

Soutenance de thèse

Clément RUDEL soutiendra sa thèse de doctorat préparée au sein de l'ISAE-ONERA MOIS et intitulée «*Équations one-way pour la propagation d'ondes en écoulements complexes*»

Le 9 septembre 2022 à 10h00, Salle des thèses – ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Christophe AIRIAU	Professeur Université Toulouse 3 - IMFT	
Mme Hélène BARUCQ	Directrice de recherche INRIA	Rapporteuse
M. Stéphane BORDAS	Professeur Université du Luxembourg	
M. Jean-Philippe BRAZIER	Ingénieur de recherche ONERA	Co-directeur de thèse
M. Gwénaél GABARD	Professeur Le Mans Université- LAUM	Rapporteur
M. Sébastien PERNET	Ingénieur de recherche ONERA	Directeur de thèse

Résumé Dans une optique de réduction du bruit engendré par les avions, de nombreux phénomènes restent encore à mieux comprendre et de nombreuses configurations sont à étudier. Un besoin en outils de simulation précis et efficaces se fait donc ressentir pour répondre à ces problématiques de propagation d'ondes. Une approche envisageable est celle des équations one-way. En effet, cette méthode permet de décomposer la résolution des équations en fonction du sens de propagation des ondes le long d'un axe. Ainsi, au sein d'un écoulement, cet axe est naturellement celui de l'écoulement principal. Cependant, l'application des équations one-way dans le cadre de la mécanique des fluides souffre d'une limitation majeure. La complexité des équations résolues (équations d'Euler ou de Navier-Stokes) impose une hypothèse d'écoulement faiblement variable, limitant de ce fait le domaine d'application d'une telle méthode. Le premier objectif a donc été de développer une reformulation de ces équations one-way, dans le but de pouvoir appliquer certaines méthodes permettant la levée d'une telle hypothèse. Pour cela, l'exploitation de deux conditions aux limites non-réfléchissantes a permis la construction d'une factorisation purement numérique de l'opérateur de propagation. A partir de cette méthode, il est ensuite possible d'appliquer des formalismes comme les équations one-way true amplitude ou les séries de Bremmer, permettant de prendre en compte les ondes réfractées et/ou réfléchies. Le second objectif a été de mettre à l'épreuve ces méthodes sur différentes applications. Ces dernières sont constituées d'écoulements variant le long de l'axe de propagation, de conduits à section variable ou partiellement traités acoustiquement (liners acoustiques) ou encore d'un jet chaud subsonique. Dans tous ces cas, les résultats fournis par les approches one-way montrent un bon accord avec les données expérimentales et avec différentes méthodes numériques plus coûteuses.

Mots-clés : aéroacoustique, équations one-way, équations d'Euler, propagation d'ondes, conduits, jets

Summary: Reducing the noise emitted by aircrafts requires a deeper understanding of several phenomena while many configurations are left to be studied. In order to respond to these problems, there is a need of precise and cost-effective simulation tools for wave propagation. The one-way equations seem to be fit for this usage. Indeed, this method allows the decomposition of the resolution of the equations depending on the waves' propagation direction along an axis. Therefore, inside a flow, this privileged axis appears to be the flow main direction. However, the application of the one-way equations for fluid mechanics suffers from a major limitation. The complexity of the solved equations (Euler or Navier-Stokes) enforces a hypothesis of slowly varying flow, limiting the scope of such a method. The first objective has been to develop a new formulation of the one-way equations, in order to apply other methods allowing the removal of this hypothesis. The application of two non reflective boundary conditions (already used in the classical one-way equations) allowed for a fully numerical factorisation of the propagation operator. From this formulation, it is possible to use formalisms such as the true amplitude one-way equations or the Bremmer series. They allow to take into account the refracted and/or reflected waves. The second objective has been to assess the behavior of this method with several applications. These applications are composed of flows varying along the propagation axis, ducts with variable section or acoustically treated (with

liners) and a hot subsonic jet. In all cases, the one-way approach showed to be in good agreement with the experimental data and with costlier numerical methods.

Keywords: Aeroacoustics, One-way equations, Euler equations, wave propagation, ducts, jets