaturisés fonctionnant dans le MIR devront toutefois pouvoir détecter des molécules cibles avec une grande sensibilité en utilisant des matériaux spécifiques et des techniques spectroscopiques révélant l'absorption des molécules dans un environnement sévère tel que l'Arctique (e.g., présence d'eau absorbante dans le moyen infrarouge, très basse température, présence de molécules organiques et minérales en concentration très variable).

Le projet vise ainsi à développer la spectroscopie infrarouge en optique intégrée en associant, sur un même substrat ou module, une source de lumière émettant dans le MIR, des fonctions optiques (par exemple de démultiplexage), un transducteur et un détecteur pour permettre l'émergence de capteurs compacts dans le MIR. De cette manière, ces dispositifs de type lab-on-chip bénéficieront des réductions de coûts et de taille résultant de l'intégration de multiples composants sur un même substrat comme cela a pu être le cas dans le domaine de la microélectronique.

Les premiers tests seront dirigés vers la détection de molécules à l'état gazeux dans le MIR comme le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) ou le méthane ( $\text{CH}_4$ ), qui possèdent des bandes d'absorption entre 3 et 5  $\mu\text{m}$ . Le développement technologique sera au cœur du projet de thèse, alors que son application en zone de pergélisol en collaboration avec des communautés nordiques (e.g., Cambridge Bay, Nunavut ; Churchill, Manitoba ; Beaver Creek, Yukon) constituera l'objectif applicatif de la thèse.

#### Références :

[1] <http://www.daylightsolutions.com>

[2] Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A. et al. "The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979". *Commun Earth Environ* 3, 168 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>.

[3] Biskaborn, B.K., Smith, S.L., Noetzli, J. et al. "Permafrost is warming at a global scale". *Nat Commun* 10, 264 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4>.

[4] Lewkowicz, A.G., Way, R.G. "Extremes of summer climate trigger thousands of thermokarst landslides in a High Arctic environment". *Nat Commun* 10, 1329 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09314-7>.

[5] Hughes-Allen, L., Bouchard, F., Laurion, I. et al. "Seasonal patterns in greenhouse gas emissions from thermokarst lakes in Central Yakutia (Eastern Siberia)". *Limnology and Oceanography* 66(S1), S98-S116 (2021). <https://doi.org/10.1002/lno.11665>.

[6] A. Gutierrez-Arroyo, E. Baudet, L. Bodiou, V. Nazabal, E. Rinnert, K. Michel, B. Bureau, F. Colas, J. Charrier. "Theoretical study of an evanescent optical integrated sensor for multipurpose detection of gases and liquids in the Mid-Infrared", *Sensors and Actuators B: Chemical* in press (2017).

[7] A. Gutierrez-Arroyo, E. Baudet, L. Bodiou, J. Lemaitre, I. Hardy, F. Fajjan, B. Bureau, V. Nazabal, and J. Charrier. "Optical characterization at 7.7  $\mu\text{m}$  of an integrated platform based on chalcogenide waveguides for sensing applications in the mid-infrared", *Opt. Express*, 24, 23109 (2016).

## Profil du candidat ou de la candidate

Le sujet de thèse mettra en œuvre des compétences en optique guidée et dans le domaine des capteurs. Une formation de niveau Master 2 ou école d'ingénieur abordant une partie significative de ces domaines est nécessaire pour aborder ce sujet de thèse. Des compétences en optique guidée, en micro-technologie, en capteur et en caractérisations optiques seront fortement appréciées. Le (La) candidat(e) retenu(e) devra en outre avoir un intérêt en optique intégrée, en micro-technologie, en caractérisations expérimentales et de bonnes aptitudes pour le travail en équipe et la communication de ses résultats (oral et écrit).

### **Laboratoires d'accueil : département Systèmes photoniques de l'Institut Foton (CNRS, UMR6082), Université de Rennes et Département de géomatique appliquée (DGA) & Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL), Université de Sherbrooke**

Le projet CAMERA a pour vocation de montrer la complémentarité et donc de tisser des liens plus importants entre les laboratoires français et québécois impliqués dans le suivi environnemental, spécifiquement en région arctique où les impacts des changements climatiques sont particulièrement rapides et inquiétants. Ce projet s'inscrit dans le cadre des nouvelles technologies optiques comme vecteur d'information pour l'environnement afin de développer des capteurs optiques dans le moyen infrarouge pour le suivi de gaz climatiquement actifs permettant de surveiller et de quantifier les échanges et le recyclage de ces gaz. Cette thèse intègre par ailleurs la collaboration avec les communautés autochtones concernées, avec le village Inuit de Cambridge Bay/Ikaluktutiak (Nunavut) comme premier site d'expérimentation – plusieurs rivières à poissons (Omble chevalier) y sont présentes. D'autres sites distribués dans l'Arctique canadien (Churchill dans le nord du Manitoba ou Beaver Creek dans le sud-ouest du Yukon) pourraient être ajoutés. Il s'inscrit aussi dans le cadre du centre de recherche international (IRC) « Innovation pour une planète durable » autour des thématiques micro et nanotechnologiques et associées à l'innovation responsable et la biodiversité pour la transition comme application finale.

L'Institut Foton a développé un savoir-faire en optique intégrée et en caractérisation optique dans le moyen infrarouge. L'Université de Sherbrooke a un savoir-faire en micro- et nanotechnologies et dans le domaine des capteurs. L'association de leurs compétences respectives va permettre à chaque partenaire d'augmenter le TRL (technology readiness level) de leurs activités de recherche pour aboutir à un démonstrateur sur site d'un capteur par spectroscopie infrarouge miniaturisé et sensible.

L'Université de Sherbrooke (UdeS) est membre du réseau international UArctic (University of the Arctic) et plusieurs professeurs du Département de géomatique appliquée (DGA) et du Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL) sont par ailleurs actifs dans des réseaux stratégiques québécois (FRQNT) comme le Centre d'études nordiques (CEN). La recherche sur la cryosphère (neige, pergélisol) et les écosystèmes aquatiques y est reconnue.

## Information complémentaire - Contact

Des informations complémentaires peuvent être obtenues en contactant :

Joël CHARRIER, U. Rennes ([joel.charrier@univ-rennes.fr](mailto:joel.charrier@univ-rennes.fr))

Frédéric BOUCHARD, U. Sherbrooke ([frederic.bouchard5@usherbrooke.ca](mailto:frederic.bouchard5@usherbrooke.ca))

Paul CHARETTE, U. Sherbrooke ([Paul.G.Charette@USherbrooke.ca](mailto:Paul.G.Charette@USherbrooke.ca))

## Candidature

Toute candidature devra comporter les éléments suivants :

- Lettre de motivation
- CV détaillé
- Copie du diplôme de master ou équivalent
- Bulletins de notes
- Liste de publications s'il y a lieu
- Lettres de recommandation (au moins deux)

**Planning prévisionnel (4 ans) :**

<b>Année 1</b>		<b>Année 2</b>		<b>Année 3</b>		<b>Année 4</b>	
T0+6 mois	T0+12mois	T0+18mois	T0+24mois	T0+30mois	T0+36mois	T0+42mois	T0+48mois
Prise en main du sujet de thèse et des moyens de fabrication/assemblage et caractérisations IR	Fabrication du capteur IR	Fabrication du capteur IR et caractérisations optiques	Premiers essais de transduction en labo et premiers essais sur site	Optimisation du capteur IR	Optimisation du capteur IR	Essais sur sites	Manuscrit de thèse et soutenance
UR	UR	UdeS	UdeS	UR	UR	UdeS	UdeS