

Post-doctorat – 18 mois

Caractérisation du transfert de chaleur dans des environnements cryogéniques

Contexte et sujet de recherche :

L'hydrogène liquide est caractérisé par plusieurs limitations et défis importants qui restreignent son utilisation actuelle. L'un d'entre eux réside dans la perte énergétique par ébullition cryogénique associée au stockage, au transport et à la manipulation de l'hydrogène liquide, qui peut consommer jusqu'à 40 % de l'énergie de combustion disponible. L'hydrogène moléculaire existe sous deux formes allotropiques (isomères de spin), l'ortho-hydrogène et le para-hydrogène, différenciées par l'état du spin nucléaire des protons dans chaque atome d'hydrogène. Pour une température donnée, le rapport d'équilibre entre les concentrations d'ortho-hydrogène et de para-hydrogène : $[H_{2, para}]_{eq}$ et $[H_{2, ortho}]_{eq}$ peut être calculée [1], mais la cinétique de la conversion exothermique peut prendre des semaines lorsque la température est rapidement abaissée. C'est pourquoi il est important pour le secteur industriel de l'hydrogène de disposer d'une méthode fiable de mesure in situ de cette concentration.

Une façon de mesurer ces concentrations consiste à utiliser les propriétés thermiques de l'hydrogène, telles que la différence d'enthalpie [2] ou la différence de conductivité thermique [3] entre l'hydrogène ortho et para. Le transport de la chaleur dans un fluide est généralement supposé être déterminé conjointement par les phénomènes d'advection et de diffusion. Dans certains cas spécifiques, le transport de la chaleur repose sur des processus complexes à l'échelle moléculaire qui peuvent potentiellement s'écarter du transport conventionnel par diffusion de la chaleur. Dans ces conditions, la conductivité thermique n'est plus un paramètre constant mais varie dans le temps et l'espace, ce qui entraîne un transport de chaleur plus rapide ou plus lent. Les fluides proches des conditions supercritiques, comme le dihydrogène dans les conditions cryogéniques, présentent par exemple une super diffusivité de la chaleur avec un transport beaucoup plus rapide que ce que l'on attend d'une diffusion normale [4]. Une bonne compréhension des propriétés de transport anormales de la chaleur dans des conditions non conventionnelles [5] ouvre la voie à des estimations de concentration plus robustes et plus rapides basées sur des mesures de conductivité thermique.

Le post-doctorant devra participer à la conception d'un cryostat avec les ingénieurs de l'Institut Néel avant de réaliser le développement et la fabrication d'un capteur innovant, basé sur un transfert de chaleur à différentes températures au LGF à Mines Saint-Etienne, pour l'évaluation de la composition chimique d'un mélange gazeux. Un modèle de connaissance du capteur, basé sur les premiers principes physiques, ainsi qu'un modèle de comportement basé sur les données expérimentales de réponses du capteur à diverses excitations sont également prévues pour valider les mesures en conditions de laboratoire.

Laboratoires d'accueil et supervision :

Le projet est une collaboration entre l'Institut Néel (<https://neel.cnrs.fr/>) et le Laboratoire George Friedel (LGF - UMR 5307 - Mines Saint-Etienne <https://www.mines-stetienne.fr/lgf/>) dans le cadre du projet PARACHUTE, financé par l'ANR. Le poste sera basé à Mines Saint-Etienne avec des réunions régulières et des déplacements à l'Institut Néel à Grenoble.

Encadrants: Dr. Patricia Derango (CNRS Researcher), Riadh Lakhmi (EC-LGF), Mathilde Rieu (EC-LGF) and Guillaume Dumazer (EC-LGF), Gaetan Becker (Fives CRYO).

Candidature :

Profil recherché : Doctorat en physique des processus de transport, thermodynamique, physique de la matière condensée ou dans une discipline proche. La thématique du sujet est fortement multi-disciplinaire (mécanique

des fluides, transferts, ingénierie, automatique) et implique également le développement numérique et expérimental. Le candidat devra donc faire preuve d'une grande polyvalence. Excellentes aptitudes à la communication écrite et orale.

Contrat et rémunération : Le candidat sera employé par l'institut Neel avec un contrat post-doctoral à durée déterminée pour une durée de 18 mois.

Date de début du Post-doctorat : Entre le 1^{er} Septembre 2025 et le 1^{er} Octobre 2025.

Deadline pour les candidatures : 31 Mai 2025

Candidature : Veuillez envoyer un CV, une lettre de motivation, les derniers relevés de notes et les coordonnées de deux personnes référentes à Riadh LAKHMI (riadh.lakhmi@emse.fr) et également déposer votre candidature sur le site du CNRS (<https://emploi.cnrs.fr/>) sur l'annonce correspondant à cet offre

Références bibliographiques :

- [1] L. Barrón-Palos, R. Alarcon, S. Balascuta et. al., *Determination of the parahydrogen fraction in a liquid hydrogen target using energy-dependent slow neutron transmission*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 2011, 659, 579-586.
- [2] J. Essler, C. Haberstroh, *Performance of an ortho-para concentration measurement cryostat for hydrogen*, *AIP Conf. Proc.*, 2012, 1434 (1), 1865–1872.
- [3] D. Zhou, G.G. Ihas and N.S. Sullivan, *Determination of the Ortho-Para Ratio in Gaseous Hydrogen Mixtures*, *Journal of Low Temperature Physics*, 2004, 134, 401–406.
- [4] B. Zappoli, D. Bailly, Y. Garrabos et al., *Anomalous heat transport by the piston effect in supercritical fluids under zero gravity*, *Phys. Rev. A*, 1990, 41(4), 2264.
- [5] A. Lemarchand, B. Nowakowski, G. Dumazer, and C. Antoine, *Microscopic simulations of supersonic and subsonic exothermic chemical wave fronts and transition to detonation*, *Journal of Chemical Physics*, 2011, 134, 034121.