



## Développement et mise en œuvre de la formulation adjointe de modèles body-force explicites en vue d'optimisations aéro-propulsives

### *Development and implementation of adjoint formulation of explicit body-force models for aero-propulsive optimizations*

Soutenance de thèse – Cyril Dosne

Mardi 23 juillet 2024 à 09 H 30

Salle AY-02-63 – ONERA Meudon

Jitsi : <https://rdv.onera.fr/PhDdefenseC.Dosne>

#### Devant le jury composé de :

- **Directeur de Thèse :**
  - \* Jacques PETER (Directeur de Recherche), ONERA DAAA/DEFI, Châtillon, France
- **Rapporteurs :**
  - \* Kyriakos GIANNAKOGLU (Professeur), National Technical University Athens, Athènes, Grèce
  - \* Tom VERSTRAETE (Professeur), Von Karman Institute, Rhode-Saint-Genèse, Belgique
- **Examineurs :**
  - \* Christophe CORRE (Professeur), Ecole Centrale Lyon, Lyon, France
  - \* Guillaume DUFOUR (Enseignant-Chercheur), ISAE-Supaero, Toulouse, France
  - \* Ingrid LEPOT (Directrice technique, Responsable développement aéronautique et spatial), Cenaero, Charleroi, Belgique (Collaboratrice scientifique à l'université de Liège), Liège, Belgique
- **Encadrant :**
  - \* Marco CARINI (Ingénieur de Recherche), ONERA DAAA/ACI, Meudon, France
- **Invités :**
  - \* Raphaël BARRIER (Ingénieur de Recherche), ONERA DAAA/H2T, Meudon, France
  - \* Sébastien BOURASSEAU (Ingénieur de Recherche), ONERA DAAA/CLEF, Châtillon, France

---0---

#### Résumé / Abstract

Dans l'aviation civile, les études portant sur les nouveaux systèmes propulsifs, comme les moteurs à très haut taux de dilution, et sur les architectures d'intégration motrice innovantes, tels que les systèmes à ingestion de couche limite, nécessitent une modélisation couplée de l'aérodynamique externe et du système propulsif dès les premiers stades de conception. Les modèles body-force se sont avérés capables de reproduire l'essentiel du couplage aéro-propulsif à un coût de calcul réduit. Cependant, ils manquent d'une formulation adjointe pour être employés dans des optimisations par gradient. Cette thèse a pour but de développer une approche adjointe pour les modèles body-force explicites. Ensuite, plusieurs optimisations aéro-propulsives sont menées sur une configuration académique de propulsion distribuée. Malgré la simplicité du modèle utilisé, une réduction de 10,5% de la consommation de puissance est obtenue. Le potentiel de cette nouvelle méthode est ensuite évalué pour l'optimisation préliminaire de compresseurs, d'abord sans distorsion d'entrée d'air, à l'aide du modèle de Hall.

.../...

Les gradients de forme des aubes calculés à l'aide de l'adjoint body-force sont comparés à ceux obtenus via des simulations de haute-fidélité, révélant une très bonne capacité de prédiction des gradients du rotor, sur une grande partie de la caractéristique du compresseur. En revanche, la précision des gradients du rotor est réduite à proximité du blocage, et n'est pas satisfaisante pour le stator. L'optimisation par adjoint body-force du compresseur a permis d'améliorer le rendement au point nominal, comme confirmé par des simulations de haute-fidélité. Sous distorsion radiale, la méthode adjointe body-force s'est à nouveau révélée capable d'améliorer les performances du compresseur. Les analyses haute-fidélité des géométries obtenues par optimisations utilisant l'adjoint body-force montrent une augmentation du rendement isentropique comprise entre 1,16 et 1,47%, selon la formulation du problème d'optimisation retenue. Enfin, une optimisation du compresseur soumis à une distorsion s'étendant sur la totalité de sa circonférence a été conduite avec l'adjoint body-force. Ces résultats très prometteurs sont cohérents avec ceux disponibles dans la communauté scientifique et obtenus à l'aide de calculs de haute-fidélité.

-----

*In civil aviation, the exploration of innovative engine systems – such as ultra-high bypass ratio turbofan – and breakthrough engine-integration architectures – such as boundary-layer ingestion – requires a coupled modeling of the aerodynamic and propulsion subsystems from the earliest design stages. Body-force models have proven capable of reproducing most of the coupling phenomena at reduced computational cost. However, they lack an adjoint formulation to be used in gradient-based optimizations. This PhD thesis aims at developing an adjoint approach for explicit body-force models. Then, aero-propulsive optimizations of an academic distributed propulsion configuration are conducted. Despite the simplicity of the model used, a 10.5% reduction in power consumption is achieved. Next, the potential of this new methodology is investigated for the preliminary optimization of compressor stages using the Hall model, at first under clean inflow conditions. The comparison of the blade shape gradients computed by the adjoint body-force with high-fidelity ones shows very good prediction for the rotor. This is observed over a large portion of the compressor characteristic, even if the accuracy is reduced near the blockage, and stator gradients are not well estimated. The improvement of the compressor efficiency obtained by the adjoint body-force optimization at design conditions is confirmed through high-fidelity simulations. Optimization under radial inlet distortions are then investigated. Once again, the adjoint body-force approach is found capable of enhancing the compressor performances. According to high-fidelity analysis of the body-force optimized blade geometry, an increase in compressor isentropic efficiency between 1.16 and 1.47% is achieved, given the formulation of the optimization problem. Finally, an optimization of the compressor under full-annulus inlet distortions is conducted leading to very promising results, which are consistent with those found in the literature using advanced simulations.*

### **Mots clés / Key words**

ADJOINT, BODY-FORCE, AÉRO-PROPULSIF, OPTIMISATION PAR GRADIENT, DISTORSIONS D'ENTRÉE D'AIR  
ADJOINT, BODY-FORCE, AERO-PROPULSIVE, GRADIENT-BASED OPTIMIZATION, INLET DISTORTIONS