

## Sujet de thèse : Fonctionnalisation du titane par un procédé d'implantation ionique par Immersion Plasma (PIII) d'Oxygène

<b>Spécialité du doctorat</b>	Science des Matériaux ou Génie des Procédés
<b>Composante</b>	Institut Galilée – Université Sorbonne Paris Nord
<b>École doctorale</b>	« Sciences, Technologies, Santé – Galilée »
<b>Co-directeurs de thèse</b>	Mme Brigitte BACROIX (DR CNRS) co-directrice de thèse <i>brigitte.bacroix@univ-paris13.fr</i> M. Michaël REDOLFI (MCF HDR) <b>directeur de thèse</b> <i>michael.redolfi@univ-paris13.fr</i>
<b>Laboratoire d'accueil</b>	LSPM-CNRS UPR3407, Université Sorbonne Paris Nord, Institut Galilée, 99 av. J.-B. Clément, 93430 Villetaneuse
<b>Collaborations envisagées</b>	Laboratoires ITODYS Université de Paris (Paris), Laboratoire QUARTZ Supméca (St Ouen)
<b>Mots clefs</b>	Traitement de surface – Titane - Implantation ionique par Immersion Plasma – Durcissement Structural par l'Oxygène - Propriétés tribologiques.

**OBJECTIFS DE LA THESE :** Développement d'un procédé innovant de traitement de surface du titane visant à améliorer ses propriétés tribologiques tout en préservant la tenue en fatigue, par utilisation de l'Implantation Ionique par Immersion Plasma (micro-ondes) d'Oxygène pour un durcissement structural superficiel et formation d'un film d'oxyde TiO<sub>2</sub> adhérent.

### CONTEXTE ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DE LA THESE :

Le titane est un métal connu pour ses bonnes propriétés mécaniques (résistance mécanique, tenue en fatigue, déformabilité), sa biocompatibilité et sa légèreté. Cependant ses propriétés tribologiques (résistance au frottement et à l'usure) sont médiocres. Des travaux antérieurs ont montré qu'un traitement d'oxydation (thermique) couplé à un traitement de diffusion, ou « boost-diffusion », permettait d'améliorer ses propriétés tribologiques, notamment pour des applications dans le domaine aéronautique ou biomédical. Ce procédé inclut cependant des traitements thermiques longs et à température élevée qui ne sont pas sans conséquences sur la tenue en fatigue des pièces traitées.

C'est pourquoi nous nous intéressons dans ce projet au **développement d'un traitement de surface du titane par implantation ionique d'oxygène par immersion plasma (P.I.I.)** qui s'efforcera de limiter ces aspects négatifs en accélérant l'apport d'oxygène. En effet, l'**utilisation de sources micro-onde** offre l'avantage d'un taux élevé de dissociations/ionisations, la possibilité d'utiliser des pressions d'oxygène élevées (de l'ordre du mbar) conduisant à une densité d'espèces réactives importante, et la possibilité d'atteindre des températures assez élevées pour que O diffuse. En se plaçant en conditions **l'Implantation ionique par Immersion Plasma (PIII)**, on jouera sur les conditions de polarisation de l'échantillon pour contrôler le flux d'ions à la surface du métal. Ce traitement plus rapide que l'OBD, à des températures modérées permettra de limiter les évolutions microstructurales à cœur et d'optimiser les performances mécaniques de la totalité de la pièce.

### Objectifs et étapes du travail

Les objectifs de la thèse seront donc d'optimiser les paramètres du procédé de traitement afin de pouvoir contrôler la microstructure, l'épaisseur, l'adhésion et les propriétés induites de la couche d'oxyde. Ce travail comprendra donc les étapes suivantes :

- **Prise en main du réacteur à plasma et finalisation de la mise au point du procédé d'oxydation assisté par plasma en condition d'implantation ionique.** Une fois le procédé mis au point il s'agira de déterminer les conditions de traitement permettant d'obtenir différentes profondeurs de diffusion de O pour déterminer l'influence de ce paramètre sur la résistance à l'usure.
- **Caractérisation de la profondeur de pénétration de l'oxygène après traitement** (profil de microdureté, microscopie électronique, EDS).
- **Caractérisations microstructurales avant et après traitement plasma :** On étudiera l'évolution des microstructures (MEB-FEG), de la composition et la structure de l'oxyde (diffraction des rayons X, spectroscopie Raman), de son épaisseur (réflectométrie ou MEB), de sa rugosité (AFM).
- **Caractérisation de l'évolution des propriétés mécaniques :** Essais de roulement en collaboration avec l'équipe de tribologie du laboratoire QUARTZ de Supméca (St Ouen) puis caractérisation microstructurale de l'endommagement après ces essais, pour mieux comprendre le comportement mécanique après traitement.

Mesures de contraintes résiduelles à l'interface métal/oxyde par diffraction X. Ces caractérisations soutiendront l'optimisation des procédés et la compréhension de l'évolution des propriétés fonctionnelles observées.

### Equipes concernées et collaborations

Ce projet **expérimental et pluridisciplinaire** repose sur l'association de compétences en **Génie des Procédés** (interactions plasma – surface, optimisation de dispositifs expérimentaux, modélisation associée), et en **Science des Matériaux** (traitements thermomécaniques, caractérisation mécanique, mesure et analyse de contraintes résiduelles, caractérisation microstructurales), réunies dans 2 axes de recherches du LSPM :

- Axe PPANAM, **LSPM, M. Redolfi** et K. Hassouni, spécialistes de l'étude des interactions plasma – surface, ayant développé les réacteurs plasma micro-ondes qui seront utilisés pour cette étude.
- Axe MECAMETA, **LSPM, D. Chaubet** et **B. Bacroix**, spécialistes de l'étude des liens entre propriétés mécaniques et traitements thermomécaniques, mesures de contraintes d'interface et les méthodes de caractérisations microstructurales.

Ce projet pourra également s'appuyer sur le réseau du LABEX SEAM afin de disposer de moyens complémentaires dans le cadre de **collaborations**, notamment pour la caractérisation des propriétés tribologiques (au **laboratoire Quartz de Supméca, St Ouen**), ou pour l'utilisation de méthodes spectroscopiques comme l'XPS (Equipe Nanomatériaux, laboratoire **ITODYS de l'Univ. de Paris**).

### Profil souhaité :

Une formation d'ingénieur serait bien adaptée à ce projet expérimental pluridisciplinaire, comportant l'adaptation et la prise en main d'un important dispositif scientifique (réacteur et son environnement) ainsi que le développement d'un procédé plasma. Des connaissances en Science des Matériaux sont également nécessaires à l'interprétation de l'évolution microstructurale et des propriétés mécaniques, et à une bonne compréhension des mécanismes impliqués.