

**Titre de la thèse/Thesis title :** Développement de procédés de micro-fabrication hybrides avec analyse environnementale

*Development of hybrid microfabrication processes with environmental analysis*

**Laboratoire d'accueil / Host Laboratory :** Institut Femto-ST – Département Mécanique Appliquée (DMA)

**Spécialité du doctorat préparé/Speciality :** Sciences pour l'ingénieur

**Mots-clefs / Keywords :** Microsystèmes, procédés, matériaux, analyse de cycle de vie

**Descriptif détaillé de la thèse / Job description**

**Contexte**

Les microsystèmes MEMS sont des dispositifs associant des éléments mécaniques, optiques ou électromagnétiques à de l'électronique. Ils assurent des fonctions de capteurs et/ou d'actionneurs pouvant agir sur leur environnement. Ces dispositifs sont omniprésents dans de nombreuses applications modernes, allant des capteurs automobiles aux dispositifs médicaux implantables.

C'est dans le domaine d'application des capteurs pour le contrôle de santé des structures que s'inscrit le sujet de thèse proposé. Dans ce contexte, Le micro-usinage offre une approche prometteuse pour la fabrication de composants MEMS, en utilisant des matériaux autre que le silicium, matériau très énergivore.

Ces techniques permettent en particulier de produire des moules de dimensions extrêmement petites, adaptés pour la production de composants MEMS. Les procédés d'usinage permettant de les réaliser étant basés sur des technologies de salle blanche, ils génèrent des impacts sur l'environnement non négligeables [1]. Il convient donc de mesurer leur impact environnemental afin de garantir que ces procédés d'usinage permettent de répondre aux enjeux environnementaux et sociétaux.

**Travaux réalisés à FEMTO-ST**

Différents travaux ont été conduits au sein de FEMTO-ST autour de la thématique du micro-usinage. En particulier, la fabrication de moules par des technologies salle blanche pour la micro-injection de polymères a été développée [2]. Ce procédé de fabrication peut s'avérer être une option dans le cas du remplacement de pièces en silicium. Le moule peut également être réalisé par différentes technologies utilisées au sein de la plateforme MIFHySTO. Parmi celles-ci, la micro électro-érosion à fil permettant d'obtenir des motifs micrométriques dans des matériaux céramiques [3].

**Description – objectifs du travail proposé**

L'objectif de la thèse est le développement de procédés de micro-fabrication hybrides pour la fabrication de composants de capteurs autonomes pour le contrôle de santé de structures. L'analyse environnementale sera totalement intégrée à la démarche de

développement des procédés utilisés. Elle se basera sur la création ou le choix de critères environnementaux pertinents pour réaliser l'optimisation d'un point de vue environnemental.

L'aspect hybridation implique la mise en œuvre de procédés innovants pour la fabrication d'outillage : micro-usinage, femto-print et technologies salle blanche, dans l'objectif de fabriquer, par exemple, des roues d'encliquetage utilisées dans le capteur. La complexité de ce type de composant réside dans les grandes variations d'échelles. En effet les pièces présentent des dimensions millimétriques, mais les détails sont de l'ordre du micron, ce qui impose une optimisation des procédés de fabrication. Le matériau et la géométrie des roues seront à déterminer de façon à respecter les contraintes géométriques (pas de denture par exemple) mais également la tenue mécanique (tenue au frottement, couple transmis). Des outils de caractérisation mécanique, adaptés aux échelles micrométriques, seront à développer.

Le travail de thèse proposé est complémentaire aux travaux du projet européen FEDER-FSE+ SAMI en collaboration avec l'Université de Franche-Comté, SUPMICROTECH ENSMM et les entreprises SilMach et Axon' Nanotec. Il est également fondateur des orientations définies dans le projet de l'équipe MICRO.

**Context:**

*Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) are devices that combine mechanical, optical, or electromagnetic elements with electronics. They serve as sensors and/or actuators capable of interacting with their environment. These devices are ubiquitous in many modern applications, ranging from automotive sensors to implantable medical devices. The proposed thesis topic falls within the application domain of sensors for structural health monitoring. In this context, micro-machining offers a promising approach for the fabrication of MEMS components, using materials other than silicon, which is highly energy-intensive. These techniques allow for the production of extremely small molds, suitable for MEMS component fabrication. However, the machining processes involved are based on cleanroom technologies, which have significant environmental impacts [1]. Therefore, it is necessary to assess their environmental impact to ensure that these machining processes meet environmental and societal challenges.*

**Work conducted at FEMTO-ST:**

*Various works have been conducted at FEMTO-ST in the field of micro-machining. In particular, the fabrication of molds using cleanroom technologies for micro-injection of polymers has been developed [2]. This manufacturing process could be an option for replacing silicon parts. The mold can also be produced using various technologies available at the MIFHySTO platform. Among these, wire electro-discharge machining allows for the creation of micrometer-scale patterns in ceramic materials [3].*

**Description - Objectives of the Proposed Work:**

*The objective of the thesis is the development of hybrid micro-manufacturing processes for the fabrication of autonomous sensor components for structural health monitoring. Environmental analysis will be fully integrated into the process development approach. It will be based on the creation or selection of relevant environmental criteria to optimize from an environmental perspective. The hybridization aspect involves the implementation of innovative processes for tooling fabrication: micro-machining, femto-printing, and cleanroom technologies, aiming to manufacture, for example, snap-in wheels used in the sensor. The complexity of such components lies in their large scale variations. While the parts have millimeter dimensions, the details are on the micron scale, necessitating optimization of the manufacturing processes. The material and geometry of the wheels will need to be determined to meet geometric constraints (e.g., no teeth) as well as mechanical requirements (friction resistance, transmitted torque). Mechanical characterization tools, suitable for micrometer-scale, will need to be developed. The proposed thesis work complements the activities of the European project FEDER-FSE+ SAMI in collaboration with the University of Franche-Comté, SUPMICROTECH ENSMM, and the companies SilMach and Axon' Nanotec. It also lays the foundation for the directions defined in the MICRO team's project.*

**Références bibliographiques / Bibliography**

[1] Higgs, Tim, Michael Cullen, Marissa Yao, et Scott Stewart. « Developing an overall CO2 footprint for semiconductor products ». In 2009 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, 1-6. Tempe, AZ, USA: IEEE, 2009. <https://doi.org/10.1109/ISSST.2009.5156786>.

[2] Singh Akanksha, Metwally Khaled Hussein, Michel Gérard, Queste Samuel, Robert Laurent, Khan Malek Chantal, "Injection Moulding Using an Exchangeable Si Mould Insert". Micro and Nanosystems, Volume 3, Issue (3), aug 2011, Pages :230 - 235

[3] Monnet, J., Y. Gaillard, F. Richard, M. Personeni, et S. Thibaud. « Fracture toughness determination methods of WC-Co cemented carbide material at micro-scale from micro-bending method using nanoindentation ». Journal of Materials Research and Technology 28 (1 janvier 2024): 1370-81. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.12.071>.

**Profil demandé / Applicant profile**

Le candidat sera titulaire d'un Master ou équivalent dans le domaine de la mécanique des matériaux et des procédés d'usinage. Des connaissances dans le domaine de l'analyse de cycle de vie seront un plus. Seuls les candidats ayant obtenu de très bonnes notes en Licence et Master seront retenus.

Rigoureux, motivé et sensibilisé aux enjeux environnementaux, le candidat devra avoir un profil indiquant des compétences en conception mécanique, ainsi qu'un goût prononcé pour la caractérisation expérimentale et la micro-fabrication.

*The candidate must hold a Master's degree or equivalent in the field of materials mechanics and machining processes. Knowledge in the field of life cycle analysis will be a plus. Only candidates with excellent grades in their Bachelor's and Master's degrees will be considered. Detail-oriented, motivated, and environmentally conscious, the candidate should have a profile indicating skills in mechanical design, as well as a strong preference for experimental characterization and microfabrication.*

**Financement : MESRI Etablissement**

Dossier à envoyer pour le 24 mai 2024  
Début du contrat : 1<sup>er</sup> Octobre 2024  
Salaire mensuel brut : 2100€

**Direction de la thèse:/ Thesis Supervisor**

Sébastien Thibaud - [sebastien.thibaud@ens2m.fr](mailto:sebastien.thibaud@ens2m.fr)

**Encadrement de la thèse : co-directeur(s) et co-encadrant(s)**

Thomas Jeannin - [thomas.jeannin@univ-fcomte.fr](mailto:thomas.jeannin@univ-fcomte.fr) (co-encadrant)  
Vincent Walter - [vincent.walter@univ-fcomte.fr](mailto:vincent.walter@univ-fcomte.fr) (co-encadrant)

Applicants are invited to submit their application to the PhD supervisors.

Application must contain the following documents:

- CV
- Cover letter
- At least 1 reference letter