



## Projet d'étude post doctorale

Exploitation d'un modèle numérique de grenaillage et méthodologie d'initialisation après grenaillage des variables internes dans un modèle de tenue en service

### Contexte du projet

Le grenaillage de précontrainte (shot-peening) est un procédé de traitement de surface par projection de grenailles (billes de petites tailles) à grande vitesse. Il est utilisé dans l'industrie aéronautique de manière généralisée, et, particulièrement, comme procédé de renforcement mécanique par l'introduction de contraintes résiduelles de compression en proche surface. Une fois le profil des contraintes résiduelles connu, il est possible de l'introduire dans un modèle de calcul par éléments finis sur structure complexe afin d'en quantifier les effets.

Le résultat du grenaillage va dépendre de plusieurs paramètres liés soit aux conditions du procédé, comme la vitesse de projection des billes, l'angle d'incidence et le débit de projection ou à la grenaille à savoir sa géométrie et ses propriétés matériau (dureté).

Pour reproduire numériquement les profils de contraintes résiduelles obtenus expérimentalement, Safran dispose d'un modèle de simulation numérique par éléments finis en dynamique/explicite. Il s'agit d'un modèle multi-impacts paramétrique basé sur l'hypothèse de massif semi-infini (MSI) où les billes sont projetées par "salves" (groupes de billes sans interactions entre elles) suivant des conditions calculées (nombre, vitesse, angle) permettant d'atteindre une spécification de grenaillage, c'est-à-dire un triplé (Intensité Almen, Recouvrement, Angle d'incidence). Ce modèle multi-impacts est destiné à produire des données en nombre autrement dit, pour reproduire différentes conditions de grenaillage et pour différents couples de matériaux pièce/bille.

La production de résultats avec ce modèle multi-impacts permet de connaître l'état mécanique sur le massif semi-infini après grenaillage à savoir :

- **l'état de contraintes** induit par le grenaillage en surface et en profondeur, ce qui permet de remplacer des essais de caractérisation des profils de contraintes résiduelles ; ces données sont utiles pour la mise en données des calculs de comportement des pièces après grenaillage ;
- **l'état d'écrouissage** induit par le grenaillage en surface et en profondeur.

C'est ce deuxième point qui constitue l'essentiel des travaux.

### Démarche

Les travaux s'inscrivent dans la continuité des travaux déjà menés au Centre des Matériaux (2019) et à l'Onera dans le cadre du projet CONDOR (2017) et leur exploitation par Safran. L'étude post doctorale fait partie d'un projet Safran plus vaste sur la prévision de la durée de vie des pièces aéronautiques "ATLAAS" : Advanced Techniques for the Life Assessment of Aerospace Structures.

Les deux modèles : 1) multi-impacts utilisé pour la connaissance de l'état mécanique induit par le grenaillage en tout point de la surface de la pièce grenaillée, et 2) de tenue en service (Durée de vie) permettant de quantifier les bénéfices du procédé sur la DDV, utilisent des lois de comportement différentes, ainsi donc que les variables

d'état. L'objectif principal est de développer et de valider une méthodologie d'initialisation des variables d'état de la loi de comportement dans un calcul macroscopique sur pièce grenillée, à partir d'un calcul de grenailage sur massif semi-infini à l'échelle mésoscopique utilisant une autre loi de comportement. La démarche projet consiste à approfondir la connaissance de l'état d'érouissage induit par le grenailage par l'exploitation des résultats obtenus au Centre des Matériaux en 2019 :

- **objectif 1** : il s'agira dans un premier temps d'explorer voire d'enrichir le modèle multi-impacts et ses procédures. La méthode de réduction de modèles pourra être réalisée. Elle serait précieuse pour la déclinaison de la méthode à une pratique «ingénieur» ;
- **objectif 2** : poursuivre l'étape précédente par l'analyse de l'évolution temporelle et spatiale des contraintes, déformations et variables internes. Les travaux sur l'initialisation des variables de la loi de comportement déjà réalisés seront repris et généralisés suivi d'une analyse des effets sur la relaxation puis sur la durée de vie.

## Réalisation des travaux et profil des candidatures

Les travaux seront réalisés pour l'essentiel au Centre des Matériaux, Mines Paris, localisé à Evry, Essonne. Des réunions régulières auront lieu avec l'équipe projet pilotée par Safran Tech.

Le candidat ou la candidate devra être diplômé(e) d'un doctorat en mécanique avec de fortes compétences en calculs de structures et lois de comportement. Des connaissances en grandes déformations seront un plus.

## Conditions particulières

- Projet de 12 mois ;
- Salaire environ 2700 € brut pour une première expérience.

## Dossier de candidature

Le dossier de candidature doit inclure :

- Un CV
- Une lettre de motivation décrivant vos appétences et compétences pour le projet (maximum 2 pages) ;
- Un résumé des travaux de thèse (maximum 2 pages) ;
- Les coordonnées de deux contacts, avec leurs fonctions ;
- Copie du diplôme de doctorat.

## Contact

Farida Azzouz, Kais Ammar, Centre des Matériaux, UMR CNRS 7633, Mines Paris, PSL University.  
Benoît Changeux, Safran Tech

## Bibliographie

[1] P.Renaud, "Modélisation numérique du grenailage des pièces initialement cémentées ou Carbonitrurées", Thèse, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2011.

[2] V. Boyer, "Modélisation du grenailage d'un alliage de nickel avec prise en compte de l'érouissage et de la microstructure", Thèse, Université de Technologie de Troyes, 2017.

[3] M. Gelineau, "Étude de l'impact du grenailage sur des composants mécaniques industriels à géométrie complexe", Thèse, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers 2018.

[4] M. Berrabaa, "Simulation du grenailage d'un super alliage base nickel pour disques de turbines", Mastère Spécialisé DMS, Mines Paris, 2019.