

OFFRE DE THÈSE

DEVELOPPEMENT D'UN LIDAR A ABSORPTION DIFFERENTIELLE ET DE LA METHODOLOGIE ASSOCIEE POUR LA SURVEILLANCE D'EMISSIONS DIFFUSES A PROXIMITE DE SOURCES INDUSTRIELLES

Type de contrat : Thèse (2025 – 2028)

Localisation : Verneuil-en-Halatte (60) à 40 mn au nord de Paris.

Accès : Une navette privée et gratuite assurant la liaison entre la gare de Creil et notre site est à votre disposition.

Télétravail : 100 jours par an

Contacts pour plus d'informations : theo.claude@ineris.fr – Tél. : 06 23 02 90 19

CONTEXTE DU DOCTORAT

L'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques), qui compte environ 500 collaborateurs, est un organisme national de référence, sous tutelle du ministère chargé de l'environnement, dont la mission principale est de réaliser des études et des recherches permettant de prévenir les risques que les activités économiques font peser sur la sécurité des personnes et des biens.

Rejoindre l'Ineris c'est l'opportunité de mettre en œuvre et développer ses compétences dans le cadre des missions de recherches, d'appui et d'expertise pour le compte des pouvoirs publics et des industriels. L'Ineris dispose de 30 000 m² de laboratoires et halles d'essais avec des équipements multiples et à la pointe de la technologie.

Le travail de doctorat proposé s'inscrit dans le cadre du projet DIADEMS (Differential Absorption lidar for Diffuse Emission Monitoring near Sources) financé par l'ANR. Le consortium de DIADEMS est constitué par Teem Photonics, l'Onera (équipe DPHY/SLM à Palaiseau) et l'Ineris. Le doctorat se déroulera à 50 % à l'Onera et à 50 % à l'Ineris.

CONTEXTE SCIENTIFIQUE

La surveillance des émissions diffuses (i.e. non canalisées) industrielles est un enjeu majeur en qualité de l'air. Bien que plus de 90 % du flux émis dans l'atmosphère par certains secteurs et pour certains polluants très volatils (ex. : NH₃, 1,3-butadiène) provienne de sources diffuses, il est difficile de le quantifier avec précision et il est fréquemment sous-estimé. Il existe peu d'équipements de mesure directe adaptés à la grande variété de sources, à leurs étendues spatiales et aux bas niveaux de concentration rencontrés. L'unité caractérisation du milieu air

en proximité de source (PROX) au sein de la direction Milieux et Impacts sur le Vivant (MIV) de l'Ineris s'attache à renforcer les connaissances sur la caractérisation de ces rejets non maîtrisés en développant de nouvelles méthodologies de surveillance.

Pour la caractérisation des propriétés physico-chimiques de l'atmosphère, et les applications de prévention des risques dans les domaines de l'industrie ou de la Défense, l'unité Sources Laser et Métrologie (SLM) du Département Physique, Instrumentation, Environnement et Espace (DPHY) de l'Onera, développe des instruments LiDAR permettant de détecter des espèces chimiques à distance. Ces LiDAR utilisent l'absorption de la lumière par les gaz à des longueurs d'ondes précises correspondant à des modes de vibration moléculaire. La mesure de la quantité de lumière absorbée à une longueur d'onde « ON » corrigée de l'absorption de l'atmosphère à une longueur d'onde « OFF », permet de remonter à la concentration du gaz. Ces LiDAR à absorption différentielles sont appelés DiAL et sont cités parmi les Meilleures Techniques Disponibles pour estimer les flux d'émissions diffuses.

Les DiAL présentent le fort intérêt de localiser les sources à distance et de permettre la quantification des flux d'émission une fois couplés à une mesure de vent. Toutefois, ces instruments restent souvent à bas TRL (Technology Readiness Level), lourds à déployer et difficilement exploitables dans le cadre d'une surveillance de routine. L'objectif de cette thèse serait donc d'adapter et de valider, pour la surveillance industrielle, un prototype DiAL compact initialement développé par l'Onera. La source laser originale de ce prototype permet de cibler de multiples polluants problématiques dont le NH₃, un précurseur de particules fines, et certains composés organiques volatils tels que le 1,3-butadiène, classé comme polluant prioritaire par l'Anses (Polluants « émergents » dans l'air ambiant, saisine 2015_SA_0216) du fait de sa toxicité et des dépassements de sa valeur toxicologique de référence fréquemment observés.

OBJECTIFS DE LA THESE

La thèse comporte un volet de développement instrumental à l'Onera et un volet de développement méthodologique et de tests de qualification de l'instrument à l'Ineris. Elle s'appuiera sur les avancées laser réalisées par Teem Photonics, sur l'expérience de l'Onera en matière de télédétection dans l'infrarouge thermique, et sur les compétences de l'Ineris en matière de modélisation et de surveillance des émissions diffuses sur les sites industriels.

Le doctorat s'échelonne sur plusieurs jalons :

1. Un développement instrumental adapté à la métrologie in situ des polluants sera effectué (modification de la longueur d'onde de l'émetteur, solution innovante pour la mesure de la longueur d'onde, intégration du système).
2. En parallèle, une campagne de mesure chez un industriel dressera, grâce à des mesures de référence et par réseau de capteurs couplées à des modélisations de dispersion, une cartographie grossière des émissions afin d'établir différents scénarios de déploiement du DiAL.
3. Puis, le DiAL sera qualifié en conditions contrôlées dans une plateforme d'essai type galerie ventilée à l'Ineris pour NH₃. Une preuve de concept de mesure d'émissions diffuses de 1,3-butadiène dans la galerie est également attendue.
4. Enfin, le dispositif sera validé pour le NH₃ sur le même site industriel avec une stratégie de mesure bénéficiant du retour d'expérience acquis lors de la première campagne.

Chaque jalon représente en enjeu scientifique et une avancée par rapport à l'état de l'art international qui pourrait donner lieu à publication :

- L'émetteur laser (disponible chez Teem Photonics) sera intégré au prototype LiDAR de l'Onera afin de déplacer la gamme spectrale pour l'adapter à la fois au 1,3-butadiène et à NH_3 , grâce à la grande section de gain du laser $\text{Tm}^{3+}:\text{YAP}$, pour des mesures courtes portées dans l'infrarouge lointain. Le LiDAR sera validé par des mesures en cellule à l'Onera, puis par des mesures sur plateforme d'essais adaptées à l'Ineris en galerie ventilée (voire en extérieur). Ces essais permettront d'analyser la sensibilité et la stabilité des mesures DiAL pour la surveillance des émissions diffuses.
- Dans un second temps, le LiDAR sera amélioré afin de l'adapter aux exigences de mesure sur site industriel : changement de ligne de visée, rapidité du traitement de la mesure, mesure plus rapide de la longueur d'onde. De manière plus prospective, le doctorant étudiera l'amplification d'énergie par impulsion vers la gamme millijoule, par OPA dans un cristal non-linéaire pompé par un laser à $2 \mu\text{m}$ commercial multimode longitudinal. La levée de ce verrou est nécessaire à terme pour les mesures sur aérosols sans cible topographique afin de cartographier les rejets de manière automatisée.
- Indépendamment du développement instrumental du LiDAR, la campagne exploratoire sur le site industriel a un enjeu triple : (a) déployer un réseau de capteurs sur un site industriel complexe pour intercomparer différentes technologies de mesure et répondre aux problématiques de maillage des émissions diffuses, (b) pré-caractériser les termes sources et le panache industriel émis en s'appuyant sur de la modélisation de la dispersion réalisée à l'Ineris pour préparer les scénarios de déploiement du DiAL et (c) comparer les termes sources évalués à ceux tabulés dans la littérature pour améliorer les connaissances sur les émissions de NH_3 des stations d'épuration.
- Enfin, le déploiement du prototype dans un contexte industriel permettrait de valider son utilisation pour la surveillance des émissions diffuses de NH_3 . En outre, une preuve de concept (PoC) de mesure par télédétection optique de butadiène en galerie ventilée, comparée d'autres systèmes de mesure répartis le long de l'axe optique, serait une première pour ce polluant.

PROFIL

Diplômé(e) Bac+5 - Ce doctorat s'adresse à des étudiants Master 2 recherche en optique ou photonique (X, IOGS, etc.)

Expérience / Compétence

- être titulaire ou en cours d'obtention d'un Master ou diplôme permettant l'inscription dans une Ecole Doctorale pour l'année 2024 - 2025 ;
- avoir des compétences en lasers, optique non-linéaire, traitement du signal, physique et chimie générales. Des connaissances en sciences de l'environnement ou en qualité de l'air sont un plus ;
- apprécier le travail expérimental en équipe au laboratoire comme sur le terrain ;
- être autonome, rigoureux-se, organisé-e, à l'aise à l'oral et présenter de bonnes capacités d'analyse et de synthèse ;
- La maîtrise de la langue anglaise (écrite et parlée) est indispensable.

INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

Thèse en 3 ans, financement 100% Ineris.

Date prévisionnelle pour le début de la thèse : Octobre 2025

Encadrement :

Onera – Antoine Godard (directeur de thèse), Jean-Michel Melkonian

Ineris – Théo Habrant-Claude

Procédure de candidature

Le dossier de candidature doit comporter : un CV, les notes obtenues dans le cadre du M2, une lettre décrivant votre motivation et votre intérêt à travailler sur le sujet proposé et éventuellement, une ou plusieurs lettres de recommandation de vos enseignants et/ou encadrants.

18 RTT en plus des 31 CP annuels

Horaires variables

Restaurant d'entreprise (ou titres restaurants pour les sites hors Verneuil)

Bornes de recharge électriques

Notre offre d'emploi est ouverte à tous, nous souhaitons intégrer nos nouveaux talents au sein d'un environnement de travail inclusif.