

## Formation Spécialisée MASTERE DMS Design des Matériaux et des Structures

### OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2022/2023

#### Encadrement

---

Henry Proudhon (CDM – Mines Paris), Alexiane Barbeau (Safran - PFX)

#### Titre

---

**Etude et automatisation du contrôle non destructif surfacique de la qualité cristalline des aubes de turbine par diffraction des rayons X**

#### Contexte

---

Ce sujet sera réalisé dans le cadre de la Chaire BiGMECA en partenariat avec Safran.

Le programme de la chaire BIGMECA propose d'utiliser les techniques issues de l'Intelligence Artificielle pour analyser de nouveaux jeux de données massives, issues de l'utilisation de capteurs et de systèmes d'imagerie.

Dans le domaine de l'aéronautique, les aubes de turboréacteur qui subissent les plus importantes sollicitations mécaniques endurent des températures de l'ordre de 1700 °C et des vitesses de plus de 20000 tours par minutes. Pour que ces pièces puissent fonctionner dans ces conditions extrêmes, elles sont fabriquées avec un procédé de solidification particulier leur permettant d'être constituées d'un unique cristal, dont l'orientation est contrôlée.

L'orientation cristalline est mesurée par diffraction des rayons X<sup>1</sup>, avec ici, un montage de Laue en réflexion pour effectuer une mesure surfacique. Ce montage se compose d'une source de rayons X polychromatique collimaté, d'un support de pièce motorisé, et d'un détecteur de rayons X de type flat panel. Ainsi, une mesure d'orientation cristalline consiste à envoyer un faisceau de rayons X sur la pièce (faisceau parallèle de taille contrôlée), afin de collecter sur le détecteur l'image de diffraction provenant de la surface illuminée par le faisceau. Ce sera l'analyse de cette image de diffraction, dite indexation, qui permettra la détermination de l'orientation du réseau cristallin.

Dans l'industrie de fonderie monocristalline, cette technique de mesure est très couramment utilisée en gamme puisque la tenue thermomécanique de la pièce est dépendante de l'orientation du cristal. En effet, il est bien connu que la direction [001] de la maille cubique du monocristal croit dans la direction verticale de l'aube, qui est perpendiculaire à l'axe de rotation de la turbomachine<sup>1</sup>. L'objectif du contrôle non destructif est donc de vérifier que la direction du cristal est conforme aux attentes du bureau d'étude, c'est-à-dire que la direction [001] des pièces est comprise dans l'intervalle de tolérance angulaire du critère d'acceptation.

#### Objectif et travail proposé

---

Une mesure d'orientation par diffraction des rayons X pour un montage Laue en réflexion s'effectue sur les aubes de turbine à l'état « brut de fonderie ». Il s'agit d'une mesure quantitative locale, car la zone illuminée par les rayons X collimatés dépend de la taille du faisceau de rayons X incident (~ 1mm de diamètre). C'est aussi une mesure rapide, précise et simple à mettre en

œuvre ; cependant, la qualité du signal de diffraction est tributaire de l'état local de la surface de la pièce : rugosité, oxydation, écrouissage, etc.

Le projet consiste à évaluer les différents paramètres qui régissent le signal de diffraction des rayons X, pour deux montages de Laue en réflexion (source RX classique et haute énergie). Il s'agira d'étudier l'impact :

- de l'état de surface de l'échantillon (brut de fonderie, présence d'oxydes, rugosité, ...);
- de la géométrie de la pièce (surface plane, congé, ...);
- du rayonnement X (interaction RX/matière)

Puis, une étude approfondie des paramètres permettra de définir l'automatisation de la mesure en gamme, plus précisément :

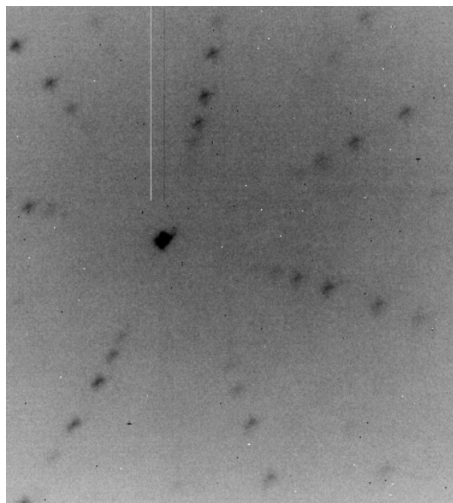
- Définition de la position de l'aube devant le faisceau pour le scan ;
- Indexation automatique des clichés de diffraction ;
- Cartographie surfacique (2D) de l'orientation du cristal sur la pièce 3D.

**Mots clés** : contrôle non destructif (CND), physique des rayons X, diffraction des rayons X, cristallographie des superalliages bases nickel, monocristal, traitement du signal RX, langage python

### Compétences et profil recherché

---

Capacité d'analyse et de synthèse, de la rigueur de l'autonomie et une grande force de proposition. De bonnes connaissances en matériaux, en langage python et un goût prononcé pour le travail expérimental serait un atout.



*Figure 1: Image de diffraction Laue en réflexion sur aube de turbine (SAFRAN)*

## Formation Spécialisée MASTERE DMS Design des Matériaux et des Structures

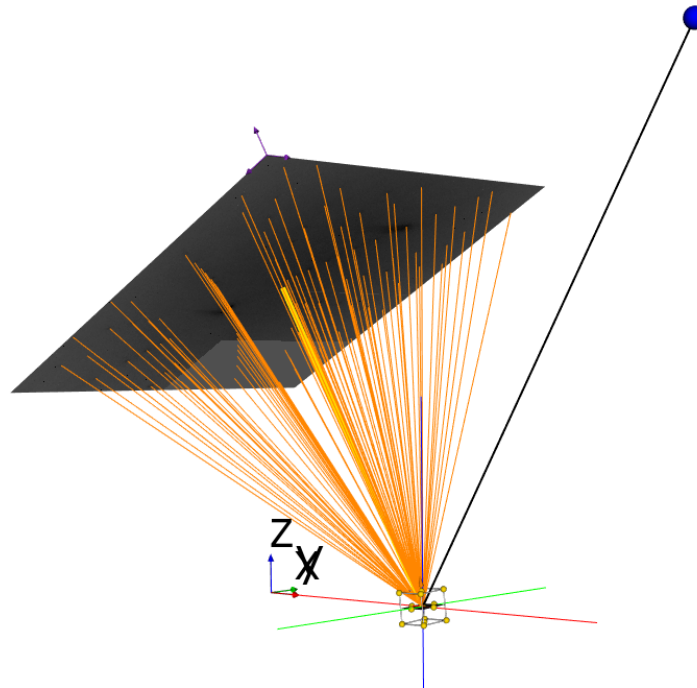


Figure 2: Simulation 3D de la diffraction Laue en réflexion sur un cristal cubique à faces centrées

### Références

---

1. Cullity, B. D. (1956). *Elements of X-ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing.
2. Reed, R. C. (2008). *The superalloys: fundamentals and applications*. Cambridge university press.

Chaire « **BIGMECA** ». <https://bigmeca.minesparis.psl.eu/>