

PROPOSITION DE STAGE 2019-2020

Titre : Simulation numérique d'une entrée d'air supersonique

Responsable(s) : Romain GOJON (romain.gojon@isae-supaero.fr, 05 61 33 84 60)
 Jérémie GRESSIER (jeremie.gressier@isae-supaero.fr, 05 61 33 81 13)
 Stéphane JAMME (stephane.jamme@isae-supaero.fr, 05 61 33 84 73)

Laboratoire : Département d'Aérodynamique, Énergétique et Propulsion (DAEP) de l'ISAE-SUPAERO

Sujet du stage

La conception efficace d'entrées d'air pour des engins supersoniques constitue encore aujourd'hui un défi en raison des transitions violentes entre les régimes sous-critiques et supercritiques caractéristiques du fonctionnement de ces entrées d'air. Ces différentes configurations sont toutes très sensibles aux interactions ondes de choc / couche limite (IOCCL) : dans tous les régimes, des ondes de choc faibles et attachées, issues des dispositifs de compression par rampe (diffuseur supersonique) ou des lèvres d'entrée, viennent frapper les couches limites sur les parois opposées (cf. figure 1). En régime sous-critique, une onde de choc forte se positionne en amont de l'entrée, résultat du blocage ; en régime supercritique, l'onde de choc se place dans le diffuseur subsonique, zone particulièrement sensible au décollement. L'analyse fine de ces régimes est donc nécessaire afin non seulement d'être en mesure de prévoir les performances du système, mais aussi de piloter les marges de bascule entre régimes, en particulier le désamorçage, très pénalisant pour le moteur.

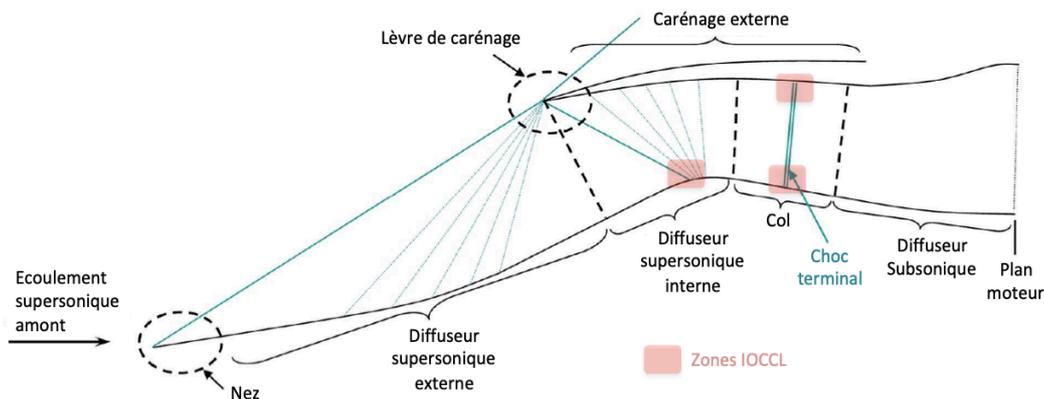


Figure 1 : Représentation schématique d'une configuration d'entrée d'air supersonique canonique et de la phénoménologie associée.

Le DAEP démarre actuellement un projet de recherche qui vise à réaliser des simulations aux grandes échelles (LES) d'une entrée d'air supersonique canonique comprenant carène, dispositif de compression externe, col et diffuseur subsonique. Ce type de simulation constitue un challenge en raison du nombre de Reynolds très élevé de l'écoulement, empêchant une simulation numérique directe des structures turbulentes au sein de la couche limite notamment. Par ailleurs, la présence d'ondes de choc, de turbulence, d'ondes acoustiques, et d'interactions entre toutes ces composantes confère à ce type d'écoulement un degré de complexité élevé. Enfin, la géométrie cible d'une entrée d'air supersonique complète est bien plus complexe que les géométries simplifiées utilisées classiquement pour étudier les phénomènes d'interaction ondes de choc / couche limite de manière isolée. Pour répondre à ces différents challenges, notre équipe travaille depuis plusieurs années au développement et à l'amélioration d'un code de résolution des équations de Navier-Stokes compressibles (IC3) reposant sur des schémas numériques haute fidélité innovants (différences spectrales, intégration temporelle asynchrone, modélisation de paroi, maillages d'ordre élevé permettant une meilleure prise en compte des éléments courbes) afin de rendre possible la simulation des grandes échelles de ce type d'écoulements.

L'objectif du travail proposé dans le cadre de ce stage de Master sera de mettre en place des simulations bidimensionnelles des configurations d'intérêt décrites plus haut avec les outils numériques du laboratoire. Il s'agit donc d'un travail préparatoire à la mise en œuvre du code de calcul sur les configurations tridimensionnelles plus complexes qui seront traitées par la suite dans le cadre du projet de recherche support à cette étude. Pour cela, une configuration d'entrée d'air étudiée expérimentalement par Zhang *et al.*, 2019 (cf. figure 2) sera retenue comme cas de référence afin de disposer d'une base de comparaison pour valider les simulations.

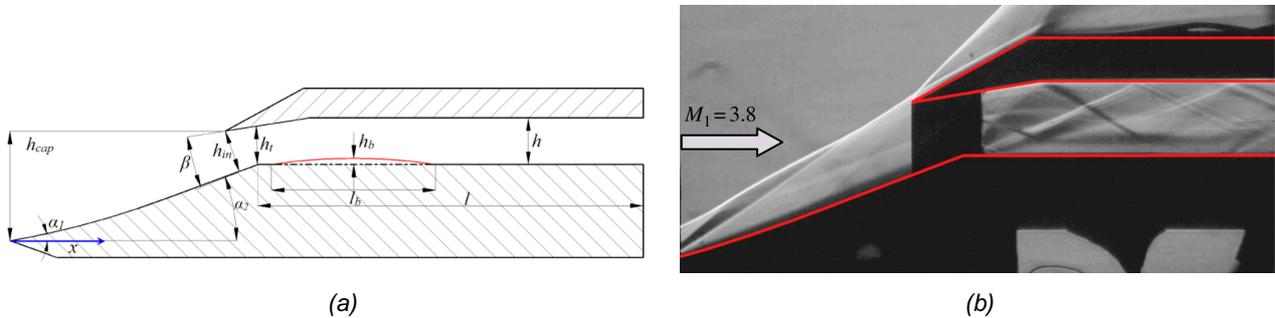


Figure 2: (a) Géométrie bidimensionnelle étudiée par Zhang *et al.*, 2019 ; (b) Visualisation strioscopique de l'écoulement correspondant.

Le programme de recherche s'articulera selon le canevas décrit ci-dessous.

1. Prise en main du logiciel IcemCFD afin de générer la géométrie de Zhang *et al.* (2019) et les maillages associés ;
2. Prise en main du code de calcul IC3 afin d'être en mesure d'effectuer la mise en données des calculs et de lancer/gérer les simulations sur le serveur de calcul du laboratoire si nécessaire ;
3. Réalisation des simulations bidimensionnelles sur l'entrée d'air choisie avec les conditions d'écoulement correspondant à la campagne expérimentale de Zhang *et al.* (2019) : on pourra commencer par une approche fluide parfait pour vérifier le positionnement des ondes de choc, puis introduire les effets visqueux afin de prendre en compte le phénomène d'IOCCL dans cette configuration ;
4. Analyse des résultats obtenus à la lumière des résultats expérimentaux de la littérature et des études précédemment menées au DAEP sur le thème de l'IOCCL (voir par exemple Grébert *et al.*, 2018) ;
5. En fonction du temps disponible, préparation des configurations tridimensionnelles.

Références :

Y. Zhang, H.-J. Tan, J.-F. Li and N. Yin. Control of Cowl-Shock/Boundary-Layer Interactions by Deformable Shape-Memory Alloy Bump. *AIAA Journal*, vol. 57(2): 1-10, 2019

A. Grébert, J. Bodart, S. Jamme et L. Joly. Simulations of shock wave/turbulent boundary layer interaction with upstream micro vortex generators. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 72: 73-85, 2018.