

**Proposition de thèse de doctorat à l'Université de Lorraine dans le cadre de
l'Agence Nationale pour la Recherche**

**Modification de surfaces d'alliages métalliques par traitements
mécanochimiques pour le stockage solide de l'hydrogène**

Dr. Julian LEDIEU julian.ledieu@univ-lorraine.fr
Équipe « Métallurgie et Surfaces » à l'Institut Jean Lamour (IJL), UMR 7198 du CNRS, Nancy, France

Dr. Marc NOVELLI marc.novelli@univ-lorraine.fr
Département « IMPACT - Ingénierie des Microstructures, Procédés, Anisotropie, Comportement » au LEM3, UMR CNRS 7239, Metz, France

Partenaires :

CRITT TJFU, Laboratoire Jet Fluide Très Hautes Pressions, 55000 Bar-le-Duc, France
Université Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000 Grenoble, France

Période : Octobre 2022 à Septembre 2025
Salaire : 1975 brut / mois

Problématique : L'hydrogène constitue un vecteur énergétique de choix pour une énergie renouvelable. Le stockage solide de l'hydrogène sous la forme d'hydrures métalliques réversibles permet d'atteindre une densité de stockage volumétrique plus élevée qu'avec un gaz comprimé ou un liquide à température cryogénique, tout en offrant une nette amélioration de la sécurité [1]. Avant d'obtenir une bonne réversibilité du processus de stockage / déstockage, une première "activation" du matériau est nécessaire. Une activation possible consiste à affiner fortement la microstructure des métaux par écrouissage via des déformations plastiques sévères. Le broyage mécanique permet ainsi d'activer efficacement certains alliages mais conduit à des matériaux pulvérulents. Une autre possibilité consiste à affiner fortement la microstructure par hyperdéformation de matériaux massifs en utilisant des presses à très hautes capacités [2]. Ces techniques n'ont toutefois que peu de potentiel au niveau industriel car les volumes de matériaux produits sont très faibles. Les recherches s'orientent donc vers des procédés d'activation générant des déformations moins sévères mais à potentiel quantitatif plus élevé, comme les traitements de surface mécaniques tel que le grenailage [3].

Objectifs : Le projet propose d'étudier l'activation au stockage de l'hydrogène de matériaux par voie solide en utilisant une approche mécano-chimique de traitements de surface basée sur le grenailage. La fonctionnalisation des surfaces sera réalisée sur des alliages modèles (bases Mg et Ti) afin de mieux comprendre les effets respectifs des microstructures / textures et compositions chimiques de surfaces sur les mécanismes des transformations de phases (métaux \rightleftharpoons hydrures métalliques) avant d'aborder d'autres matériaux métalliques / intermétalliques à plus forts potentiels applicatifs. La caractérisation des matériaux pré- post-hydrogénation s'appuiera principalement sur des techniques d'imageries électroniques et de diffractions par RX ou électrons rétrodiffusés (EBSD) des microstructures associées à des analyses fines de surface par microscopie Auger (SAM), spectroscopie photoélectronique (XPS) ou imagerie par transmission.

Profil : Le candidat devra justifier d'un diplôme universitaire (Ingénieur/Master) en sciences des matériaux et/ou mécanique ouvrant l'accès à une inscription en thèse de doctorat. Une liste non exhaustive des compétences demandées est donnée ci-dessous à titre de renseignement. Le candidat basé au LEM3 et à l'IJL sera amené à se déplacer régulièrement chez les différents partenaires (institut NEEL, CRITT TJFU).

- *Connaissances approfondies en sciences des matériaux (métallurgie, mécanique).*
- *Esprit de synthèse pour le caractère pluridisciplinaire de l'étude*
- *Grande autonomie et sens de la planification*

[1] A. Züttel, Mater. Today, vol. 6, no. 9, pp. 24–33, 2003.
[2] J. Huot et al., Materials 12.17, 2778, 2019.
[3] K. Edalati et al., J. Alloys Compd., vol. 737, pp. 337–346, 2018.

Thesis proposal at the Université de Lorraine as part of
the Agence Nationale pour la Recherche

**Surface modifications of metallic alloys using mechanical-chemical
treatments for solid-state hydrogen storage**

Dr. Julian LEDIEU (IJL) julian.ledieu@univ-lorraine.fr
Equipe « Métallurgie et Surfaces » à l'Institut Jean Lamour, Unité Mixte de Recherche 7198 du CNRS, Nancy

Dr. Marc NOVELLI (LEM3) marc.novelli@univ-lorraine.fr
Département « IMPACT - Ingénierie des Microstructures, Procédés, Anisotropie, Comportement » au LEM3, Unité Mixte de Recherche CNRS 7239, Metz

Partners :

CRITT TJFU, Laboratoire Jet Fluide Très Hautes Pressions, 55000 Bar-le-Duc, France
Université Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000 Grenoble, France

Period : October 2022 to September 2025

Salary : 1975 brut / month

Context : Hydrogen represents an interesting energy carrier for renewable energy. The solid-state storage of hydrogen in the form of reversible metallic hydrides offers numerous advantages, including high volumetric density and safety, in comparison with the cryogenic liquid and high-pressure gas vessels storages [1]. However, an "activation" step is usually required for the material to be able to absorb hydrogen. An effective way to activate metals consists of refining the size of their overall microstructure via severe plastic deformation. Mechanical milling is an efficient way to activate some metallic alloys but leads sometimes to powdery materials which are generally pyrophoric. The high pressure torsion process can also be used via the formation of bulk nanostructured materials [2]. Such "bulk" deformation is not however industrially feasible due to the limitations related to small parts/quantities. In order to produce larger volume, studies are focused on less severe processes like mechanical surface treatment using shot peening treatment [3].

Objectives : The aim of this project is to study the solid-state hydrogen storage activation process via surface treatments combining mechanical and chemical actions based on the shot peening process. The surface modifications will be studied on model materials (Mg, Ti) in order to understand the respective roles of the surface microstructure / texture and chemical compositions on the phase transformations mechanisms (metal \rightleftharpoons metallic hydrides). Then, others metals / intermetallic materials having higher applicative potentials will be studied. The material characterization will be mainly based on electronic imaging and diffraction technics (XRD, EBSD) as well as fine surface analyses (XPS, Auger imaging, TEM).

Profile : The candidate should have Engineer or Master degree in materials science and/or in mechanics. A non-exhaustive list of required skills is given below for information. The candidate, based at the LEM3 and the IJL, will have to regularly travel to the different collaborators (Institute NEEL, CRITT TJFU).

- *In-depth knowledge in material science (metallurgy, mechanic)*
- *Ability to summarize a multidisciplinary study*
- *Great autonomy and sense of planification*

[1] A. Züttel, Mater. Today, vol. 6, no. 9, pp. 24–33, 2003.
[2] J. Huot et al., Materials 12.17, 2778, 2019.
[3] K. Edalati et al., J. Alloys Compd., vol. 737, pp. 337–346, 2018.