

Période du stage : printemps 2020, à partir de février 2020

Titre	Évaluation expérimentale des variations de propriétés mécaniques du fil d'une grille d'entrée d'air d'hélicoptère
Responsables scientifiques à contacter	Rémy Chieragatti, Anis Hor, Catherine Mabru
laboratoire	Institut Clément Ader, DMSM ISAE

Contexte et besoin

L'ISAE et Airbus Hélicoptère se proposent d'étudier l'endommagement des grilles d'entrée d'air de moteur d'hélicoptères. Ces équipements protègent le moteur de l'intrusion de projectiles de taille supérieure à la maille de la grille. Les sollicitations qu'ils subissent génèrent des endommagements notamment par fatigue et usure qui rendent leur remplacement nécessaire pour garantir la performance de la protection et éviter l'ingestion par le moteur de particules issues de leur dégradation. Pour définir les intervalles d'inspection et de remplacement, une bonne connaissance à la fois des charges appliquées et des seuils d'endommagement du grillage est nécessaire. En outre cette connaissance participera à l'amélioration de la conception et de la fabrication du produit. Deux propositions d'études ont été identifiées. La première [1] porte sur la connaissance des charges appliquées sur les grilles et plus particulièrement celles sur les sites jugés critiques. La présente proposition a pour objet de réaliser l'étude d'une cartographie de l'état de la matière du fil dans différentes zones de la grille. Cet état peut en effet conduire à faire varier le seuil de résistance aux endommagements liés aux sollicitations qui seront définies par la réalisation de l'étude de la première proposition.

Enjeux et points clés

Les grilles sont constituées d'un châssis réalisé par des rubans de tôle, qui définissent le cadre et la forme de la grille, recouverts par un grillage réalisé par un tissage de fils d'acier inoxydable attachés au châssis par des épissures. Les sites de rupture se localisent exclusivement dans le grillage. Il s'agit de ruptures aussi bien en zone courante inter nœud ou en zone de jonction avec le cadre notamment au pied des épissures. La rupture en fatigue a été identifiée comme le mode de rupture principal des fils. Des phénomènes d'usure interviennent en synergie avec la fatigue dans certains cas. Cependant ils ne sont pas à l'origine d'une rupture monotone liée à une diminution de la section conduisant au dépassement de la charge à la rupture du fil. La fatigue est donc le phénomène dominant de l'endommagement prématuré du grillage. Les modes de fabrication peuvent modifier considérablement les propriétés de la matière d'une pièce. La tenue à la fatigue est une caractéristique particulièrement sensible à ces modifications.

C'est donc sur l'effet des processus de transformation du fil que portera cette étude. Ce fil arrive dans un état qui sera considéré comme de référence sous forme de bobine. Il constitue le « brut » du processus de fabrication. Ce fil brut subit ensuite des transformations notamment en flexion torsion traction élasto-plastique qui pourront :

- modifier ses caractéristiques mécaniques monotones notamment limite élastique, allongement à la rupture mais aussi sa géométrie
- introduire dans la grille des contraintes élastiques en équilibre (contraintes résiduelles) qui pourront se superposer aux contraintes appliquées à l'échelle de la grille mais aussi à l'échelle du fil (gradient de contraintes résiduelles dans la section).
- modifier les caractéristiques de la microstructure et du profil géométrique local (rugosité).

L'équipe de l'ISAE qui se propose de mener cette étude s'intéresse depuis 1995 aux liens entre les transformations liés à la fabrication des pièces et leur tenue en fatigue.

Le schéma de la figure 1 indique la démarche qui a été entreprise pour mener des études aussi bien sur des aciers des alliages d'aluminium ou de titane et de superalliage dans la cadre de processus de fabrication comme l'usinage ou la fabrication additive.

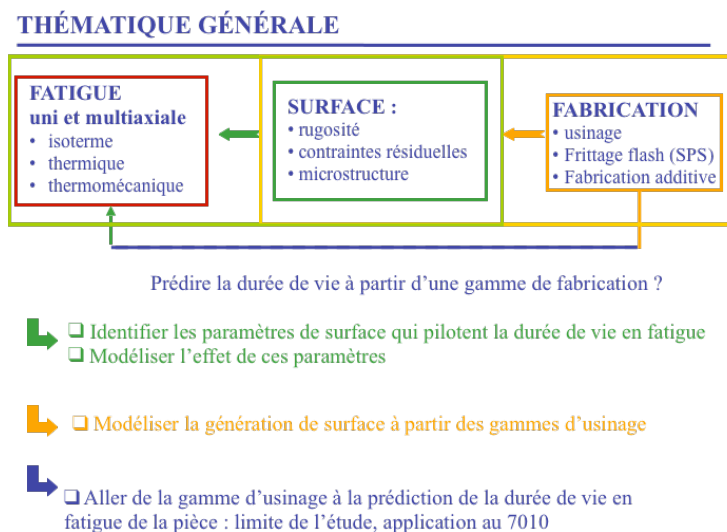


Figure 1. Schéma descriptif de la démarche

Pour un chargement variable connu, il s'agit d'établir à partir de l'analyse de la surface qui est le lien entre le processus de fabrication et l'endommagement en fatigue, les critères de surfaces qui pilotent la tenue en fatigue et de comprendre dans le processus de fabrication quels sont les paramètres (gammes) qui agissent sur ces critères. En fatigue la surface peut être décrite par trois critères :

- la rugosité (géométrie)
- les contraintes résiduelles (chargement mécanique)
- la microstructure (écrouissage, organisation de la matière...)

Quelques exemples tirés de thèses montrent que le ou les critères prépondérants peuvent varier d'un alliage à l'autre. La figure 2 illustre l'effet de l'épaisseur de la couche écrouie qui a été définie comme le critère prépondérant de la tenue d'un acier A42 tourné [2]

EXEMPLES D'ÉTUDE : UN ACIER

A42 : Influence du tournage sur la durée de vie d'un acier A42

(Thèse Adil Masood Alam 98)

• MISE EN ÉVIDENCE DU OU DES CRITÈRES PRÉPONDÉRANTS

épaisseur de la couche écrouie

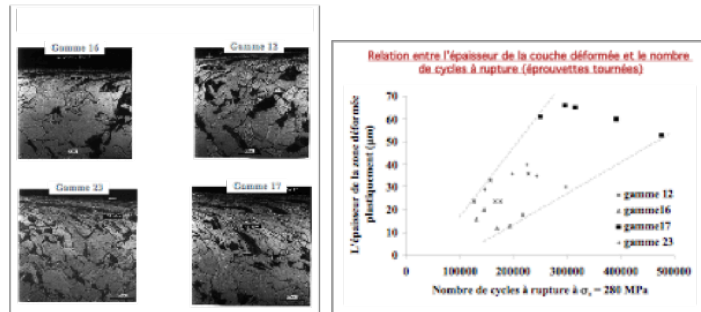


Figure 2 Effet de l'épaisseur de la couche déformée par tournage sur la fatigue d'une pièce en acier type A42

La figure 3 illustre l'effet de la rugosité décrite par un critère de concentration de contrainte local Kt_{local} d'après deux thèses sur l'effet du fraisage sur la tenue en fatigue d'un alliage d'aluminium de la série 7000 [3,4]. La définition et le calcul de ce Kt_{local} ont été proposés dans cette thèse et ont donné lieu à un brevet déposé par Airbus.

EXEMPLES D'ÉTUDE : UN ALLIAGE D'ALUMINIUM

AL 7010 : Des gammes de fraisage à la durée de vie

• PROPOSITION D'UN MODÈLE PRÉDICTIF

Hypothèse d'un effet de concentration locale due au profil : définition d'un Kt_{local}

Modèle d'estimation du Kt_{local}

Intégration du Kt_{local} dans des modèles de fatigue en endurance et en propagation

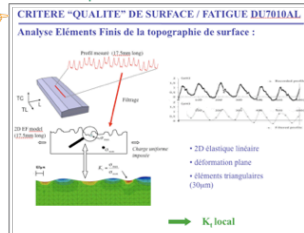
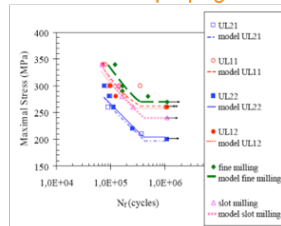


Figure 3. Effet des concentrations de contraintes générées par la rugosité de surface sur la tenue en fatigue un alliage d'aluminium de la série 7000.

Une modélisation du processus de fraisage [4] a permis de faire le lien entre les gammes de fabrication et ce critère. Ce qui a permis de prédire et donc d'optimiser les effets des gammes de fraisage sur la tenue des pièces usinées.

Les contraintes résiduelles ont été montrées comme le critère prépondérant pour décrire la tenue en fatigue de pièces fraisées en alliage de titane comme l'illustre la figure 4.

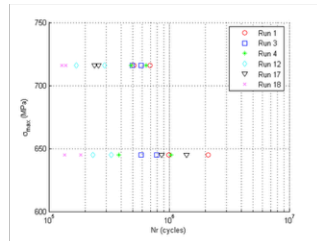
EXEMPLES D'ÉTUDE : UN ALLIAGE DE TITANE

Ta6V : Des gammes de fraisage à la durée de vie

(Thèse Kamel Moussaoui 2014)

- MISE EN ÉVIDENCE DU OU DES CRITÈRES PRÉPONDÉRANTS

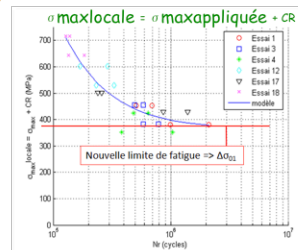
LES CONTRAINTES RÉSIDUELLE (CR)
à l'origine des différences de durée de vie



RÉSULTATS BRUTS

- PROPOSITION D'UN MODÈLE PHÉNOMÉNOLOGIQUE

La contrainte max local
"pilote" la durée de vie



APRÈS MODÉLISATION

Figure 4. Effet des contraintes résiduelles sur la tenue en fatigue d'un alliage de titane.

Un modèle proposé dans cette thèse [5] décrivant l'effet de ces contraintes sur la tenue en fatigue a permis de normaliser les résultats bruts de fatigue en une courbe maîtresse et d'aboutir à des choix de gammes de fabrication.

Description du sujet.

L'étude proposée ici est une première étape dans la démarche permettant d'établir le lien entre la tenue à la fatigue et l'état du fil après transformation liée à la fabrication ou à l'usage. A priori les modifications peuvent être de nature micro-structurale (écrouissage ou taille de grain), mécanique (contraintes résiduelles à deux échelles), ou géométrique (rugosité ou effet de l'usure).

Il s'agira d'établir une cartographie des grandeurs associées à ces modifications par des moyens d'observation ou d'analyse éventuellement destructive sur deux grilles, l'une avant usage et l'autre usagée. Si possible un échantillon du fil avant fabrication pourra servir de référence.

Les moyens envisagés sont :

- pour la microstructure : des observations métallographiques de sections, des mesures de dureté micro et nano (si nécessaire)
- pour la mécanique : des mesures de contraintes résiduelles de surface par diffraction de rayons X (il s'agit dans un premier temps une comparaison pour des conditions identiques en profondeur, les variations d'un site à l'autre et non un profil de contrainte dans une section donnée)
- pour la géométrie : un profil de rugosité éventuellement associé à un calcul de Kt_{local} .

Pour établir les liens avec la durée en fatigue, il a été envisagé de reproduire les états de la matière mesurés sur le fil sur des éprouvettes de fatigue de même composition que le fil mais de dimensions différentes pour l'adapter aux moyens d'essais. Cet aspect sort du cadre de l'étude mais en est la suite et donc la raison d'être. Le but ultime étant de définir une cartographie des seuils de tenue en fatigue du grillage en fonction de la fabrication et de l'usage.

Profil et compétences attendues des candidats

Le candidat devra avoir le goût de l'expérimentation et le sens critique dans l'analyse des résultats. Il devra être sensibilisé à la métrologie et si possible avoir des connaissances dans le domaine de la métallurgie.

La formation aux différents moyens d'investigation retenus pour cette étude n'est pas un critère déterminant mais serait un atout appréciable.

Conditions et rémunération mensuelle (à discuter)

Stage de niveau M2R pour une durée de 5 à 6 mois au barème stagiaire de l'ISAE-SUPAERO susceptible de déboucher sur une thèse ou un contrat de recherche à durée limitée

Références

[1] offre de stage de Christine Espinosa : Modélisation des contraintes générées par les vibrations aéro-élastiques de grilles d'entrée d'air de turbines d'hélicoptères

[2] Thèse A.M. Alam : Influence de gammes de tournage sur l'état de surface et la fatigue en endurance limitée d'un acier de construction, Thèse de doctorat Université Paul Sabatier ENSICA (1998)

[3] Thèse M. Suraratchai Influence de l'état de surface sur la tenue en fatigue de l'alliage d'aluminium 7010, Thèse de doctorat Université Paul Sabatier ENSICA (2006)

[4] Thèse J.Limido : Etude de l'effet de l'usinage grande vitesse sur la tenue en fatigue de pièces aéronautiques. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. (2008)

[5] Thèse K. Moussaoui : Influence de l'usinage sur la durée de vie en fatigue de pièces aéronautiques en alliage de titane. Université Toulouse 3 – Toulouse, FRANCE (2013)