

LABORATOIRE NATIONAL DE METROLOGIE ET D'ESSAIS

STAGE

Direction de la Métrologie Scientifique et Industrielle
Département Sciences des données et incertitudes

Réf : STA/DEGLIB/DMSI

Lieu : Bassin de St Quentin-en-Yvelines / Trappes (78)

Durée : 6 mois à compter de MARS/AVRIL 2025

Exploration de modèles bayésiens pour l'évaluation des degrés d'équivalence et leur incertitude associée en métrologie

Le LNE : www.lne.fr

Leader dans l'univers de la mesure et des références, jouissant d'une forte notoriété en France et à l'international, le LNE soutient l'innovation industrielle et se positionne comme un acteur important pour une économie plus compétitive et une société plus sûre.

Au carrefour de la science et de l'industrie depuis sa création en 1901, le LNE offre son expertise à l'ensemble des acteurs économiques impliqués dans la qualité et la sécurité des produits.

Pilote de la métrologie française, notre recherche est au cœur de notre mission de service public et constitue un facteur fondamental au soutien de la compétitivité des entreprises.

Nous avons à cœur de répondre aux exigences des industriels et du monde académique, pour des mesures toujours plus justes, effectuées dans des conditions de plus en plus extrêmes ou sur des sujets innovants tels que les véhicules autonomes, les nanotechnologies ou la fabrication additive.

Contexte du stage :

Garantir l'équivalence des mesures entre les pays, et au sein d'un même pays, est essentiel pour permettre les échanges commerciaux, les partenariats industriels, mais aussi dans le domaine de la santé, de l'environnement, et plus généralement dans tout domaine où la prise de décision est informée par des mesures.

La démarche est coordonnée au niveau international par l'organisation de campagnes de mesures ciblées dites comparaisons-clés impliquant des laboratoires au plus niveau de traçabilité métrologique : les laboratoires nationaux de métrologie (LNM) qui veillent au maintien des étalons nationaux et à leur dissémination dans la chaîne de traçabilité (par exemple via la production commerciale de matériaux de référence certifiés en chimie) [1].

La décision d'équivalence ou de non équivalence des laboratoires est basée sur l'estimation des **degrés d'équivalence et de leur incertitude associée** à partir de l'analyse statistique des mesures des laboratoires et de leurs incertitudes associées lors de la comparaison-clé [1]. La méthode choisie pour l'estimation des degrés d'équivalence doit être documentée et la complexité de son estimation dépend de la nature de la comparaison. Des guides ou des recommandations spécifiques aux domaines peuvent être disponibles, voir par exemple [2] pour un exemple en chimie analytique proche de celui du stage.

Participer à une comparaison-clé est nécessaire pour que les laboratoires puissent ensuite publier leur *Calibration and Measurement Capabilities (CMC)* sur le site internet du BIPM (<https://www.bipm.org/kcdb/>). Les CMC représentent les incertitudes que les laboratoires sont capables d'atteindre et sont des critères de choix des

laboratoires par les industriels. En cas de non équivalence, le laboratoire est grisé pour le type de mesure concerné et ne peut donc pas être choisi.

Dans le cas le plus courant de comparaisons-clé où chaque laboratoire mesure le même matériau, la méthode statistique la plus simple consiste à construire une valeur de consensus (moyenne, médiane,...) et à définir le degré d'équivalence soit de manière unilatérale (comme étant la différence entre la valeur d'un laboratoire et la valeur de consensus) soit de manière bilatérale (comme étant la différence entre les valeurs renvoyées par deux laboratoires). Ce type de comparaison a été intensivement traité dans la littérature, e.g. [3, 4] et ne fait pas l'objet des contributions du stage.

Le cadre du stage concerne un type de comparaison-clé axé directement sur la comparaison des matériaux de référence certifiés produits commercialement par les laboratoires [2]. Dans l'exemple concret qui servira de fil rouge au stage, la démarche recommandée en vue de l'établissement des CMC consiste à comparer les valeurs assignées renvoyées par les laboratoires avec leurs incertitudes associées, avec des mesures réalisées par un même laboratoire (le pilote) sur l'ensemble des matériaux dans les mêmes conditions. Comme les matériaux produits couvrent une étendue de valeurs possibles, l'approche statistique consiste à établir la relation entre les mesures (en y) et les valeurs assignées (en x) sous la forme d'une droite de régression (droite de consensus) avec incertitudes en x et en y . Le degré d'équivalence unilatéral des matériaux est alors défini de manière globale comme un écart à la droite.

L'approche bayésienne [5] sera le cadre de ce travail, car elle est particulièrement adaptée aux problèmes de métrologie déjà formulés sous la forme d'un modèle statistique, par exemple pour l'estimation de relations fonctionnelles (modèles de régressions,...) et aux problèmes nécessitant de combiner de nombreuses sources d'incertitude.

Missions :

Intégré(e) au sein du département Science des Données et Incertitudes, votre rôle sera de contribuer méthodologiquement aux travaux sur un type de comparaison-clé impliquant une modélisation fonctionnelle des données.

Les développements à réaliser au cours de ce stage s'articulent de la manière suivante :

- Proposer différentes **modélisations bayésiennes** de la comparaison-clé afin de prendre en compte les informations auxiliaires sur la réalisation des mesures par le laboratoire pilote (effet des conditions expérimentales, effet de la préparation des échantillons,...) ;
- Estimer la loi jointe *a posteriori* des paramètres et des degrés d'équivalence dans les différentes modélisations ;
- Interpréter les distributions *a posteriori* des degrés d'équivalence dans les différentes modélisations afin d'illustrer l'effet de la modélisation sur la significativité des degrés d'équivalence
- Rédiger un rapport scientifique synthétisant vos résultats.
- Fournir les codes R ou Python.

Profil :

Étudiant(e) en M2 ou en dernière année d'école d'ingénieur, spécialisé(e) en mathématiques ou statistiques appliquées. Doté(e) d'une forte curiosité scientifique et d'un goût pour le travail en équipe, vous souhaitez mettre en œuvre et enrichir vos compétences en statistique bayésienne. La maîtrise d'un langage de programmation, tel que R ou Python, est essentielle.

Gratification :

1255 € brut/mois pour une formation Bac +5.

Pour candidater :

Envoyez votre candidature à : severine.demeyer@lne.fr en rappelant en objet du mail la référence de l'offre indiquée en 1^{ère} page (STA/DEGLIB/DMSI)

Références :

- [1] Mutual recognition of national measurement standards and of measurement certificates issued by national metrology institutes (MRA), Technical Report, Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France
- [2] Diewer, D. , Gasca-Aragon, H. , Lipka, K. and Toman, B. (2012), Experimental Design and Data Evaluation Considerations for Comparisons of Higher-Order Value-Assigned Materials, Accreditation and Quality Assurance, <https://doi.org/10.1007/s00769-012-0920-4>
- [3] Cox, M. G. (2002), The evaluation of key comparison data, *Metrologia* 39 589–95
- [4] Koepke, A., Lafarge, T., Possolo, A. and Toman, B. (2017), Consensus building for interlaboratory studies, key comparisons, and meta-analysis , *Metrologia* 54 S34
- [5] Gelman, A., Bayesian data analysis, Chapman and Hall/CRC, 2013