

Année universitaire 2023-2024  
Sujet de Stage de Master 2 de 5 à 6 mois

# *mesuRe Erreur géoMétriquE pAlpage Sphère volUme tRavail axEs (REMEASURE)*

## Mots clés :

Mesure *in situ* ; MOCN 5 axes ; instrumentation ; Identification ; modélisation géométrique

## I. Contexte :

Le stage proposé s'inscrit dans le contexte du projet CAPTURE5 où l'usinage de haute précision nécessite une compensation des erreurs inhérentes au moyen de production. Parmi les erreurs d'origine thermique, les forces de coupe, l'usure de l'outil, les erreurs induites par les actionneurs ou les capteurs, les erreurs cinématiques dues à des imprécisions géométriques ont le plus grand impact sur la précision finale de la pièce usinée. En outre, l'ajout d'axes rotatifs aux axes linéaires dans les machines CNC à 5 axes accroît la complexité de l'exécution d'une position et d'une orientation précises de l'outil. Des techniques de compensation mécaniques ou logicielles ont déjà été testées par le passé. Néanmoins, ces dernières nécessitent une modification du post-processeur, du code ou des paramètres de la commande numérique.

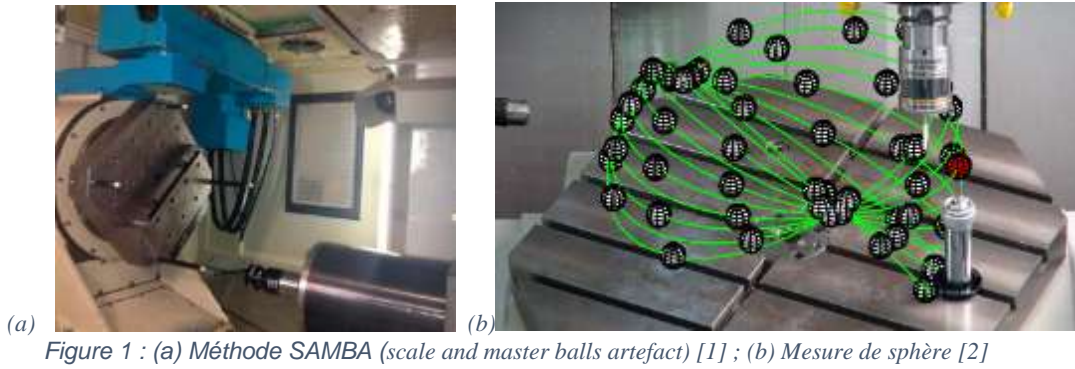
Après l'établissement d'un modèle géométrique de la boucle structurelle basé sur l'hypothèse du multi-corps rigide, et un processus d'identification utilisant des mesures *in situ*, le projet CAPTURES vise à développer une méthodologie de compensation en temps réel. Son objectif principal est d'améliorer la précision de la machine-outil, dans tout son espace de travail. Il se déroulera dans la boucle de rétroaction de contrôle de la position de chaque axe, dans laquelle les signaux des codeurs rotatifs ou linéaires seront compensés et envoyés au contrôleur. Ils sont générés grâce à la mesure de la position réelle de tous les axes et au modèle géométrique précédemment identifié. Le bloc CAPTURES (c'est-à-dire le système de contrôle embarqué) devra s'intégrer parfaitement dans la chaîne de commande.

Le stage permettra d'envisager l'identification des erreurs géométriques d'assemblage de la structure afin d'entretenir le bloc CAPTURE5 avec les erreurs géométriques de ladite machine-outils 5-axes étudiée.

## II. Problématique scientifique, objectifs et méthodologie :

Dans le cadre du projet [CAPTURE5](#), une architecture composée d'un calculateur, de cartes d'acquisition a été développée. Elle permet de lire les informations de positions des axes de la machine en temps réel, de les traiter, d'y inclure une correction et les transférer corrigé à la commande numérique. Actuellement les erreurs géométriques corrigées sont des données a priori ; c'est-à-dire qu'elles ne reflètent pas la géométrie réelle du moyen de production.

Afin d'obtenir un modèle de compensation calqué sur le réel ; c'est-à-dire corrigeant le biais géométrique réel de la structure, une mesure et une caractérisation de la géométrie réelle de la machine-outil 5-axes est nécessaire.



### III. Objectifs scientifiques et opérationnels inhérents de la problématique :

L'objectif du stage est de mettre au point une procédure de palpation de sphère étalon en machine-outils 5-axes et identifier les erreurs géométriques par méthode inverse. En premier lieu, la méthodologie consistera en une définition des positions de sphère [3] et la position éventuelle d'une cale en Invar ( $\text{FeNi}_{36}$ ) dans l'espace de travail afin d'avoir une bonne représentativité du volume. Puis de définir la trajectoire de palpation. En ayant recours au développement du projet CAPTURE5, il sera possible via un palpeur 3D de haute précision de mesurer la sphère et récupérer les coordonnées machines via le software LaBoMaPPinG [3].

A partir d'un modèle géométrique de la structure déjà développé, il s'agira de traduire le biais géométrique tel qu'il est formulé dans [3]. Ce biais linéarisé permettra de formuler une méthode d'identification résolue par méthode inverse et d'en déduire des erreurs identifiées.

Le résultat d'identification sera comparé à la méthode SAMBA [1] en transmettant les résultats de mesure au Prof. René Mayer de l'Ecole Polytechnique de Montréal.

Un complément de la qualification de la structure pourra aussi être envisagée par mesure via un LaserTRACER (Figure 2 : Caractérisation par LaserTRACER [3]).

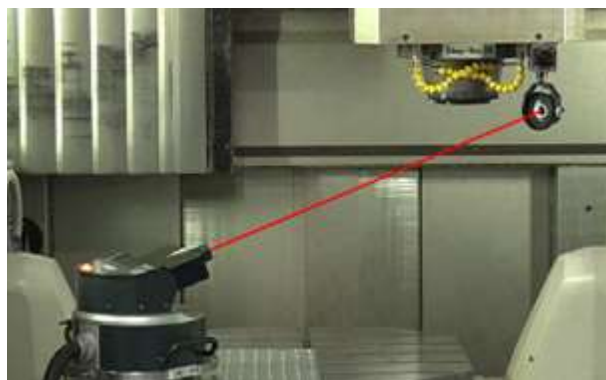


Figure 2 : Caractérisation par LaserTRACER [3].

#### IV. Connaissances et compétences attendues ou développées durant le stage par le stagiaire :

- Modélisation géométrique des structures
- Définition de trajectoires de palpation en machine-outil 5-axes
- Identification inverse des erreurs géométriques
- Utilisation autonome de logiciel de programmation MATLAB

#### V. Détails pratiques

- Tuteur universitaire :

**Fabien VIPREY**

Maître de Conférences

Dr. Agrégé de Génie Mécanique

☎ +33 (0)3 85 595 358

☎ +33 (0)6 86 075 807

✉ [fabien.viprey@ensam.eu](mailto:fabien.viprey@ensam.eu)

📍 École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers  
13, rue Porte de Paris, CS 80002, F-71250 CLUNY Cedex

**Flore GUEVEL**

Doctorante

✉ [flore.guevel@ensam.eu](mailto:flore.guevel@ensam.eu)

📍 École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers  
13, rue Porte de Paris, CS 80002, F-71250 CLUNY Cedex

- Informations pratiques :

- Lieu d'exercice du stage de Master : [ENSAM campus de Cluny \(71250\)](#) situé en région Bourgogne à 400 km de Paris
- Indemnisation : une indemnisation mensuelle du stage de master est prévue à hauteur de 4,05 €/heures de stage.
- Hébergement : un logement en résidence universitaire est envisageable sur place.
- Restauration : un restaurant universitaire permet la restauration midi et soir pour un montant de 3,25 €
- Venue depuis Paris :
  - En train : Paris Gare de Lyon -> Mâcon Loché (1h45 de TGV via la [SNCF](#)) + 20 minutes de bus (2 € via la compagnie [Mobigo](#), ligne LR701)
  - [En voiture](#) : Le campus de Cluny est situé à 4h de Paris (289 km) via l'autoroute A6

#### VI. Références

[1] Erkan, T., Mayer, J. R. et Dupont, Y. (2011). Volumetric distortion assessment of a five-axis machine by probing a 3d reconfigurable uncalibrated master ball artefact. Precision Engineering, 35(1):116 – 125.

[2] Mayer, J. (2012). Five-axis machine tool calibration by probing a scale enriched reconfigurable uncalibrated master balls artefact. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 61(1):515 – 518.

[3] F. Viprey (2016), *Modélisation et caractérisation des défauts de structure de machine-outil 5 axes pour la mesure in-process*, Thèse de doctorat de l'ENS Paris-Saclay, Université Paris-Saclay