

HDR obtenue en Novembre 2024

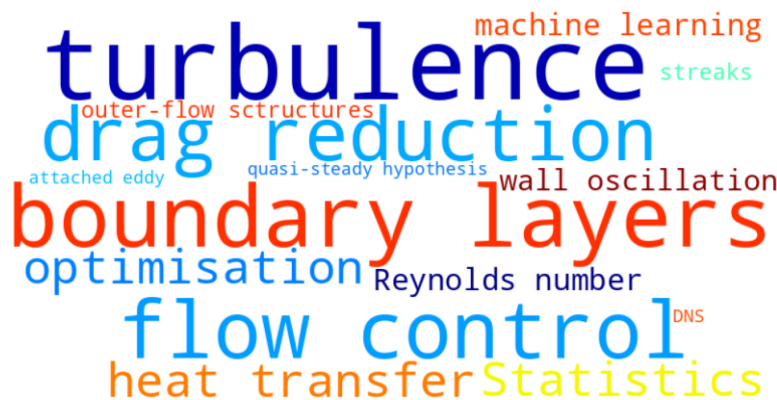
Université de Poitiers

"Modélisation et contrôle de la turbulence pariétale"

Profil Scientifique

Spécialiste en mécanique des fluides avec plus de 15 ans d'expérience dans l'étude et la modélisation des écoulements turbulents pariétaux. Mon expertise repose sur une approche résolument interdisciplinaire qui combine théorie fondamentale des écoulements turbulents, développement de codes numériques haute-fidélité, et implémentation de méthodes avancées d'apprentissage automatique. Cette synergie m'a permis d'élucider des mécanismes physiques complexes et de développer des méthodologies innovantes pour l'analyse des interactions multi-échelles dans les écoulements pariétaux. Mes travaux sur la réduction de traînée par oscillations de paroi ont significativement contribué à la compréhension des mécanismes sous-jacents de contrôle d'écoulement, démontrant notamment comment les structures turbulentes cohérentes peuvent être manipulées pour optimiser les performances hydrodynamiques. Plus récemment, j'ai étendu cette expertise au domaine critique des transferts thermiques, en établissant des relations non-triviales entre les mécanismes de transfert de chaleur et de quantité de mouvement, avec des résultats pionniers sur le découplage de ces phénomènes traditionnellement considérés comme analogues. Ma recherche vise à développer des modèles prédictifs robustes et des stratégies de contrôle innovantes pour optimiser les performances des systèmes fluides, en tirant parti d'une connaissance approfondie de la physique de la turbulence conjugée aux capacités des algorithmes d'apprentissage automatique. Cette approche contribue directement à relever les défis énergétiques et environnementaux actuels en améliorant l'efficacité des systèmes de transport et des échangeurs thermiques industriels.

Mots-clés : Turbulence de proche paroi, simulation numérique, interactions multi-échelles, transfert thermique, modèles d'ordre réduit, apprentissage automatique, contrôle d'écoulement.



Wordcloud illustrant les thèmes clés de ma recherche.

1 Points forts des activités de recherche (2021-2025)

1.1 Innovations en analyse de la turbulence pariétale

- Développement d'une méthodologie innovante utilisant un algorithme d'auto-encodeur pour séparer les mouvements à grande et petite échelle dans des écoulements turbulents à haut nombre de Reynolds ($Re_\tau \approx 5200$).
- Étude pionnière sur le découplage entre transfert de chaleur et traînée dans les écoulements turbulents soumis à des oscillations de paroi, démontrant une amélioration préférentielle du transfert thermique de 15% pour une augmentation de traînée de seulement 7,7%.
- Analyse statistique approfondie des interactions entre structures à grande échelle de l'écoulement externe et couche interne via une méthodologie PDF jointe à variables multiples.

1.2 Développement de méthodes d'apprentissage automatique en mécanique des fluides

- Développement de modèles basés sur des auto-encodeurs pour l'extraction des caractéristiques essentielles des écoulements turbulents et leur projection dans un espace réduit.
- Couplage d'algorithmes d'apprentissage par renforcement avec des simulations haute-fidélité pour l'optimisation des paramètres de contrôle dans les transferts thermiques.
- Construction de modèles dynamiques d'ordre réduit capables de prédire la dynamique des écoulements complexes à haute dimension.

1.3 Participation à des projets interdisciplinaires

- **Coordination du projet ANR JCJC INFERENCE (2024-2028)** visant à développer des modèles d'ordre réduit pour les écoulements de couche limite turbulente avec effets de Reynolds et de chauffage.
- **Participation au projet ANR SOLAIRE (2022-2026)** pour améliorer l'efficacité des récepteurs solaires à haute température par contrôle actif de la turbulence proche paroi.
- **Participation au projet ANR MUFDD (2023-2027)** pour la modélisation des écoulements en canopée urbaine par des approches guidées par les données. Développement de méthodes pour construire des estimateurs et des modèles réduits à partir de données issues de simulations et d'expériences.
- **Partenariat industriel avec SAFRAN Aircraft Engines** sur l'optimisation du transfert thermique dans les moteurs d'avions par contrôle actif des instabilités de flux secondaires.
- **Collaboration internationale avec KTH** (Prof. Ricardo Vinuesa) sur le développement d'auto-encodeurs variationnels pour la modélisation d'ordre réduit des écoulements turbulents.

2 Publications marquantes (2021-2025)

- [Policy-based optimization for drag reduction via spanwise wall oscillations.](#)
Guérin, L., Flageul, C., Cordier, L., Grieu, S., & [Agostini, L.](#) (2025).
Neural Computing and Applications.
- [Preferential Enhancement of Convective Heat Transfer Over Drag Via Near-Wall Turbulence Manipulation Using Spanwise Wall Oscillations.](#)
Guérin, L., Flageul, C., Cordier, L., Grieu, S., & [Agostini, L.](#) (2024).
International Journal of Heat and Fluid Flow.
- [Auto-encoder-assisted analysis of amplitude and wavelength modulation of near-wall turbulence by outer large-scale structures in channel flow at friction Reynolds number of 5200.](#)
[Agostini, L.](#) & Leschziner, M.A. (2022).
Physics of Fluids.
- [Statistical analysis of outer large-scale/inner-layer interactions in channel flow soumis à oscillatory drag-reducing wall motion using a multiple-variable joint PDF methodology.](#)
[Agostini, L.](#) & Leschziner, M.A. (2021).
Journal of Fluid Mechanics.

3 Projets de recherche en cours et à venir

3.1 ANR JCJC INFERENCE (2024-2028) - Porteur du projet

Modélisation de la turbulence proche de la paroi pour les écoulements à nombre de Reynolds élevé

Le projet INFERENCE vise à approfondir notre compréhension de la turbulence proche paroi à haut nombre de Reynolds, en se focalisant sur les effets des structures d'écoulement externe sur le frottement pariétal et le transfert de chaleur. En combinant simulations numériques et méthodes pilotées par les données, ce projet ambitionne de :

- Élucider les mécanismes de mélange de quantité de mouvement pilotant la traînée et le transfert de chaleur.
- Développer un modèle prédictif précis de l'effet des structures externes sur la turbulence proche paroi.
- Construire un estimateur des fluctuations proche paroi à partir de capteurs d'écoulement externe.
- Comprendre et modéliser les effets des structures externes sur la turbulence proche paroi contrôlée.

Financement : 330 k€

3.2 ANR SOLAIRE (2022-2026) - Co-responsable

Apprentissage automatique pour les récepteurs solaires à haute température

Ce projet vise à améliorer l'efficacité des centrales solaires à concentration (CSP) en optimisant le transfert de chaleur dans le récepteur solaire. Nos contributions se concentrent sur :

- L'étude de l'impact des oscillations de paroi sur le transfert thermique dans les écoulements turbulents à haute température.
- Le développement d'algorithmes d'apprentissage par renforcement pour l'optimisation des paramètres de contrôle.
- La caractérisation du couplage/découplage entre transfert thermique et traînée sous différentes conditions.

La première thèse que je co-encadre dans ce projet (Lou Guérin, 2022-2025) a déjà produit des résultats significatifs, démontrant pour la première fois une amélioration préférentielle du transfert thermique par rapport à la traînée, brisant ainsi l'analogie de Reynolds.

Collaboration : PROMES (A. Toutant, porteur), LISN, Pprime

Financement Pprime : 179 k€

3.3 ANR MUFDD (2023-2027)

Modélisation des écoulements en canopée urbaine par des approches guidées par les données

L'objectif principal de ce projet est de développer des modèles d'ordre réduit (ROMs) de l'écoulement dans la canopée urbaine, à la fois dérivés et pilotés par les données. Nos contributions se concentrent sur :

- Le développement de méthodes pour construire des estimateurs et des modèles réduits à partir de données issues de simulations et d'expériences.
- L'intégration de connaissances physiques dans la conception d'algorithmes d'apprentissage automatique pour améliorer leur robustesse et leur interprétabilité.
- L'implémentation de techniques avancées d'assimilation de données pour maintenir la précision des modèles en conditions réelles.

Un chercheur postdoctoral a été recruté pour travailler sur ces aspects, en étroite collaboration avec les équipes des laboratoires partenaires.

Collaboration : LHEEA (L. Perret, porteur), IMFT, Pprime

Financement Pprime : 182 k€

3.4 Collaboration avec SAFRAN Aircraft Engines (2023-2025)

Étude des écoulements turbulents dans les moteurs d'avions par contrôle actif des instabilités de flux secondaires

Ce partenariat industriel vise à exploiter les instabilités de flux secondaires pour générer des tourbillons longitudinaux améliorant le transfert thermique dans les conduits de refroidissement des moteurs d'avion. Le projet cible :

- L'exploitation des instabilités de Görtler naturellement présentes sur les parois concaves.
- L'optimisation du placement et du fonctionnement d'actionneurs plasma pour contrôler ces instabilités.
- Le développement de stratégies de contrôle adaptatif pour maximiser le transfert thermique tout en minimisant les pertes de charge.

Une enveloppe SOLEAU décrivant ce concept de contrôle actif a été déposée à l'Institut National de la Propriété Intellectuelle le 23/01/2024 (n° DSO2024001272).

Collaboration : IUSTI, SAFRAN, Pprime

4 Encadrement doctoral et formation à la recherche

4.1 Direction et co-direction de thèses

- **Blessing Akinpelu** (2024-2027) - Directeur de thèse
Modélisation de la turbulence de proche paroi à haut nombre de Reynolds et développement de stratégies de contrôle
Financement : ANR INFERENCE
Encadrement : 60% (avec C. Flageul - Pprime, 40%)
- **Lou Guérin** (2022-2025) - Co-directeur de thèse
Amélioration des transferts thermiques au sein des récepteurs solaires par des méthodes de contrôle actif
Financement : ANR SOLAIRE
Encadrement : 25% (avec L. Cordier - Pprime, S. Grieu - PROMES)
Publications : 2 articles en revue internationale, 2 articles en préparation, 4 communications en conférence.
- **Niccolò Tonioni** (2023-2026)
Modélisation d'ordre réduit d'écoulements turbulents par méthodes d'apprentissage automatique
Financement : EUR Intree/KTH
Publications : 1 article en préparation, 3 communications en conférence.

4.2 Encadrement de projets et jury

- **Encadrement de projet de recherche à l'ENSMA** (2023, 80h)
Initiation d'une vingtaine d'étudiants ingénieurs à l'utilisation des méthodes d'apprentissage automatique pour l'étude et la prédiction d'écoulements autour d'un cylindre.
- **Participation à des jurys de stage de fin d'études à l'ENSMA.**

5 Rayonnement et collaborations internationales

5.1 Mobilités récentes

- **Séjour de recherche au Los Alamos National Laboratory** (Février 2024, 2 semaines)
Collaboration avec Dr. Arvind Mohan sur le développement d'outils d'apprentissage automatique enrichis par la physique pour l'étude des écoulements turbulents.
- **Séjour de recherche à l'Ohio State University** (Juin-Juillet 2024, 6 semaines)
Collaboration avec le Pr. Datta Gaitonde sur l'étude des couches limites compressibles et le développement de méthodes d'auto-encodeurs pour l'analyse des structures cohérentes.
- **Visite à l'IUSTI** (2024, 1 semaine)
Préparation d'une proposition pour l'appel à projets ANR ASTRID en partenariat avec Safran et l'équipe du Dr. Pierre Dupont.

5.2 Collaborations internationales actives

- **KTH Royal Institute of Technology**, Stockholm, Suède
Pr. Ricardo Vinuesa – Modélisation d'ordre réduit par méthodes d'apprentissage automatique. Co-encadrement d'une thèse, co-organisation de sessions dans des conférences.
- **Imperial College London**, Royaume-Uni
Pr. Michael Leschziner – Turbulence de proche paroi et réduction de traînée. Publications conjointes, échange de données et de méthodes d'analyse.
- **Los Alamos National Laboratory**, États-Unis
Dr. Arvind Mohan – Apprentissage automatique pour les écoulements complexes. Développement d'outils communs, préparation d'un article conjoint.

6 Responsabilités collectives et animation scientifique

- **Membre de la CES 60** (depuis 2021)
Comité d'Évaluation Scientifique de l'Université de Poitiers – Évaluation de projets de recherche et participation aux recrutements.
- **Membre de la cellule de communication de Pprime** (depuis 2020)
Gestion et animation de la présence du laboratoire sur LinkedIn. Contribution à la visibilité des travaux de recherche du laboratoire auprès d'un public élargi. Organisation d'une session "Machine Learning for Turbulence" à la conférence ETC 16 (2022).
- **Évaluateur pour des revues internationales**
Journal of Fluid Mechanics, Physics of Fluids, International Journal of Heat and Fluid Flow, Physical Review Fluids, Journal of Turbulence.

7 Perspectives et projets futurs

7.1 Développement méthodologique

- **Modèles hybrides basés sur l'IA et la physique**
Intégration des connaissances physiques dans l'architecture des modèles d'apprentissage automatique pour améliorer leur généralisation et leur interprétabilité.
- **Auto-encodeurs variationnels adaptés aux écoulements**
Développement de nouvelles architectures spécifiquement conçues pour capturer les caractéristiques multi-échelles des écoulements turbulents.
- **Méthodes d'apprentissage par renforcement pour le contrôle adaptatif**
Extension des techniques actuelles pour permettre un contrôle en temps réel des écoulements complexes.

7.2 Thématiques émergentes

- **Contrôle multi-échelle de la turbulence pariétale** Développement de stratégies innovantes de contrôle opérant simultanément sur différentes échelles de la turbulence, permettant d'améliorer ou de limiter les transferts thermiques dans une large gamme de nombres de Reynolds. Ces avancées auront un impact significatif sur le développement des énergies renouvelables et l'amélioration des processus industriels existants utilisant des échangeurs thermiques.
- **Framework hybride données-physique pour le contrôle actif**
Élaboration d'un cadre méthodologique intégrant les connaissances physiques et les approches pilotées par les données pour concevoir des stratégies de contrôle actif optimales. Cette approche offrira de nouvelles possibilités d'amélioration des processus industriels, d'autant plus pertinentes avec le développement récent de l'impression additive qui lève les contraintes liées aux géométries complexes.
- **Modélisation adaptative pour systèmes thermofluides**
Conception de modèles capables de s'adapter aux variations des conditions d'écoulement, permettant une prédiction précise et un contrôle robuste dans des environnements industriels variables. Ces modèles adaptatifs ouvriront la voie à des systèmes de contrôle intelligents pour optimiser les performances des échangeurs thermiques en temps réel.

Document préparé en mars 2025 dans le cadre de l'évaluation pour Ripec

Communications orales avec actes publiés

VIVALDy : A novel β -Variational Autoencoder approach with Adversarial Loss for Low-Order Dynamical Modeling of Vortex-Induced Vibrations

— N. Tonioni, L. Agostini, F. Kerhervé, L. Cordier & R. Vinuesa

1st International Symposium AI and Fluid Mechanics, Chania, Greece.

Mai 2025

β -Variational autoencoder and transformer-based data-driven modeling of near-wall turbulence

— N. Tonioni, M. Umair, L. Agostini, F. Kerhervé, L. Cordier & R. Vinuesa

EuroMech/ERCOFTAC joint conference on Data-Driven Fluid Dynamics, Colloquium 629, London, United Kingdom.

Avril 2025

Policy-Based Signal Shape Optimization for Drag Reduction via Spanwise Wall Oscillations

— L. Guérin, L. Cordier, C. Flageul, S. Grieu & L. Agostini

EuroMech/ERCOFTAC joint conference on Data-Driven Fluid Dynamics, Colloquium 629, London, United Kingdom.

Avril 2025

Reduced-order Modeling of Experimental Turbulent Flows : from linear projection-based methods to autoencoders

— N. Tonioni, L. Agostini, F. Kerhervé, L. Cordier & R. Vinuesa

DTE AICOMAS 2025, Paris, France.

Février 2025

Autoencoder-Based Dimensionality Reduction of Turbulent Channel Flow Under Spanwise Wall Oscillations

— L. Guérin, T. Fisk, L. Cordier, C. Flageul & L. Agostini

DTE AICOMAS 2025, Paris, France.

Février 2025

Breaking the Reynolds Analogy : Decoupling Turbulent Heat and Momentum Transport via Spanwise Wall Oscillation in Wall-Bounded Flow

— L. Guérin, C. Flageul, L. Cordier, S. Grieu & L. Agostini

DLES 14, Erlangen, Germany.

Avril 2024

Breaking the Reynolds Analogy : Decoupling Turbulent Heat and Momentum Transport via Spanwise Wall Oscillation in Wall-Bounded Flow

— L. Guérin, C. Flageul, L. Cordier, S. Grieu & L. Agostini

EUROMECH COLLOQUIUM 631, Madrid, Spain.

Mars 2024

A predictive model for the response of near-wall turbulence to outer structures

— L. Agostini & M.A. Leschziner

ETC 15, Budapest, Hungary.

Avril 2023

Analysis of large-scale/small-scale interactions in turbulent channel flow using Auto-Encoder combined with Multivariate-Pdf

— L. Agostini & M.A. Leschziner

TSFP 12, Osaka, Japan.

Juillet 2022

Note : Le nom souligné indique la personne ayant présenté la communication.