

<b>Encadrement</b>	Yoann PINOT et Corinne NOUVEAU (ENSAM Cluny-LaBoMaP) / Aurélien BESNARD (Supmicrotech)		
<b>Laboratoires</b>	LaBoratoire des Matériaux et Procédés (LaBoMaP) et Institut FEMTO-ST		
<b>Titre</b>	Étude numérique et expérimentale de la croissance de films PVD dans une enceinte industrielle		
<b>Période</b>	A partir de février 2026		
<b>Mots clés</b>	DC magnétron	Simulation	Caractérisation

### Description du projet :

Cette étude se fait dans le cadre du projet ANR PRCE POLARISS « developement of tOoLs for cryogenic mAchining - pRogresslon to a SuStainable machining ». Les partenaires de cette étude sont ici le LaBoMaP du campus Arts et Métiers de Cluny (71 250) et l'Institut FEMTO-ST (Besançon 25 000).

Les préoccupations environnementales et les coûts des fluides de lubrifiants utilisés dans les opérations d'usinage entraînent un intérêt industriel croissant pour les fluides cryogéniques (N<sub>2</sub> liquide, CO<sub>2</sub> liquide) pour les substituer aux lubrifiants classiques. Cependant, les outils de coupe existants pour l'usinage cryogénique ont montré une grande dispersion de l'usure diminuant ainsi leur durée de vie.

Le projet POLARISS vise donc à développer la prochaine génération d'outils coupants pour l'usinage cryogénique (fraisage, tournage et perçage). Ces outils de **formes complexes** sont positionnés sur un carrousel porte-substrats pouvant travailler en **statique**, avec **une rotation**, ou **deux rotations**. Les échantillons sont eux-mêmes positionnés à **différentes hauteurs** sur les barres porte-substrats. Pour des **conditions de procédé identique** (c'est-à-dire température, polarisation du porte-substrat, puissance appliquée à la cible et pression de travail constantes), les couches élaborées peuvent présenter des **comportements différents**, voire en dehors des plages de propriétés visées.

L'objectif de ce stage est d'étudier de manière **expérimentale et numérique** l'évolution des **propriétés des films en fonction de la position dans l'enceinte et des rotations**. Le matériau déposé sera, dans un premier temps, du chrome métallique et pourra, dans un deuxième temps, être du nitrure de chrome. Les paramètres de contrôle à étudier seront **l'épaisseur des films**, leur **morphologie** (en surface et en coupe), leur **composition** (en particulier la quantité d'oxygène incorporé comme contaminant) et éventuellement leur **niveau de contrainte** et leur **structure**.

Dans le cas statique, on utilisera Simtra et Virtual Coater afin d'étudier les flux de matière et la croissance. Dans le cas avec rotation (simple et double), seul Virtual Coater sera utilisé. Les résultats expérimentaux et numérique seront comparés.

Ce projet de master sera financé par l'ANR POLARISS (gratification, fonctionnement (consommables, etc.) et déplacements du/de la stagiaire recruté(e)).

### Formation requise de l'étudiant :

- Des connaissances en science des matériaux.
- Des connaissances/compétences en dépôts PVD et en techniques de caractérisations mécaniques.
- Capacité à travailler de manière autonome, à planifier et à exécuter des tâches et à travailler en groupe.
- Bonnes compétences en communication en anglais et/ou en français, tant à l'écrit qu'à l'oral.
- Une expérience avec des simulations numériques est un avantage mais pas un critère d'exclusion.

Contacts: [yoann.pinot@ensam.eu](mailto:yoann.pinot@ensam.eu) et/ou [aurelien.besnard@femto-st.fr](mailto:aurelien.besnard@femto-st.fr)

<b>Supervision</b>	Yoann PINOT et Corinne NOUVEAU (ENSAM Cluny-LaBoMaP) / Aurélien BESNARD (Supmicrotech)		
<b>Laboratories</b>	LaBoratoire des Matériaux et Procédés (LaBoMaP) et Institut FEMTO-ST		
<b>Title</b>	Numerical and experimental study of PVD film growth in an industrial chamber		
<b>Period</b>	From february 2026		
<b>Keywords</b>	DC magnétron	Simulation,	Characterization

#### Master's thesis Description:

This work is part of the ANR PRCE POLARISS project “develoPment of tOoLs for cryogenic mAching – pRogresslon to a SuStainable machining.” The partners involved in this study are the LaBoMaP at the Arts et Metiers campus in Cluny (71 250) and the FEMTO-ST Institute in Besançon (25 000).

Environmental concerns and the high cost of lubricating fluids used in machining operations are driving increasing industrial interest in cryogenic fluids (liquid N<sub>2</sub>, liquid CO<sub>2</sub>) as substitutes for conventional lubricants. However, current cutting tools for cryogenic machining have shown significant wear variability, which limits their lifetime.

The POLARISS project aims to develop the next generation of cutting tools for cryogenic machining (milling, turning, drilling). These tools, often of **complex geometry**, are mounted on a carousel substrate holder that can operate in **static mode**, with **single rotation**, or with **dual rotation**. The samples themselves are placed at **different heights** on the carrier bars. For **identical process conditions** (i.e., constant temperature, bias voltage, target power, and working pressure), the deposited films may still exhibit **different behaviors**, sometimes outside the expected property ranges.

The goal of this internship is to investigate, both **experimentally and numerically**, the **evolution of the film properties as a function of position inside the chamber and of the carousel rotations**. The deposited material will initially be metallic chromium, and, eventually in a second step, chromium nitride. The control parameters to be studied include **film thickness**, **morphology** (surface and cross-section), **composition** (in particular, the amount of oxygen incorporated as a contaminant), and possibly **residual stress** and **structure**.

In the static case, Simtra and Virtual Coater will be used to study material fluxes and growth. For the rotating cases (single and dual rotation), only Virtual Coater will be employed. Numerical and experimental results will be systematically compared.

This Master's project is funded by the ANR POLARISS project (including stipend, operating expenses such as consumables, and travel costs for the recruited student).

#### Required Background and Skills:

- Solid foundation in materials science, particularly in thin film technologies and surface engineering.
- Familiarity with physical vapor deposition (PVD) techniques and mechanical characterization methods (e.g., nanoindentation, scratch testing, tribometry).
- Ability to work independently, plan and execute experimental tasks, and collaborate effectively within a multidisciplinary team.
- Strong communication skills in English and/or French, both written and oral.
- Experience with numerical simulations is an advantage but not mandatory.

Contacts: [yoann.pinot@ensam.eu](mailto:yoann.pinot@ensam.eu) et/ou [aurelien.besnard@femto-st.fr](mailto:aurelien.besnard@femto-st.fr)