



# FORMATION PERFECTIONNEMENT MÉTIER

## Analyse des contraintes résiduelles par diffraction des rayons X

Les contraintes résiduelles sont omniprésentes dans le domaine de l'industrie mécanique. Elles sont introduites lors de l'élaboration des composants (usinage, soudage, traitements de surface, dépôts et revêtements...). Elles se superposent aux contraintes de service et peuvent entraîner des déformations ou des ruptures. Le contrôle des contraintes résiduelles est ainsi essentiel pour améliorer la sécurité et la durabilité d'un composant technologique. La recherche en ce domaine est très active et les techniques de mesure ont beaucoup évolué ces vingt dernières années, y compris la plus utilisée d'entre elles, la diffraction des rayons X.

La diffraction des rayons X (DRX/XRD) est une méthode non destructive de caractérisation des contraintes résiduelles dans les matériaux polycristallins.

Malgré les progrès récents des logiciels et l'existence de normes, cette technique nécessite un savoir-faire certain aussi bien pour la mise en œuvre que pour l'interprétation des mesures. Souvent, les aspects liés à la microstructure des matériaux (texture, biphasage, gradient, taille de grains...) ne peuvent pas être négligés.

L'Université de technologie de Troyes propose une **formation spécifique à l'analyse des contraintes résiduelles par diffraction des rayons X**, destinée aux ingénieurs de l'industrie, aux doctorants et aux chercheurs.



### OBJECTIFS DE LA FORMATION

- ▶ Comprendre l'origine et les conséquences des contraintes résiduelles
- ▶ Définir et choisir les paramètres et conditions de mesure (configuration de l'appareil et des acquisitions)
- ▶ Utiliser les appareils de mesure de manière optimale
  - ▶ diffractomètre des rayons X Bruker D8 Discover, avec détecteurs 0, 1 et 2 D
  - ▶ diffractomètre des rayons X GE-Seifert, avec détecteurs 0 et 1 D
  - ▶ diffractomètre des rayons X Inel EQUINOX 100 avec détecteur 1 D
- ▶ Traiter les données de différentes manières et de façon appropriée
- ▶ Intégrer les limites de la méthode, les aspects métrologiques et les erreurs de mesures dans la démarche d'analyse et de l'évaluation des résultats

### MODALITÉS PRATIQUES

#### DURÉE, RYTHME, LIEU :

- ▶ Durée : 4,5 jours de formation
- ▶ Formation à temps plein
- ▶ Lieu : Troyes

8 places disponibles  
Inscription avant le 20/12/2024 à  
[formation.continue@utt.fr](mailto:formation.continue@utt.fr)

#### PROCHAINE SESSION :

Du 3 février 2025 à 13h  
au 7 février 2025 à 17h

#### COÛT DE LA FORMATION :

3500 € pour les universitaires  
6000 € pour les industriels  
*Ce tarif est net, l'UTT étant  
exonérée de la TVA pour ses  
activités de formation*

#### PUBLIC VISÉ :

Chercheur, doctorant, ingénieur en  
industrie ou en laboratoire

#### PRÉ-REQUIS :

Notions de mécanique des solides  
et/ou de diffraction de rayons X.  
Préparation : cours et exercices  
d'introduction (mécanique et matériaux)  
disponibles en ligne 2 semaines  
avant la session.  
Réponses aux questions par visio le  
vendredi après-midi avant la session.

#### CONTACT :

Université de Technologie de Troyes  
12 rue Marie Curie - CS 42060  
10010 Troyes Cedex

Cindy Laffrat  
Coordnatrice administrative  
[formation.continue@utt.fr](mailto:formation.continue@utt.fr)  
Tél. : 03 25 71 85 40

Responsable du programme :  
Bruno Guelorget  
[bruno.guelorget@utt.fr](mailto:bruno.guelorget@utt.fr)

# Programme

<b>MODULE 1</b>	<b>Eléments de Mécanique et de Diffraction</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Origine et conséquences des contraintes résiduelles (mécaniques, thermiques, etc.)</li><li>▶ Éléments de mécanique des solides et de diffraction des rayons X (DRX)</li><li>▶ Applications pratiques : calcul des positions de pics, des profondeurs de pénétration et effet de la fluorescence</li><li>▶ Présentation des principaux appareillages présents sur le marché et ceux du laboratoire (nombre d'axes, anode fixe ou tournante, détecteur 0, 1 et 2 D)</li></ul>	<b>1 jour</b> (7h)
<b>MODULE 2</b>	<b>Mesure de contraintes résiduelles par DRX</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Principes de la méthode</li><li>▶ Méthodologie de mise en œuvre et choix des conditions de mesure</li><li>▶ Applications pratiques sur échantillons de référence et sur échantillons de complexité croissante</li></ul>	<b>1 jour</b> (7h)
<b>MODULE 3</b>	<b>Traitement des données expérimentales</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Méthodologie de traitement des données expérimentales</li><li>▶ Applications pratiques sur des cas réels : choix des algorithmes de traitement</li></ul>	<b>1 jour</b> (7h)
<b>MODULE 4</b>	<b>Approfondissement et applications pratiques</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Aspects métrologiques et erreurs de mesure</li><li>▶ Limites de la méthode, aspects qualité et normatifs</li><li>▶ Exploitation des résultats, méthode des eigenstrains</li><li>▶ Applications pratiques des eigenstrains</li><li>▶ Applications en laboratoire</li></ul>	<b>1,5 jour</b> (11h)

## ÉQUIPE PÉDAGOGIQUE

Les enseignements sont assurés par l'équipe du laboratoire LASMIS de l'UTT.

- ▶ **Bruno Guelorget** : Ingénieur, docteur (UTT). 32 publications et 6 rapports de contrats sur les contraintes résiduelles.
- ▶ **Manuel François** : Ingénieur, docteur de l'ENSAM (Arts et Métiers ParisTech). Professeur des universités (UTT). 306 publications dont 4 chapitres de livres et 45 rapports de contrats industriels dont les 2/3 sur les contraintes résiduelles. Président et organisateur du 9<sup>e</sup> Congrès Européen sur les Contraintes Résiduelles (ECSR-9) en 2014. Membre du comité scientifique des Congrès Européens sur les Contraintes Résiduelles (ECSR).
- ▶ **Delphine Reira** : Ingénieur, docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Professeur des universités (UTT). Plus de 260 publications et 21 contrats industriels sur les liens procédés de surface, contraintes résiduelles, propriétés de composants. Comparaison méthodes de diffraction, méthode du trou incrémental. Responsable et co-organisatrice du colloque Mecamat d'Aussois sur les contraintes résiduelles en janvier 2020.
- ▶ **Léa Le Joncour** : Maître de conférences (UTT). 29 publications et communications scientifiques, traitant majoritairement de diffraction et un chapitre de livre. Participation depuis 9 ans à 7 campagnes de mesures par diffraction sur différents Grands Instruments Européens (rayonnement synchrotron et neutrons).
- ▶ **Guillaume Montay** : Docteur, Maître de conférences HDR (UTT). 110 publications et 11 rapports de contrats sur les contraintes résiduelles.