

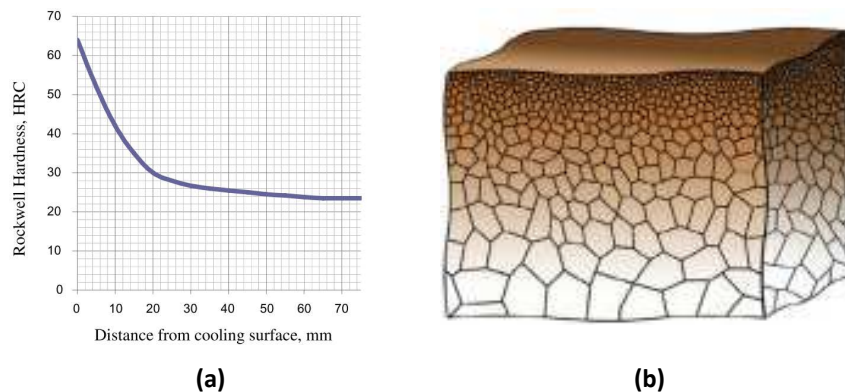
## Proposition de stage recherche Master 2

### Modélisation et simulation par champs de phases de l'endommagement dans les alliages à gradient de propriétés sous chargements cycliques

**Mots clés :** Endommagement, chargement cyclique ; alliages ductiles ; gradient de propriétés ; champs de phases ; simulation par éléments finis ; COMSOL Multiphysics

#### Description du stage

Les traitements thermiques des pièces métalliques, trempe par exemple, peuvent provoquer un gradient de propriétés mécaniques dû au gradient de vitesse de refroidissement. Le matériau ainsi modifié possède alors une hétérogénéité de comportement mécanique [1, 2]. A titre d'exemple, citons l'essai de trempabilité de Jominy qui s'appuie sur ce phénomène pour évaluer la trempabilité d'un matériau caractérisé par le gradient de la dureté de l'éprouvette, comme illustré par la courbe de la **Figure 1(a)**. Les gradients de propriétés peuvent également être créés à partir de la fabrication additive en contrôlant la taille des grains comme représenté sur le schéma de la **Figure 1(b)**.



**Figure 1.** (a) Variation de la dureté vs. la distance de la surface froide dans l'essai Jominy [3] ; Schéma d'un matériau métallique à gradient de propriétés issu de la fabrication additive grâce à la variation de taille des grains [4]

Au cours de leur service, ces pièces mécaniques peuvent être sollicitées à des chargements mécaniques monotones ou cycliques. Pour estimer la durée de vie de ces pièces en service, une étude approfondie de la dégradation des propriétés mécaniques, notamment de l'endommagement du matériau, est nécessaire. Nous utiliserons pour cela l'approche champs de phases ou modèles d'endommagements régularisés (modèles non locaux) qui procèdent par incorporation de termes de gradient d'endommagement dans l'énergie totale du matériau.

Cette approche a été initiée au LSPM, il y a maintenant une vingtaine d'année, par Jean-Jacques Marigo et Gilles Francfort [5–7], qui ont introduit une formulation énergétique de la mécanique de rupture, basée sur un principe de minimisation globale. Malgré la popularité de ces modèles dans les problèmes purement mécaniques, leur extension à la modélisation de la rupture dans les problèmes de fatigue ou des matériaux à gradients de propriétés est toutefois beaucoup moins explorée, en raison de la complexité et de la lourdeur de la mise en œuvre de ces modèles couplés dans des plateformes maison. On trouve dans la littérature seulement quelques travaux sur cette application [8–10].

Le stage proposé a pour objectif de mener une étude complète, en partant du développement analytique jusqu'à la simulation par EF, en utilisant le code COMSOL pour étudier l'endommagement et la rupture dans un milieu à gradient de propriétés mécaniques soumis à un chargement cyclique.

#### Travail demandé :

En partant des développements et des outils déjà réalisés au LSPM, le/la stagiaire recruté(e) aura pour mission de réaliser :

- Recherche bibliographique ;
- Proposition de modèle phénoménologique de comportement à partir des résultats expérimentaux ;
- Implémentation du modèle obtenu dans COMSOL Multiphysics ;
- Simulation et analyse des résultats pour un chargement cyclique.

**Profil recherché :** Candidat(e) en cours de formation Bac+5 M2 (ou équivalent dans au moins l'une de ces disciplines : Mécanique, Génie Civil, Génie Mécanique, Mécanique Numérique, Mathématiques Appliquées) devra posséder de bonnes connaissances en modélisation mathématique et numérique des matériaux ductiles (écrouissables) et aussi en mécanique de rupture, et devra avoir le goût pour la programmation (dans COMSOL Multiphysics).

**Etablissement d'accueil :** Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM- UPR CNRS 3407) – Université Sorbonne Paris Nord, Villetaneuse.

**Début de stage envisagé :** mars 2023.

**Financement :** stage de 5 à 6 mois, indemnité nette mensuelle : 600 € / mois

**Contacts et modalités :** Transmettre un CV détaillé, lettre de motivation et recommandation, notes de master et tout autre élément utile à : [radhi.abdelmoula@sorbonne-paris-nord.fr](mailto:radhi.abdelmoula@sorbonne-paris-nord.fr) , [akbar.ghazavizadeh@sorbonne-paris-nord.fr](mailto:akbar.ghazavizadeh@sorbonne-paris-nord.fr)

**Ce stage pourra déboucher sur une thèse de doctorat. L'objectif de cette thèse est l'estimation de la durée de vie des composants mécaniques possédant un gradient de propriétés mécaniques soumis à des chargements thermomécaniques multiaxiaux.**

### Références Bibliographiques

1. Baniassadi M, Ghazavizadeh A, Rahmani R, et al (2009) A novel semi-inverse solution method for elastoplastic torsion of heat treated rods. *Mecc* 2009 453 45:375–392. <https://doi.org/10.1007/S11012-009-9256-5>
2. El-Borgi S, Abdelmoula R, Keer L (2006) A receding contact plane problem between a functionally graded layer and a homogeneous substrate. *Int J Solids Struct* 43:658–674. <https://doi.org/10.1016/J.IJSOLSTR.2005.04.017>
3. Totten GE (2006) *Steel Heat Treatment*. CRC Press
4. Zhang C, Chen F, Huang Z, et al (2019) Additive manufacturing of functionally graded materials: A review. *Mater Sci Eng A* 764:138209. <https://doi.org/10.1016/J.MSEA.2019.138209>
5. Bourdin B, Francfort GA, Marigo JJ (2000) Numerical experiments in revisited brittle fracture. *J Mech Phys Solids* 48:797–826. [https://doi.org/10.1016/S0022-5096\(99\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5096(99)00028-9)
6. Francfort G, Marigo J-J (1999) Une approche variationnelle de la mécanique du défaut. *ESAIM Proc* 6:57–74. <https://doi.org/10.1051/proc:1999046>
7. Francfort GA, Marigo JJ (1998) Revisiting brittle fracture as an energy minimization problem. *J Mech Phys Solids* 46:1319–1342. [https://doi.org/10.1016/S0022-5096\(98\)00034-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5096(98)00034-9)
8. Abdelmoula R, Marigo JJ, Weller T (2010) Construction and justification of Paris-like fatigue laws from Dugdale-type cohesive models. *Ann Solid Struct Mech* 2010 13 1:139–158. <https://doi.org/10.1007/S12356-010-0011-3>
9. Abdelmoula R, Marigo JJ, Weller T (2009) Construction des lois de fatigue à partir de modèles de forces cohésives : cas de fissures en mode I. *Comptes Rendus - Mec* 337:166–172. <https://doi.org/10.1016/j.crme.2009.04.002>
10. Alessi R, Vidoli S, De Lorenzis L (2018) A phenomenological approach to fatigue with a variational phase-field model: The one-dimensional case. *Eng Fract Mech* 190:53–73. <https://doi.org/10.1016/J.ENGFRACTMECH.2017.11.036>