

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE

Laboratoires d'accueil : CERI MP – Centre d'Enseignement de Recherche et d'Innovation Matériaux et Procédés
Ecole Gradué : ENGYSYS Sciences de l'ingénierie et des systèmes (U-Lille, Centrale Lille Institut, IMT Nord Europe)

THÈSE présentée en vue d'obtenir le grade de DOCTEURE en Mécanique des solides, des matériaux, des structures et des surfaces
par

MERHEB Shaymaa

DOCTORAT de l'IMT NORD EUROPE

Titre de la thèse :

Modélisation de l'endommagement en fatigue assistée par l'hydrogène dans les aciers à l'aide de la méthode du champ de phase

Soutenance prévue le mardi 24 mars 2026 à 14h00

***Lieu : IMT Nord Europe - Centre de Recherche - Bâtiment GCE1 - Salle : Amphi LE CHATELIER
764 bd Lahure - 59500 DOUAI***

Devant le jury d'examen :

Président	(désigné lors de la soutenance)		
Rapporteuse	BOUHATTATE Jamaa,	Maîtresse de conférences,	Université de La Rochelle
Rapporteur	MADI Yazid,	Professeur,	MINES Paris - PSL
Examinatrice	BRANCHERIE Delphine,	Professeure,	Université de Technologie de Compiègne
Examineur	PANIER Stéphane,	Professeur,	Université de Picardie Jules Verne (UPJV)
Examineur	SHAKOOR Modesar,	Maître de conférences,	IMT Nord Europe
Examineur	VASIUKOV Dmytro,	Maître de conférences,	IMT Nord Europe
Co-Directeur de thèse	ASSAF Samir,	Docteur (HDR),	Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM)
Directeur de thèse	CHAKI Salim,	Professeur,	IMT Nord Europe

Résumé

L'intégrité structurelle des composants en acier est de plus en plus menacée par la fissuration assistée par l'hydrogène sous chargements cycliques, d'autant plus que l'hydrogène s'impose comme un vecteur énergétique clé. La prédiction de la rupture dans de tels environnements est rendue complexe par le couplage non linéaire entre l'endommagement mécanique, la dégradation en fatigue et le transport de l'hydrogène. Cette thèse développe un cadre numérique unifié pour simuler l'endommagement assisté par l'hydrogène sous chargements statiques et cycliques, basé sur le modèle de zone cohésive régularisé par champ de phase (PF-CZM). La formulation proposée couple le PF-CZM avec une diffusion de l'hydrogène assistée par la contrainte hydrostatique. La contribution principale de ce travail réside dans l'introduction d'une stratégie de pénalisation pour imposer des conditions aux limites d'hydrogène évolutives le long des surfaces de fissure nouvellement formées, sans suivi explicite du front. Les résultats numériques montrent que, si la réponse mécanique globale peut rester inchangée dans des configurations pré-saturées, l'approche proposée influence significativement les distributions locales d'hydrogène et devient essentielle dans des conditions d'exposition non uniformes et pour des configurations de fissures complexes. Le cadre est ensuite étendu à la propagation de fissures en fatigue dans l'air par l'introduction d'une loi de dégradation en fatigue au sein de la formulation PF-CZM. Une analyse de sensibilité détaillée révèle que, contrairement à la rupture monotone, les prédictions de croissance de fissures en fatigue sont fortement influencées par la longueur de régularisation du champ de phase, révélant une interaction directe entre ce paramètre et le mécanisme de dégradation par fatigue. En conséquence, la longueur de régularisation doit être considérée comme un paramètre intégral du modèle et traitée de manière cohérente avec la formulation en fatigue. Le modèle proposé reproduit la propagation stable des fissures dans le régime de Paris, avec des résultats numériques en bon accord avec les données expérimentales disponibles. L'endommagement en fatigue assistée par l'hydrogène est étudié en couplant la dégradation cyclique avec des propriétés de rupture dépendantes de l'hydrogène. L'approche de pénalisation associée aux conditions aux limites évolutives est étendue à la fatigue, garantissant une distribution physiquement cohérente de l'hydrogène au cours de la propagation des fissures sous chargement cyclique. Les résultats mettent en évidence l'influence combinée du chargement cyclique et de l'hydrogène sur le comportement de propagation des fissures. Ce travail clarifie les conditions de modélisation dans lesquelles les formulations PF-CZM peuvent être appliquées de manière fiable à la fatigue assistée par l'hydrogène. Il comble ainsi une lacune majeure dans le traitement numérique cohérent de la dégradation par fatigue et de l'exposition évolutive à l'hydrogène pendant la propagation des fissures. Le cadre proposé constitue un outil numérique robuste pour la recherche et l'expertise technique de l'endommagement en fatigue assistée par l'hydrogène.