
Appel A Projets IV : formulaire de candidature

Nom du correspondant : Sébastien PIPONNIAU

Nom du projet : Réponse d'un décollement ouvert à une excitation acoustique en écoulement supersonique

Résumé du projet (5 lignes en anglais) :

This project aims to study the unsteadiness of Shock wave boundary layer interactions when the boundary layer does not reattach downstream. Based on an original experimental setup in supersonic flow, previous studies have shown that the separation shock unsteadiness does not exhibit low frequency unlike classical interactions but seems to behave like a low-pass filter and amplifier of the perturbations generated in the subsonic external flow. By means of acoustic control of the subsonic region, the response of the interaction to harmonic disturbances will be explored.

Volet(s) complémentaires demandé(s) : Collaboration internationale Pédagogie

Contenu scientifique

Contexte scientifique

L'interaction onde de choc couche limite (IOCCL) est un phénomène physique apparaissant dans diverses configurations aérodynamiques à hautes vitesses, telles que les tuyères sur-détendues, les compresseurs ou les nacelles, et dont les effets sont le plus souvent indésirables, l'interaction conduisant à une forte perte de performances et générant des charges aérodynamiques et thermiques intenses pouvant compromettre la stabilité et l'intégrité de la structure. La compréhension des phénomènes physiques impliqués dans les IOCCL fait donc l'objet d'une forte dynamique de recherches au niveau international [1], notamment dans la configuration où la couche limite, décollant sous l'effet d'un gradient de pression adverse, vient recoller en aval. On parle alors de « Restricted Shock Separation » (RSS). La source des basses fréquences observées dans ces décollements, notamment au niveau du choc de séparation, a fait l'objet de nombreuses études et publications. Les principaux modèles retenus pour expliquer l'origine des basses fréquences sont le rôle du choc comme un filtre passe-bas, le lien avec des mégastructures présentes en couche limite amont, ou encore un lien entre les mouvements basses fréquences du choc et les respirations du bulbe de décollement. C'est ce dernier modèle qui a été proposé par le groupe supersonique de l'IUSTI [2].

Dans le cas de l'aérodynamique des tuyères décollées, une configuration particulière de décollement peut se produire : la couche limite décolle mais, par la géométrie de la tuyère, celle-ci ne recolle pas en aval. On parle alors de « Free Shock Séparation » (FSS). Ceci est observé par exemple dans les phases de démarrage du **moteur Vulcain II des fusées Ariane V et VI**. Cette configuration FSS est délicate à étudier expérimentalement du fait des difficultés d'accès optiques notamment. L'essentiel des données à l'intérieur de la tuyère se limitent généralement à des mesures pariétales de pression. Il était donc nécessaire de reproduire une telle configuration en géométrie 2D, permettant un accès simple aux techniques de mesures exploratoires.

Le groupe supersonique de l'IUSTI a donc récemment développé, en collaboration avec le CNES, une configuration expérimentale académique 2D de décollement ouvert, dite "interaction libre", en référence à la "Free Shock Separation" se produisant dans des tuyères sur-détendue. Cette configuration, scientifiquement inédite, utilise un écoulement subsonique secondaire avec une pression statique suffisamment grande pour favoriser la séparation de la couche limite turbulente supersonique, générant une couche de cisaillement détachée qui ne rattache pas en aval. Une thèse, cofinancée Labex MEC/CNES [4] a permis d'apporter de premières conclusions sur la physique de cet écoulement. A partir de cette configuration pionnière, il a été montré que le système présente certaines similitudes physiques avec les configurations classique (réflexions de choc, rampes de compression, etc.). Néanmoins, des différences significatives ont été observées sur le comportement instationnaire de l'écoulement. Il semble que le système agisse comme un amplificateur des perturbations en aval, typiquement issues du flux secondaire subsonique, et ne présente pas de basses fréquences intrinsèques à l'interaction. Un résultat majeur est que le système réagit à toute la gamme de fréquences pour les perturbations en amont provenant de la couche limite turbulente, mais il semble que l'interaction ne soit sensible aux perturbations aval que lorsque les fréquences sont inférieures à environ 1 kHz.

Ce projet vise à confirmer et à compléter ces premiers résultats. La gamme de fréquences présente dans le flux secondaire subsonique n'était pas maîtrisée jusqu'à présent. Afin d'étudier en détail la réponse de l'interaction aux perturbations aval, il est donc nécessaire de pouvoir contrôler en fréquence et en amplitude les perturbations acoustiques présentes dans le flux secondaire. Il est attendu d'établir la courbe de réponse de l'interaction face à ces excitations contrôlées, et de comprendre si l'interaction se comporte comme un filtre passe-bas dont on cherchera à définir les propriétés, et si celle-ci se comporte comme un amplificateur de bruit sur une gamme de fréquences définies.

Programme

Nous cherchons donc à caractériser la réponse en fréquence de l'interaction par une excitation harmonique de l'écoulement secondaire. La première phase de ce programme débutera par une étude bibliographique sur les moyens expérimentaux d'excitation envisageables dans cette configuration. Plusieurs possibilités sont envisagées :

- L'utilisation de **tubes de Hartman-Springer**, connus pour pouvoir générer dans des écoulements à faible vitesse (moins de 60m/s) de forts champs acoustiques avec une fréquence définie par leur géométrie [5]. Ce système peut être mis en œuvre dans la rampe de re-compression installée en aval de l'injection du flux secondaire.
- L'utilisation de **conduites annelées** [6] dans le système d'injection du flux secondaire : de telles conduites sont connues pour générer des champs acoustiques intenses, là encore définis à partir de leur géométrie. Cela contrôlera l'amplitude et la fréquence imposées au système dans la région subsonique en aval.
- L'utilisation de **sources électroacoustiques** [7] (haut-parleur ou chambre de compression) contrairement aux dispositifs précédents agissant passivement et en lien avec l'écoulement, une source électroacoustique permet la génération d'une onde acoustique de fréquence dans la gamme désirée (300-3Khz) et d'amplitude maîtrisée. Néanmoins, les conditions particulières des expériences (basse pression, débit de l'écoulement) peuvent rapidement dégrader les performances de cet exciteur.

Pour être mené à bien, ce projet réclame des expertises en aérodynamique grande vitesse mais également en acoustique et leurs couplages. C'est pourquoi il sera mené grâce à une collaboration entre les membres de deux équipes de deux laboratoires de l'Institut : le groupe supersonique de l'IUSTI et l'axe écoulements industriels d'IRPHE. La conception du système exciteur sera développée via une étroite collaboration des deux partenaires.

Une fois le système optimal retenu, son implantation sur le dispositif expérimental actuel sera réalisée. Un nouveau flux secondaire à faible bruit sera installé, avec des propriétés moyennes similaires (vitesse, densité), mais intégrant les possibilités de génération d'ondes acoustiques contrôlées en fréquence et en amplitude. Ce développement sera réalisé dans les ateliers de l'IMI, à travers les moyens de fabrication additive afin de réaliser facilement les éventuelles modifications géométriques. Ce prototype servira de modèle pour une réalisation finale métallique (si nécessaire).

L'analyse de la réponse de l'interaction à ces excitations contrôlées sera l'objectif principal de ce projet. La soufflerie supersonique de l'IUSTI est bien adaptée à ces expériences. Il s'agit d'une installation continue (jusqu'à 5 heures) avec des conditions génératrices bien contrôlées. La métrologie spécifique développée lors de la thèse [4] sera utilisée dans cette étude. De plus, le système de dual-PIV existant, associé aux possibilités étendues du nouveau système PIV résolue en temps obtenu via l'IMI (équipement A*Midex, accord de novembre 2022) permettra d'obtenir une description spectrale dans l'ensemble du champ pour une large gamme de fréquences ($100\text{Hz} < f < 150\text{kHz}$) [3]. Cela donnera un aperçu global des propriétés spatio-temporelles du système, pour les différentes excitations acoustiques imposées au flux subsonique secondaire.

Retombées attendues

Une retombée majeure de cette étude est d'acquérir la maîtrise d'une excitation acoustique contrôlée en amplitude et fréquence dans les conditions de pression statique de la soufflerie de l'IUSTI ($O(10^4)\text{Pa}$). Ceci ouvrira de nouvelles perspectives pour l'étude des instationnarités en décollement induit par onde de choc et contribuera à améliorer la compréhension de la dynamique basse fréquence de ce type d'interactions (fermées ou ouvertes). Il est attendu dans un premier temps de consolider les résultats préliminaires obtenus dans le cadre de la thèse de N. Demni [4]. L'étude permettra de confronter les résultats à ceux déjà nombreux existants en décollements fermés, et pourrait permettre de suggérer de nouvelles pistes de recherches sur les origines des instationnarités.

Ce projet ouvre une collaboration entre les membres de deux équipes de deux laboratoires de l'Institut aux compétences complémentaires (turbulence compressible et acoustique)

L'utilisation du système de PIV résolue en temps récemment obtenu via l'appel d'offre A*midex, associé au système dual-PIV développé par le groupe supersonique, permettra d'obtenir en tout point de l'espace une estimation du spectre de l'écoulement, pour des fréquences allant de très basses fréquences $O(100\text{Hz})$ aux hautes fréquences $O(10^5\text{Hz})$. Ce résultat serait tout à fait inédit et constituerait une avancée conséquente dans le développement métrologique et un outil essentiel pour l'étude expérimentale des écoulements turbulents.

Il est clair que ces retombées ouvriront de nouvelles possibilités de collaborations académiques et industrielles, ainsi que pour les appels à projets nationaux et Européens.

Références

- [1] N. T. Clemens and V. Narayanaswamy (2014) *Low-Frequency Unsteadiness of Shock Wave/Turbulent Boundary Layer Interactions*, *Annual Review of Fluid Mechanics* 46:1, 469-492
- [2] S. Piponniau, J.P. Dussauge, J. F. Debiève, & P. Dupont(2009). *A simple model for low-frequency unsteadiness in shock-induced separation*. *Journal of Fluid Mechanics*, 629, 87-108. doi:10.1017/S0022112009006417
- [3] A.-M. Schreyer, L. Larchevêque, and P. Dupont (2016), *Method for Spectra Estimation from High-Speed Experimental Data*, *AIAA Journal* 2016 54:2, 557-568
- [4] N. Demni (2022), *Etude expérimentale d'un décollement supersonique ouvert*, Thèse Aix-Marseille Université.
- [5] G. Raman, A. Mills, and V. Kibens (2004) *Development of Powered Resonance-Tube Actuators for Aircraft Flow Control Applications*, *Journal of Aircraft* 2004 41:6, 1306-1314
- [6] D. Mazzoni, M. Amielh, P.-O. Mattei (2022). *Identification des sources acoustiques dans un tuyau corrugué sous écoulement*. 16ème Congrès Français d'Acoustique, CFA2022, Marseille, France. (hal-03847850)
- [7] M. Amielh, F. Anselmet, Y. Jiang, U. Kristiansen, P. O. Mattéi, D. Mazzoni, C. Pinhède (2014) *Controlling the Acoustic Resonance in a Corrugated Flow Pipe*. *Fluid-Structure-Sound Interactions and Control*, ISBN : 978-3-642-40370-5.