

## Proposition de thèse CIFRE AIRBUS

### Prédiction de l'intégrité de surface et sa surveillance in situ dans le cas de pièces en alliage d'aluminium

#### Contacts :

Virginie Charbonnier : [virginie.charbonnier@airbus.com](mailto:virginie.charbonnier@airbus.com)

Anne Laure Lafly : [anne-laure.lafly@airbus.com](mailto:anne-laure.lafly@airbus.com)

Gérard Poulachon : [gerard.poulachon@ensam.eu](mailto:gerard.poulachon@ensam.eu)

Mathieu Ritou : [mathieu.ritou@univ-nantes.fr](mailto:mathieu.ritou@univ-nantes.fr)

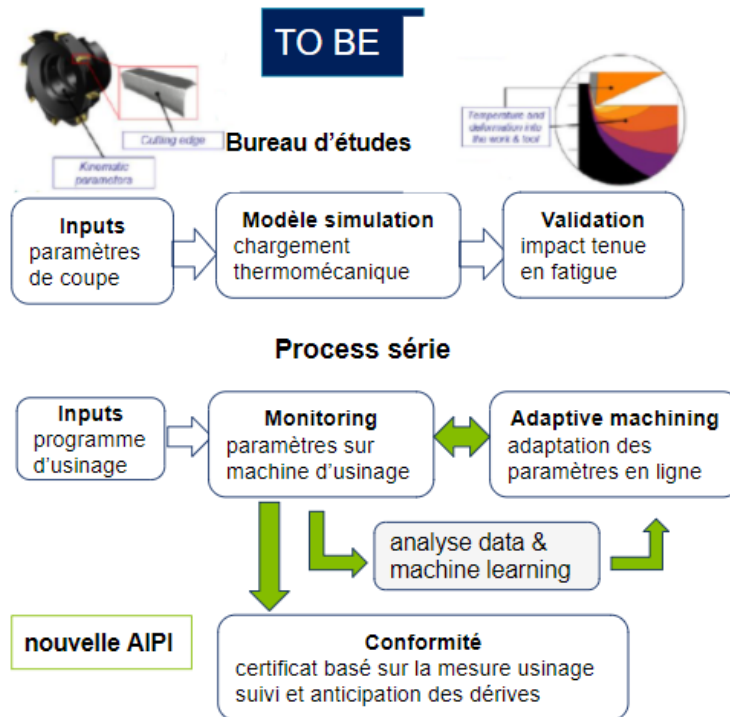
**Mots clés :** Alliage d'aluminium, Fraisage, Intégrité de surface, Simulation thermomécanique, Surveillance, Prédiction, Modélisation

**Key words:** Aluminium alloy, Milling, Surface Integrity, Thermomechanical Simulation, Monitoring, Prediction, Modeling

#### Contexte

Airbus est, entre autres, leader mondial de la conception et de la production de pièces structurales d'aéronefs en alliage d'aluminium. Dans ce domaine, le procédé d'usinage qui consiste à retirer de la matière à l'aide d'outils coupants est le plus utilisé par les usines d'Airbus et ses fournisseurs. Les enjeux présents et futurs sont : l'augmentation des cadences, le niveau d'exigences qualité, la compétitivité demandée sur nos programmes actuels et à venir. Cela nécessite la maîtrise totale de nos procédés dès le démarrage en production, ainsi que la possibilité d'adapter nos paramètres en ligne pour avoir la garantie d'une production optimale sans non-conformité et sans surcoût.

Cette thèse porte sur la fiabilisation des paramètres d'usinage avec la tenue en fatigue des pièces à travers des mesures indirectes des paramètres d'intégrité de surface. Elle s'inscrit dans le cadre du projet « Machining of tomorrow » en fraisage de finition de l'alliage d'aluminium 7050 dirigé par la société Airbus Operations. L'objectif est d'améliorer la compréhension de l'impact sur la tenue en fatigue des pièces, des anomalies d'usinage (notamment du phénomène d'overheating), pouvant conduire à une rupture prématurée des pièces de structure.



AIPI : AIRBUS Process Instruction

Figure 1 : Vision Industrie 5.0 chez AIRBUS

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est d'adapter la mise en œuvre de l'usinage à ces enjeux, qui peut être résumé par le concept d'usine 5.0, en développant les briques scientifiques et technologiques nécessaires à l'adaptation du procédé en ligne comme le résume la **figure 1**.

Un des objectifs finaux sera la mise en place d'un jumeau numérique garantissant la conformité des pièces produites.

Il s'agira, pour les alliages d'aluminium, de reconsidérer le choix des paramètres opératoires du procédé d'usinage sur la dégradation de l'intégrité de surface et des caractéristiques mécaniques, prenant en compte en particulier les cas de surchauffe (overheating) bien connus en rectification à la meule, d'identifier les paramètres industriels représentatifs et mesurables en ligne, de proposer les moyens de surveillance associés.

L'overheating est un phénomène qui se traduit par une augmentation excessive de la température de la surface usinée, pouvant provoquer une modification des paramètres de l'intégrité de surface (**figure 2**), tels que : i) la microstructure (taille de grains, changement de phase, etc.), ii) les propriétés mécaniques (microdureté, contraintes résiduelles, etc.). L'altération de l'intégrité de surface peut engendrer des abattements en fatigue catastrophiques pour les pièces de structures. Ce phénomène doit donc être maîtrisé et mis sous surveillance.

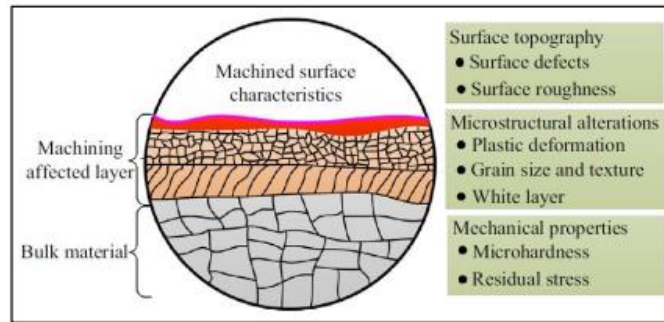


Figure 2 : Schéma des caractéristiques de l'intégrité de surface d'après (Liang and Liu 2017)

### Projet de recherche

Les objectifs scientifiques de la thèse permettront de :

- Modéliser le chargement thermomécanique du matériau pendant la coupe ;
- Démontrer les liens entre les paramètres de coupe, l'intégrité de surface et la tenue en fatigue ;
- Proposer un modèle de simulation numérique du chargement thermomécanique ;
- Identifier les paramètres de coupe et les conditions aux limites en intégrant les particularités des cas de surchauffe ;
- Déterminer à chaque étape du processus de fabrication, comment prédire l'intégrité de surface ;
- Identifier et démontrer les paramètres machines mesurables et adaptatifs pour un suivi et une adaptation automatique en ligne.

La première étape des travaux de thèse consistera donc à développer des modèles analytiques permettant d'évaluer la distribution de la température lors de l'usinage de pièce en alliage d'aluminium, de nuance 7050 (très répandue). L'influence des conditions de coupe et la diffusion de la chaleur dans la pièce seront tout particulièrement étudiées, selon l'épaisseur de la pièce notamment. Les résultats issus de ces modèles seront ensuite confrontés aux données expérimentales et aux températures de transformation métallurgique de l'alliage.

Par la suite des méthodes expérimentales seront développées en coupe élémentaire afin de faciliter la compréhension, pour évaluer non seulement l'augmentation de température de la surface usinée mais aussi la profondeur et l'étendue affectée comme le montre la **figure 3**. Ces mesures seront définies en amont dans un plan d'expériences conçu pour être en accord avec les tendances observées dans la partie théorique, fonction des conditions de coupe (variation de l'épaisseur coupée  $h$ ), de l'état de l'outil (usé, réaffûté), de l'épaisseur de la pièce, etc. La

variation de l'épaisseur coupée  $h$  permet de discrétiser les épaisseurs d'un copeau de fraisage (figure 3).

Ces méthodes seront généralisées en coupe 3D appliquée au fraisage de finition en roulant et en bout.

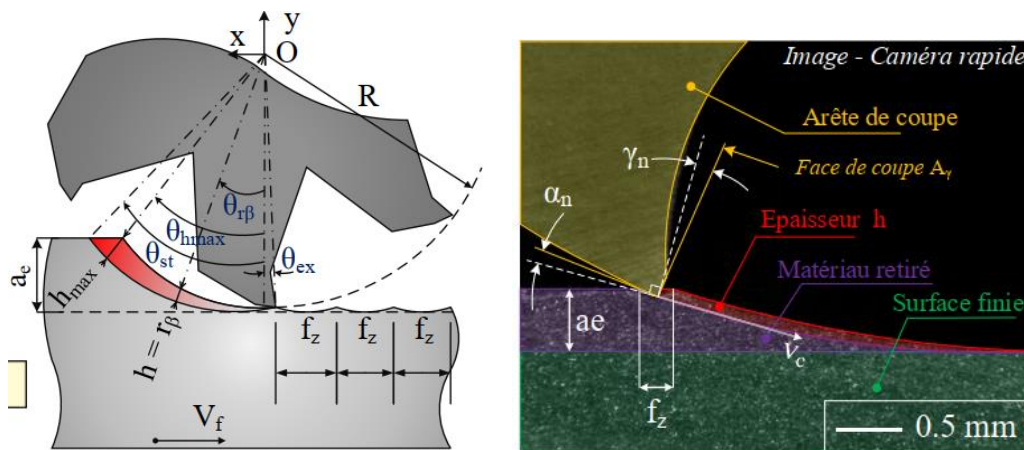


Figure 3 : Description des paramètres cinématiques en fraisage en roulant et de la zone finie pouvant subir la surchauffe (Source : Thèse Ivan Hamm)

La seconde partie de la thèse a pour objectif d'investiguer comment faire bénéficier de ces avancées scientifiques sur les lignes de production. Pour cela, au vu des conditions d'apparition des surchauffes établies précédemment et des autres problèmes d'intégrité matière, le processus de fabrication sera analysé afin de déterminer comment, à chacune de ses étapes (industrialisation, in-process, contrôle en bord de ligne), il est possible de prédire l'intégrité de surface, afin de mettre ce processus sous contrôle. Pour le monitoring temps-réel, cela passera notamment par l'identification et la démonstration des paramètres machines mesurables. Des apprentissages automatiques (Machine Learning) supervisés par modèles de régression, seront alors effectués afin de prédire l'intégrité de surface. Ils seront entraînés à partir des essais expérimentaux et numériques réalisés précédemment. En cas de perturbation ou de dérive, une commande adaptative pourra alors être proposée sur la base de ce modèle de comportement.

Ainsi l'objectif scientifique, très ambitieux de prédire et maîtriser l'intégrité de surface sera abordé par simulation, expérimentation et data. Il permettra de constituer les bases d'un jumeau numérique de l'usinage.

**Candidat/Candidate**

Le(la) candidat(e) recherché(e) doit être de formation ingénieur ou master à dominante mécanique. La double formation ingénieur-master recherche est un plus.



Le(la) candidat(e) recherché(e) doit posséder de bonnes compétences en calcul scientifique, en simulation numérique, en instrumentation expérimentale et en science des matériaux. Il(elle) devra également faire preuve de facilité en manipulation expérimentale de l'opération d'usinage, mais aussi en essais mécaniques et en caractérisation des matériaux. Des compétences en science des données seraient appréciées.

Un bon niveau d'anglais, des capacités d'autonomie et de management entre l'entreprise et les laboratoires seront nécessaires dans le cadre de cette thèse CIFRE.

### **Localisation**

Ces travaux de thèse se dérouleront dans les locaux du LaBoMaP d'Arts et Métiers Campus de Cluny et du LS2N de Nantes Université, ainsi que sur les sites AIRBUS Atlantic de Nantes et Saint Nazaire.

### **Financement**

Salaire: 32 k€ approximativement au démarrage (fourchette de 28 à 37 k€ suivant diplômes)  
Comité d'Etablissement offrant de nombreux avantages

### **Date de démarrage**

1 octobre 2022

### **Conditions de candidature**

Envoyer CV, lettre de motivation et bulletin de notes à :

Virginie Charbonnier ([virginie.charbonnier@airbus.com](mailto:virginie.charbonnier@airbus.com))

Anne Laure Lafly ([anne-laure.lafly@airbus.com](mailto:anne-laure.lafly@airbus.com))

Gérard Poulachon ([gerard.poulachon@ensam.eu](mailto:gerard.poulachon@ensam.eu)),

Mathieu Ritou ([mathieu.ritou@univ-nantes.fr](mailto:mathieu.ritou@univ-nantes.fr))