Optimisation basée sur l'adjoint des tourbillons de sillage à grand nombre de Reynolds

PARTENAIRES

AIRBUS LATECOERE

Mots-clés : optimisation, stabilité, adjoint, URANS

Département : DAEP (Département Aérodynamique, Énergétique et Propulsion)

Le stage proposé fait partie d'un projet appelé DESTINS qui vise à étudier la dynamique des tourbillons en aval des aéronefs au moyen d'outils de simulation numérique directe et stabilité globale accompagnés par des essais sur le banc de sillage de notre département (DAEP). Le stage dont il est question ici sera consacré aux aspects théoriques et numériques et donc à la mise en œuvre des outils numériques qui vont accompagner les futures campagnes expérimentales.

DESCRIPTION DU POSTE :

La dynamique des tourbillons a toujours été un sujet de grand intérêt pour la communauté scientifique en raison de son implication dans plusieurs applications d'ingénierie.

Ces tourbillons sont induits par la génération de portance sur les ailes d'envergure finie et contribuent à la traînée induite (voir figure 1a). Même avec la présence de winglets, leur formation est inévitable et leur présence peut être très dangereuse pour les aéronefs qui suivent en raison du moment de roulis induit. Cet aspect joue un rôle important dans les configurations de drones en formation ou essaim de drones, ainsi que dans l'imposition de limitations concernant les fréquences

de décollage et d'atterrissage entre deux aéronefs consécutifs, limitations qui sont pourtant indispensables pour le contrôle du trafic aérien [1].

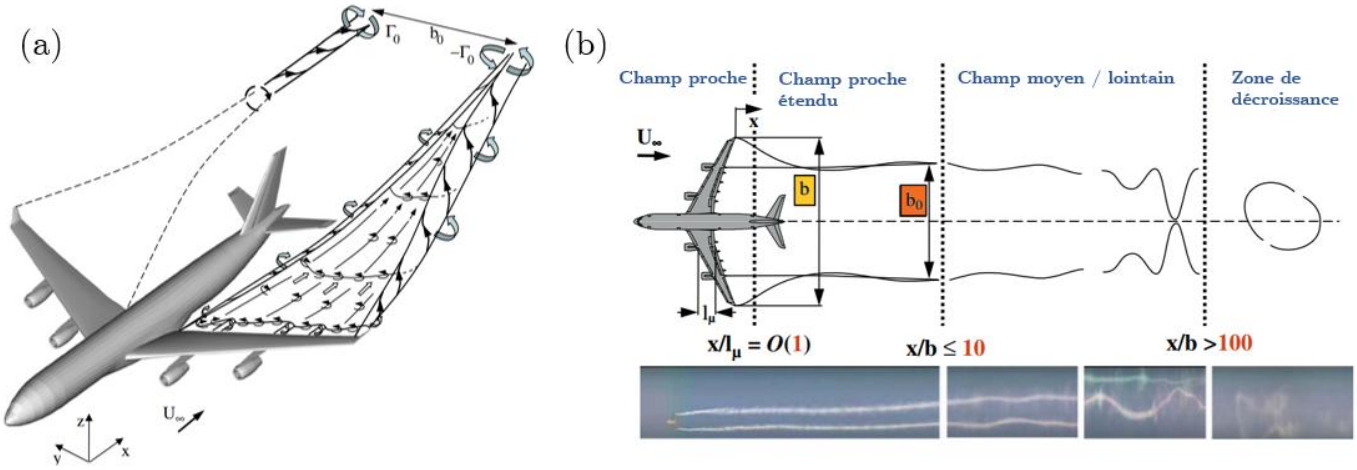

Figure 1 : Évolution de la nappe tourbillonnaire et processus d'enroulement (a) [2]. Détermination des régions d'évolution du tourbillon de sillage en fonction de la position à l'arrière de l'avion (b), figure adaptée de [3].

L'interaction des tourbillons de sillage avec les jets sortants d'un moteur à hydrogène, par exemple, est à la base de la formation des traînées de condensation ("contrails") qui influencent de manière significative le forçage radiatif sous certaines conditions atmosphériques (voir figure 1b). C'est pourquoi leur persistance à l'altitude de vol a été identifiée comme le principal effet de l'impact climatique de l'aviation [4-5].

Outre ces enjeux critiques, il faut également souligner que des problématiques d'acoustique sont également induites par la dynamique des tourbillons. Par exemple, dans le domaine aéronautique, dans les configurations de vol hyper-sustentées, les tourbillons générés par le déploiement du volet de bord de fuite constituent une source de bruit [6].

Pour toutes ces raisons, un effort scientifique pour améliorer la compréhension de leur dynamique et concevoir des stratégies de contrôle est absolument nécessaire. L'une des stratégies de contrôle

repose sur l'excitation d'instabilités tridimensionnelles [7-8] qui nécessitent d'être étudiées avec des approches pleinement globales afin d'avoir une compréhension détaillée des mécanismes physiques.

MISSIONS :

L'objectif de ce stage est de déterminer les perturbations optimales qui conduiraient à la plus grande déviation dans la dynamique des tourbillons de sillage. Dans la perspective de concevoir de nouvelles stratégies de contrôle de ces tourbillons, l'idée est d'utiliser la méthode adjointe dans le cadre des équations de Navier-Stokes moyennées à la Reynolds (équations RANS) afin d'obtenir non seulement les perturbations optimales, mais également la sensibilité associée [9].

La première partie du stage sera consacrée à la familiarisation avec les méthodes adjointes ainsi qu'avec notre solveur numérique, DALSA. Ce code, écrit en langage C et parallélisé à l'aide d'OpenMP (Open Multi-Processing), a été développé au sein du DAEP et permet de simuler les instabilités se développant autour d'un tourbillon de sillage à nombre de Reynolds élevé (Navier–Stokes et RANS) en adoptant une approche locale [10]. Récemment, le code a été doté à la fois des équations RANS non linéaires et linéaires, en utilisant un modèle de turbulence k-epsilon. Du point de vue de la méthodologie numérique, ce code se caractérise par l'utilisation d'une méthode pseudo-spectrale avec une collocation de Chebyshev pour la discrétisation dans la direction radiale. L'intégration temporelle est effectuée dans l'espace spectral à l'aide d'un schéma de Runge–Kutta d'ordre trois (RK3), qui inclut une méthode de projection pour le traitement du terme de pression. À l'issue de cette première phase, le candidat aura acquis les connaissances fondamentales relatives aux méthodes adjointes et aux méthodes spectrales. Le premier objectif du stage sera de dériver les équations adjointes RANS en coordonnées cylindriques, correspondant à la phénoménologie étudiée, à savoir le tourbillon de sillage, dont l'écoulement de base est supposé parallèle et axisymétrique. Une fois les équations adjointes RANS dérivées, il sera nécessaire de les valider en comparant leurs propriétés de stabilité à celles du mode direct correspondant. Après validation, la méthode adjointe sera utilisée pour effectuer l'optimisation temporelle et l'analyse de sensibilité.

Donc, les étapes du stage sont brièvement énumérées ci-dessous :

- Se familiariser avec les méthodes adjointes et le solveur DALSA (disponible sur GitLab interne).
- Dériver les équations adjointes RANS pour le problème étudié.
- Valider ces équations en comparant leurs propriétés de stabilité à celles du mode direct.
- Réaliser l'optimisation et l'analyse de sensibilité.

PROFIL RECHERCHÉ :

Le candidat doit avoir une bonne connaissance de l'algèbre linéaire, des méthodes numériques et de la programmation. La connaissance du langage C est très appréciée.

RÉMUNÉRATION : 4,35 euros/h – 35h par semaine

DURÉE : 6 MOIS

LIEU : TOULOUSE

RESPONSABLE DU SUJET :

NOM : NASTRO
E-MAIL : gabriele.nastro@isae-supaero.fr
TÉL. : 05 61 33 87 89

MODALITÉS DE CANDIDATURE :

Les candidatures (cv et notes) doivent être envoyé à gabriele.nastro@isae-supaero.fr et jerome.fontane@isae-supaero.fr

RÉFÉRENCES :

[1] Spalart, P.R. Airplane trailing vortices. Annu. Rev. Fluid Mech, 30(1), 107–138 (1998).

[2] K. Huenecke. Structure of a transport aircraft-type near field wake. AGARD CP-584, 1996.

[3] C. Breitsamter. Wake vortex characteristics of transport aircraft. Progress in Aerospace Sciences, 47(2) :89–134, 2011.

[4] Lee, D.S., Fahey, D.W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S.J., Freeman, S., Forster, P.M., Fuglestvedt, J., Gettelman, A., De León, R.R., Lim, L.L., Lund, M.T., Millar, R.J., Owen, B., Penner, J.E., Pitari, G., Prather, M.J., Sausen, R.,Wilcox, L.J. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. Atmos. Environ, 244, 117834 (2021).

[5] Noppel, F.G. Contrail and cirrus cloud avoidance technology. Ph.D. thesis, Cranfield University (2007).

[6] Streett, C., Lockard, D., Singer, B., Khorrami, M., Choudhari, M., Macaraeg, M. In search of the physics: the interplay of experiment and computation in airframe noise research, part 1. In: 41st Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, p. 979 (2003).

[7] Crouch, J. Airplane trailing vortices and their control. Comptes Rendus Physique 6(4), 487–499 (2005).

[8] Edstrand, A.M., Sun, Y., Schmid, P.J., Taira, K., Cattafesta, L.N., III. Active attenuation of a trailing vortex inspired by a parabolized stability analysis. J. Fluid Mech, 855, R2 (2018).

[9] Nastro G., Robinet J.-C., Loiseau J.-C., Passaggia P.-Y., Mazellier N. Global stability, sensitivity and passive control of low-Reynolds-number flows around NACA 4412 swept wings. J. Fluid Mech, 2023;957:A5. doi:10.1017/jfm.2023.41.

[10] Sablon, J., Fontane, J. & Joly, L. Stability of high-density trailing vortices. Theor. Comput. Fluid Dyn. 37, 17–34 (2023). https://doi.org/10.1007/s00162-023-00640-7.