

Étude de la fragilisation par hydrogène des aciers par méthode ultrasonore

Le développement de la filière hydrogène constitue une voie majeure de réduction des émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Cependant, le développement de cette filière présente des défis technologiques important tant au niveau des modes de production qu'au niveau du stockage que du transport. Ainsi, l'hydrogène est stocké ou transporté dans des réservoirs ou des conduites en acier qui subissent des contraintes spécifiques liées à nature même de l'hydrogène. En effet, placés dans un tel environnement, les aciers subissent un mécanisme de fragilisation et de dégradation liées à l'absorption de l'hydrogène en leur sein. Cette dégradation se traduit par une réduction de la ductilité et de la capacité de charge pouvant conduire à des fissures ou à des ruptures fragiles pour des contraintes inférieures aux limites d'élasticité habituelles de aciers^{1 2}. On parle alors de fragilisation par hydrogène. Caractériser cette dégradation constitue donc un enjeu essentiel de sécurité et de fiabilité, des systèmes de stockage et de transport de l'hydrogène.

Compte tenu des enjeux industriels important, l'étude de l'absorption en hydrogène dans des aciers est largement étudiée¹. Une méthode largement utilisée pour étudier ce phénomène est le chargement par voie électrochimique. L'application d'une différence de potentiel entre éprouvette d'acier et une contre électrode favorise d'adsorption d'hydrogène par réduction qui diffuse en son sein. Les éprouvettes sont alors caractérisées post chargement afin de mettre en évidence les changements de propriétés mécaniques et structurales. Cependant les éprouvettes désorbant rapidement, une partie de l'hydrogène est relarguée entre la fin du chargement et les caractérisations. Envisager la possibilité de coupler mesure des propriétés mécaniques simultanément au chargement apporterait une réelle valeur ajoutée. Parmi les méthodes possibles permettant la caractérisation des propriétés mécaniques, les méthodes ultrasonores³ consistant à envoyer une onde dans le milieu sont largement connues et utilisées tant en milieu industriel qu'en laboratoire. Si le chargement en hydrogène des aciers modifie ses propriétés structurales, il est alors possible par une mesure de la variation de vitesse des ultrasons dans l'échantillon de mettre en évidence ce chargement.

A notre connaissance aucune caractérisation in-situ durant le chargement en hydrogène n'a été réalisée à ce jour. Notre objectif est donc de coupler mesures ultrasonores et électrochimiques afin de monitorer en temps réel l'absorption en hydrogène des aciers et d'avoir une indication in situ du chargement en hydrogène. Lors d'un précédent stage de Master nous avons pu mettre en place une instrumentation permettant cette mesure simultanée sur des temps de 36h à 48h dans un environnement non thermostaté. Nous avons obtenu une précision de mesure de vitesse des ondes ultrasonores dans l'acier inférieure à 1 m/s. Cependant compte tenu des cinétiques d'absorption de l'ordre d'une à deux semaines, nous ne pouvons garantir que les variations de vitesse mesurées soient représentatives d'une absorption d'hydrogène conduisant à une modification des propriétés acoustiques de l'acier.

L'objectif de ce stage est donc de confirmer ces premières mesures en fiabilisant l'ensemble des protocoles de mesure sur ces durées d'expérimentation et voir sur des durées plus importantes. Les variations de vitesses attendues sont de l'ordre de 0,1% et nécessitent une métrologie de précision où l'ensemble des paramètres extérieurs, notamment la température, doivent être pris en compte. Cette sensibilité sera évaluée.

¹ Fan, Y.H.; Zhang, B.; Yi, H.L.; Hao, G.S.; Sun, Y.Y.; Wang, J.Q.; Han, E.-H.; Ke, W. (2017). The role of reversed austenite in hydrogen embrittlement fracture of S41500 martensitic stainless steel. *Acta Materialia*, (), S1359645417306547-. doi:10.1016/j.actamat.2017.08.011

² Dwaipayan MALLICK Hydrogen Behavior in First and Second Generation of Advanced High Strength Steels THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON 2020.

³R. J. Kažys, L. Mažeika, V. Samaitis, R. Šlitteris, P. Merck, and Ž. Viliūnas, "Comparative Analysis of Ultrasonic NDT Techniques for the Detection and Characterisation of Hydrogen-Induced Cracking," *Materials*, vol. 15, no. 13, p. 4551, Jun. 2022, doi: 10.3390/ma15134551.

Le travail proposé s'organiserà suivant les tâches définies ci-dessous :

- Approvisionner les matériaux de référence aciers sains, électrodes de référence et contre électrodes.
- Fiabiliser et optimiser les protocoles de mesures ultrasonores et protocoles de chargement en hydrogène. La conception et réalisation d'une cuve thermostatée sera envisagée.
- Développer une interface utilisateur pour des mesures en temps réel des propriétés acoustiques en prenant en compte notamment l'influence de la température.
- Réaliser des campagnes de mesures sur plusieurs jours
- Corréler les variations des propriétés ultrasonores à des essais mécaniques : essais de traction et mesure de dureté.
- Comparer les résultats obtenus à des mesures de chargement en hydrogène réalisées par l'utilisation de méthodes contrôle basées sur les courants de Foucault spécifiquement développées à l'université de Tohoku.

Le travail se fera en collaboration avec le Laboratoire MATEIS de l'INSA de Lyon et le Laboratoire ELyTMAX situé à l'université de Tohoku au Japon qui produiront les échantillons et apporteront leur expertise sur les mécanismes de diffusion de l'hydrogène dans les aciers.

Profil recherché

Niveau Master 2 (Ecole d'Ingénieur ou Université), Formation en Physique Appliquée/Électronique, Instrumentation, compétences en traitement du signal, physique des ondes et programmation.

Candidature : envoyer par mail un dossier constitué d'un CV détaillé, d'une lettre de motivation

Début du stage souhaité : février/mars 2025

Contacts :

guy.feullard@insa-cvl.fr

GREMAN, Pôle A&P
INSA Centre Val de Loire
Rue de la chocolaterie
CS 23410
41034 Blois CEDEX

hossep.achdjian@insa-cvl.fr

GREMAN, Pôle A&P
INSA Centre Val de Loire
Rue de la chocolaterie
CS 23410
41034 Blois CEDEX