

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé :** Prévion de la tenue en fatigue de structures composite : vers un modèle couplant endommagement et autoéchauffement

Référence : **MAS-DMAS-2025-35**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse : 01/10/2025**

**Date limite de candidature : 01/09/2025**

### Mots clés

Composites, Fatigue, Endommagement, Dissipation, Accélération des essais, Calcul de structure

### Profil et compétences recherchées

Master recherche ou grande école, spécialisation en simulations non linéaire éléments finis.  
Bonnes connaissances de la mécanique de l'endommagement, de la méthode des éléments finis et intérêt pour la réalisation d'essais sur structures.

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Bien que les composites stratifiés de plis unidirectionnels (UD) soient de plus en plus utilisés dans des applications structurelles, notamment en aéronautiques, leur comportement en fatigue reste encore peu étudié dans la littérature scientifique. L'une des raisons principales réside dans le coût élevé des études de fatigue, qui nécessitent un grand nombre d'essais (normalisés ou non) avec des configurations de séquences d'empilement variées et sous des conditions environnementales diversifiées. En outre, la durée de vie de ces matériaux dépend fortement du rapport de charge (rapport entre la contrainte maximale et la contrainte minimale). De plus, les résultats en termes de durée de vie sont en général assez dispersés ce qui peut entraîner la nécessité de répéter les essais afin d'obtenir des données fiables pour le dimensionnement de pièces composites. Les modèles phénoménologiques classiques permettent d'extrapoler les courbes S-N (« Stress vs Number of cycles ») obtenues expérimentalement à des durées de vie plus grandes, mais ne sont valables que pour la configuration testée (empilement, rapport de charge) et souvent que sous sollicitation uniaxiale.

L'objectif de ce travail de thèse est donc de développer un modèle d'endommagement fondé sur une description à base physique forte des forces motrices et permettant une identification accélérée des cinétiques d'endommagement puis de le valider sur une large base d'essais instrumentés avec plusieurs rapports de charge.

Deux formalismes de modèle pour prévoir la durée de vie de matériaux composites sont rencontrés dans la littérature. Le premier type d'approche repose sur les modèles d'endommagement formulés à l'échelle du pli UD, tel que déjà développé à l'ONERA. Ces modèles permettent de prévoir le scénario d'endommagement (séquence d'apparition des fissures dans les différents plis du stratifié), la cinétique d'endommagement (évolution du nombre de fissures en fonction de la charge appliquée) et les effets de l'endommagement sur le comportement mécanique. Ces méthodes reposent sur la définition de variables d'endommagement et de leurs effets, qui déterminent le reste du modèle, notamment les forces motrices intégrant la multiaxialité et pilotant la cinétique de l'endommagement. Le second type d'approche repose sur l'utilisation de l'élévation de température observée lors des essais cycliques comme indicateur des mécanismes de fatigue, approche souvent désignée sous le terme « d'auto-échauffement ». Dans le cas des composites stratifiés, des recherches récentes, menées par les équipes de l'IRDLD à l'ENSTA Bretagne, ont montré qu'il est possible, en couplant ces mesures à des modèles appropriés, de remonter à la dissipation propre à chaque pli. Cette dissipation peut être vue comme un marqueur du moteur et de la cinétique des mécanismes responsables de la ruine en fatigue. L'objectif de ce travail de thèse consiste donc à exploiter la complémentarité entre ces deux approches : (i) la méthode d'auto-échauffement fournit un indicateur des forces motrices sans quantifier précisément les effets des endommagements engendrés, tandis que (ii) les modèles d'endommagement se concentrent sur

les conséquences de l'endommagement à partir d'une estimation phénoménologique des forces thermodynamiques.

Pour valider la modélisation originale proposée, une méthodologie expérimentale reposant sur des mesures thermiques, permettant d'accélérer les essais, de mieux comprendre les mécanismes de rupture en fatigue des matériaux sera mise en place, et permettra d'identifier les zones potentiellement les plus sensibles à la fatigue dans les structures. Puis, le comportement non linéaire et les mécanismes d'endommagement sur des stratifiés académiques (unidirectionnels ou croisés) seront déterminés. Puis, des essais de fatigue et d'autoéchauffement sur un empilement quasi-isotrope, représentatif des applications aéronautiques, sous deux rapports de charge seront effectués et richement instrumentés pour établir finement le scénario d'endommagement jusqu'à rupture.

Enfin, en complément, un modèle implanté dans un code de calcul par éléments finis sera mis à disposition pour la conception de nouvelles pièces. En effet, une meilleure maîtrise des facteurs d'abattelements généralement introduits pour prendre en compte la fatigue sera possible grâce à l'utilisation d'un modèle d'endommagement à base physique prenant en compte la multiaxialité. Le modèle sera utilisé pour le dimensionnement d'une pièce composite pouvant être testée en laboratoire, montrant l'intérêt de ce type d'approche. Des essais de fatigue sur ce démonstrateur sont également envisagés dans cette thèse pour valider le modèle proposé.

#### **Collaborations envisagées**

IRD

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

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

**Contact** : F. Laurin

Tél. : 01.46.60.46.67

Email : laurin@onera.fr

#### **Directeur de thèse**

Nom : Carrère Nicolas

Laboratoire : IRDL

Tél. : 02.98.34.59.13

Email : nicolas.carrere@ensta-bretagne.fr

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