

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

### Intitulé :

**Détection et dimensionnement de fissures dans des pièces métalliques par une approche CND couplant la thermographie Laser à la thermoinduction**

Référence : **MAS-DMAS-2023-28**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse** : octobre 2023

**Date limite de candidature** : 30/04/2023

### Mots clés

Contrôle Non-Destructif, Thermographie Laser, Thermoinduction, Fabrication Additive, matériaux métalliques

### Profil et compétences recherchées

Ingénieur en 3<sup>e</sup> année de Grande Ecole et/ou titulaire d'un Master 2 Recherche  
Transfert thermique, électromagnétisme, matériaux

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les fissures dans les pièces métalliques aéronautiques sont la cause principale de la diminution de leur durée de vie. Dans le cas de l'élaboration par fabrication additive, ces fissures peuvent apparaître dès l'étape d'élaboration, au cours de la phase de refroidissement de la matière. Leurs dimensions géométriques caractéristiques (longueur, ouverture, profondeur) sont des grandeurs qu'il est indispensable d'estimer pour en prédire la nocivité d'un point de vue mécanique. Parmi les différentes méthodes d'observation et de contrôle non-destructif (CND), la microscopie et la micro-tomographie X sont celles qui sont aujourd'hui le plus couramment utilisées. Elles présentent néanmoins plusieurs inconvénients : la première ne fournit que des informations surfaciques ; la seconde permet certes une caractérisation géométrique complète des fissures mais d'une part leur taille minimale détectable est proportionnelle à la taille de la pièce inspectée, ce qui interdit l'observation de petites fissures sur de grandes pièces et d'autre part les durées d'inspection peuvent être longues et donc incompatibles avec les contraintes industrielles en termes de coûts.

L'ambition de cette thèse est d'obtenir ces informations géométriques dans des conditions inaccessibles pour la micro-tomographie X. Pour y parvenir, l'approche proposée consiste à coupler deux techniques de CND, la thermographie Laser, développée depuis plusieurs années à l'ONERA, et la thermoinduction, technique maîtrisée au CETIM, et à développer un modèle d'identification thermoélectrique de la pièce métallique inspectée. Les deux techniques choisies utilisent des excitations thermiques différentes : dans la première configuration, le chauffage est surfacique, obtenu par balayage Laser ; dans la seconde, le chauffage est volumique, généré par induction et effet Joule dans le matériau. C'est cette complémentarité entre les deux modes d'inspection qui sera exploitée afin d'identifier les paramètres géométriques des fissures.

Le travail de thèse attendu consistera dans un premier temps à modéliser les phénomènes thermiques mis en jeu afin de dimensionner les essais CND. Pour divers cas d'usages dépendant de la géométrie, de l'angle et du positionnement des fissures à détecter, des simulations seront notamment effectuées afin de déterminer les paramètres d'excitation optimaux : puissance Laser, taille du spot Laser, vitesse de balayage, pour ce qui est de la thermographie Laser ; forme de l'inducteur, intensité des courants de Foucault, fréquence, pour ce qui concerne la thermoinduction.

Dans un second temps, des campagnes expérimentales seront mises en œuvre pour inspecter des alliages métalliques sains et fissurés, disponibles à l'ONERA ou fournis par des partenaires industriels, par thermographie Laser d'une part et par thermoinduction d'autre part. L'influence de la gamme de longueur d'onde des caméras infrarouges utilisées pour les acquisitions thermiques sera également étudiée. En outre, afin de disposer d'informations « de référence », des observations par microtomographie X et microscopie

(optique ou électronique à balayage) seront effectuées. Des comparaisons entre l'ensemble de ces données expérimentales et les simulations effectuées au préalable seront conduites afin de valider les modèles ou de les compléter.

La dernière étape de la thèse visera à mettre en évidence l'intérêt du couplage entre les informations surfaciques issues de la thermographie Laser et les informations volumiques, certes limitées à une faible épaisseur, issues de la thermoinduction. Un travail d'identification des propriétés recherchées sera effectué par méthode inverse et une étude de sensibilité sera menée afin d'établir les limites de détectabilité des fissures par cette approche couplée. En fonction de l'avancée de la thèse, une confrontation du modèle thermoélectrique à des cas de fissures non-débouchantes pourra être proposée, dans le but d'étendre le domaine d'application du CND.

#### **Collaborations envisagées**

CETIM

#### **Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

**Contact** : Ludovic Gavérina

Tél. : 01 46 73 45 43    Email : ludovic.gaverina@onera.fr

#### **Directeurs de thèse**

Nom : Yannick Le Maout et

Thierry Sentenac

Laboratoire : Institut Clément Ader

Tél. : 05 63 49 33 39.

Email : yannick.lemaout@mines-albi.fr  
sentenac@imt-mines-albi.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>