

**Master thesis and internship[BR]- Master's Thesis : Implementation of a viscous-inviscid interaction scheme in a finite element full potential solver[BR]- Internship (linked to master's thesis)**

**Auteur :** Bilocq, Amaury

**Promoteur(s) :** Terrapon, Vincent

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil en aérospatiale, à finalité spécialisée en "aerospace engineering"

**Année académique :** 2019-2020

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/10352>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# **Implementation of a viscous-inviscid interaction scheme in a finite element full potential solver**

**Amaury Bilocq**

Supervisor: Prof. Dr. Vincent E. Terrapon

Master in aerospace engineering

Faculty of applied sciences, University of Liège

Academic year 2019-2020

## **Abstract**

During preliminary design of an aircraft, high fidelity simulations are not ideal due to their computational cost. Even, RANS simulations are of the order of hours and are not suitable for rapid modifications in the design during early stages. Methods have been developed to lower the computational cost such as the full potential equation. This equation allows to simulate flow in the transonic regime but neglects the viscosity of the fluid. Therefore, the method is not able to predict interesting features such as stall or an accurate drag coefficient.

The purpose of this master's thesis is to implement a viscous correction into a finite element full potential solver *Flow*. A viscous-inviscid interaction scheme has been implemented. The first goal of this work is to define a theoretical model which can handle either incompressible or compressible, attached or separated flows. The viscous formulation is based on the two-equations dissipation integral boundary layer method coupled with a transition formulation of the  $e^9$  type. The viscous solver is coupled to the inviscid solver by a quasi-simultaneous interaction method. This coupling method provides an easy integration without modifying the inviscid solver and allows to compute weak separation regions. The second goal of the thesis is the numerical implementation of the scheme. The fully coupled non linear system of the viscous solver is discretized by a finite-difference method and is resolved by a robust Newton solution procedure. The results presented demonstrate the ability of *Flow* to predict with accuracy aerodynamic loads and laminar to turbulent transition for attached incompressible and compressible flow cases. Moreover, *Flow* is able to simulate with accuracy separated or highly compressible flows. However, some limits of *Flow* are reached by these extreme cases and are presented in this work. A concise summary of the main outcomes and few hints for future work are provided in the conclusion.