

Titre :

Modélisation de la propagation du bruit de jet par une méthode adjointe formulée pour l'acoustique potentielle

Résumé :

La question de dissocier le champ acoustique du champ aérodynamique, étroitement liée à celle de la définition adéquate des sources de bruit, reste une question ouverte d'une grande importance pratique en aéroacoustique. En proposant une analogie acoustique construite sur le potentiel acoustique, cette étude veut contribuer à la construction d'un modèle de prédiction du bruit de jet, qui soit robuste et pragmatique pour des applications de l'industrie aéronautique. Le formalisme de l'adjoint utilisé dans le calcul de la propagation du son, recours au principe de réciprocité, et est réalisé indépendamment des sources de bruit. Ce formalisme est le seul capable de modéliser le rayonnement acoustique de l'air éjecté par un turboréacteur, lorsque cet écoulement est calculé par les équations de Navier-Stokes moyennés et n'est connu que de manière statistique.

Le modèle statistique du bruit de mélange turbulent de Tam et Auriault (1999) est le premier à recourir à une approche adjointe de ce type. Ce travail reformule pour le potentiel acoustique ce modèle emblématique, et compare le modèle de propagation proposé, basée sur l'équation de Pierce (1990), au modèle original utilisé par Tam et Auriault (1998). Un accord satisfaisant est trouvé entre les deux approches.

Contrairement à la formulation de Tam et Auriault, l'équation d'onde pour l'acoustique potentielle conserve l'énergie acoustique et ainsi ne présente pas de couplage avec le mode hydrodynamique généralement instable. La formulation proposée prend de plus en compte l'effet de la présence des surfaces dans le calcul de la propagation acoustique. Le calcul de la solution réciproque par retournement d'écoulement représente une alternative plus intuitive et plus simple à mettre en œuvre que la méthode de l'adjoint. Ce travail montre que cette approche simplifiée ne s'applique que pour des opérateurs auto-adjoints comme l'équation de Pierce retenue. Pour démontrer la viabilité opérationnelle de la méthode, la solution adjointe à l'équation de Pierce pour une configuration réaliste de turboréacteur a été calculée à l'aide du code commercial *Actran TM*. Des champs adjoints correspondant à une propagation en champ proche et en champ lointain sont présentés.

Dans le modèle considéré, le champ acoustique est linéaire, dérive d'un potentiel et se propage autour d'un écoulement moyen quelconque. La théorie peut être réécrite à l'aide du formalisme des rayons exacts (Foreman, 1989), et coïncide ainsi avec les cas limites de l'acoustique potentielle et de l'acoustique géométrique; soit avec les deux seuls cas pour lesquels l'acoustique peut être définie sans ambivalence. De surcroît, ce travail réécrit les équations d'Euler sous une forme originale et fournit une équation d'onde très générale sur la seule variable de la vitesse.

Mots clefs :

bruit de jet ; analogie acoustique ; acoustique potentielle ; acoustique géométrique ; équation d'onde ; adjoint ; retournement d'écoulement ; effets d'installation.

Title :

Adjoint-based jet noise propagation model for the acoustic potential

Abstract:

The issue of properly distinguishing the acoustic field from the aerodynamic field, which is in close relation with that of the adequate definition of noise sources, remains an open question of great practical importance in aeroacoustics. By proposing an acoustic analogy built on the acoustic potential, this study intends to contribute to the construction of a prediction model for jet noise, that is robust and pragmatic with respect to the context of the aeronautical industry. The adjoint formalism used in the calculation of the sound propagation is based on the reciprocity principle, and is carried out independently of noise sources. This formalism is the only one capable of modelling the acoustic radiation of the air ejected by an aircraft engine, when this flow is computed by Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS) equations and is only known statistically.

The statistical model of turbulent mixing noise of Tam and Auriault (1999) is the first to use an adjoint approach of this kind. This work reformulates this emblematic model for the acoustic potential, and compares the proposed model, based on the equation of Pierce (1990), with the original propagation model that Tam and Auriault (1998) used. A satisfactory agreement is found between the two approaches. Unlike in Tam and Auriault's formulation, the wave equation for the acoustic potential conserves the acoustic energy and therefore does not present any coupling with the hydrodynamic mode, which is generally unstable. The proposed formulation also takes into account the effect of the presence of surfaces in the calculation of acoustic propagation. The calculation of the reciprocal solution by flow reversal represents a more intuitive and easier to implement alternative to the adjoint method. This work shows that this simplified approach is applicable only for self-adjoint operators such as Pierce's wave equation that has been selected. To demonstrate the operational viability of the method, the adjoint solution to Pierce's equation for a realistic turbofan engine configuration is calculated using the commercial code *Actran TM*. Adjoint fields corresponding to near-field and far-field propagation are presented.

In the model considered, the acoustic field is linear, is obtained from a potential scalar function and propagates around an arbitrary mean flow. The theory can be rewritten using the exact ray formalism (Foreman, 1989), and thus coincides with the two limiting cases of potential acoustics and geometric acoustics, the only cases in which acoustics can be defined without ambivalence. Furthermore, Euler's equations are recast in an original form in this study and provides a very general wave equation based solely on the velocity variable.

Key words :

jet noise ; acoustic analogy ; potential acoustics; geometric acoustics ; wave equation ; adjoint ; flow reversal ; installation effects