**Development and Validation of a Bayesian Measurement Technique for Data-Driven Measurement Reduction**

**Abstract**

This work presents a complete hybrid testing methodology for assessing the flow in turbomachinery components. Focused on minimizing testing times and instrumentation requirements, the methodology strategically integrates standard experimental measurements with numerical simulations, specifically employing Multi-Fidelity Gaussian Processes, Sparse Variational Gaussian Processes, and adaptive Bayesian optimization.

The methodology systematically reduces both instrumentation efforts and testing times, providing uncertainty metrics comparable to traditional methodologies. Applied initially to a benchmarked axial high-pressure compressor (H25) and afterwards to an ultra-high bypass ratio fan (ECL5 UHBR) in blind test conditions, the methodology demonstrates robustness, adaptability, and significant reductions in measurement points and testing times leading to a direct impact in experimental campaign costs.

For the H25 axial compressor, the proposed framework proves capable of predicting flow fields, emphasizing the trade-off between high-fidelity measurements and mean flow prediction accuracy. The ECL5 UHBR fan blind test results validate the methodology's efficiency in aerodynamic assessments and demonstrates time savings of at least one hour per operating condition.

The *a priori* Design of Experiments achieves at least a 50% reduction in measurements, outperforming random sampling, and effectively assists in experimental campaign planning. The *In situ* adaptive sampling outperforms random sampling by up to 44%, showcasing accurate detection of flow phenomena and promising applications in achieving high accuracy experimental demands. The modular and adaptable nature of the methodology positions it for broad application in both academic and industrial settings, while its exploitation opens paths to infer unmeasured flow quantities or improve performance evaluation measurements.

This work introduces a paradigm shift in experimental campaign planning, optimizing measurement budgets strategically beforehand or enhancing accuracy dynamically during a campaign, emphasizing the potential of machine learning-driven trends in shaping new research paths.

**Keywords:** Hybrid Measurement Technique, Data Fusion, Bayesian Inference, Machine Learning, Uncertainty Quantification, Instrumentation, Turbomachinery

**Développement et Validation d'une Technique de Mesure Bayésienne pour une Réduction des Mesures basée sur les Données**

**Résume**

Ce travail présente une méthodologie de test hybride complète pour évaluer l'écoulement dans turbomachines. Axée sur la minimisation des temps de test et des exigences en instrumentation, la méthodologie intègre de manière stratégique des mesures expérimentales standard avec des simulations numériques, en utilisant des processus gaussiens.

La méthodologie réduit systématiquement à la fois les efforts d'instrumentation et les temps de test, fournissant des métriques d'incertitude comparables aux méthodologies traditionnelles. Appliquée initialement à un compresseur axial haute pression de référence (H25) puis à un ventilateur à ultra-haut taux de dilution (ECL5 UHBR) dans des conditions de test aveugles, la méthodologie démontre sa robustesse, son adaptabilité et des réductions significatives des points de mesure et des temps de test conduisant à un impact direct sur les coûts des campagnes expérimentales.

Pour le compresseur axial H25, le cadre proposé se révèle capable de prédire les champs d'écoulement, mettant en évidence le compromis entre les mesures et l'exactitude de prédiction du flux. Les résultats du test aveugle du ventilateur ECL5 UHBR valident l'efficacité de la méthodologie dans les évaluations aérodynamiques et démontrent des économies de temps d'au moins une heure par condition de fonctionnement.

La conception d'expériences *a priori* permet une réduction d'au moins 50% des mesures, surpassant l'échantillonnage aléatoire, et assiste efficacement dans la planification de campagnes expérimentales. L'échantillonnage adaptatif *In situ* surpasse l'échantillonnage aléatoire jusqu'à 44%, démontrant une détection précise des phénomènes d'écoulement et des applications prometteuses dans la réalisation d'exigences expérimentales. La nature modulaire et adaptable de la méthodologie la positionne pour une application étendue tant dans les environnements académiques qu'industriels, tandis que son exploitation ouvre des voies pour inférer des quantités d'écoulement non mesurées ou améliorer l'évaluation des performances.

Ce travail introduit un changement de paradigme dans la planification de campagnes expérimentales, optimisant les budgets de mesure de manière stratégique à l'avance ou améliorant la précision dynamiquement au cours d'une campagne, mettant en évidence le potentiel des tendances entraînées par l'apprentissage automatique pour façonner de nouvelles voies de recherche.

**Mots-clés:** Technique de Mesure Hybride, Fusion de Données, Inférence Bayésienne, Apprentissage Automatique, Quantification de l'incertitude, Instrumentation, Turbomachines