

Étude des spectres de pression en CLT

Janvier 2019

I. Modélisation du bruit de couche limite turbulente

Considérons une paroi immobile immergée dans un écoulement qui lui est parallèle. Quand il est suffisamment loin de la paroi, le fluide n'a pas d'interaction avec la paroi et sa vitesse est notée U_∞ . Aux abords de la paroi, l'interaction n'est plus négligeable et la vitesse diminue progressivement jusqu'à devenir nulle au niveau de la structure. Cette zone d'interaction est appelée couche limite et sa limite spatiale est atteinte quand la vitesse du fluide atteint 99% de U_∞ .

L'épaisseur de la couche limite peut aussi être définie par le déplacement du fluide ou sa quantité de mouvement.

Le comportement du fluide dans la couche limite dépend de plusieurs paramètres :

- sa viscosité,
- sa masse volumique,
- son nombre de Reynolds $R_L = \frac{UL}{\nu}$ (où L est une dimension caractéristique de l'écoulement et ν est la viscosité cinématique),
-

Dans le cas d'un écoulement turbulent, des tourbillons se trouvent dans la couche limite et leur déplacement s'apparente à un phénomène de convection, dont la vitesse U_c est généralement déterminée empiriquement, par un modèle du type :

$$U_c = KU_\infty$$

avec $0.6 < K < 0.8$ en première approche. Certains modèles dépendent du nombre de Strouhal.

Le comportement d'une CLT est aléatoire et il est donc décrit statistiquement par l'intercorrélation de pression pariétale, sous les hypothèses que le champ de pression est stationnaire et homogène.

Plusieurs modèles semi-empiriques de cette quantité existent.

Pour une synthèse des modèles existants, consulter par exemple

- Hwang et al. : On modeling structural excitations by low speed turbulent boundary layer flows.
- Hwang et al. : Comparison of semi-empirical models for turbulent boundary layer wall pressure spectra
- Aucejo : thèse (Vibro-acoustique des structures immergées sous écoulement turbulents)

1.1. Modèles d'autospectres

Hypothèses : structure plane, rigide, lisse, écoulement incompressible. La paroi est dans le plan (x, y) et l'écoulement est dans la direction $x > 0$.

Référence	Modèle	Commentaire
Efimtsov (1984)		
Chase (1987)		
Smol'yakov et Tkachenko (1991)		
Smol'yakov (2000)		
Goody (2002)		

1.2. Modèle d'interspectres

Ces modèles établissent la corrélation spatiale au sein de la CLT, avec les même hypothèses que précédemment.

Corcos (1963) Modèle empirique.

$$S_{pp}(\delta x, \delta y, \omega) = S_{pp}(\omega) e^{-\frac{\delta x}{L_x}} e^{-\frac{\delta y}{L_y}} e^{-j\omega \frac{\delta x}{U_c}}$$

avec $k_c = \frac{\omega}{U_c}$ le nombre d'onde convectif et $L_x = \frac{1}{|k_c|\alpha_x}$ et $L_y = \frac{1}{|k_c|\alpha_y|}$ qui donnent la longueur de corrélation dans chaque direction.

Avantages : Simple

Limites :

- Valide uniquement autour du nombre d'onde convectif car le modèle ne prend pas en compte l'épaisseur de la couche limite.
- Hypothèse d'indépendance des composante longitudinale et transversale à vérifier.
- Surrestimation des spectres mesurés en bas nombres d'onde

De nombreuses améliorations de ce modèle ont été proposées.

Paramètres à inférer : L_x , L_y , S_{pp} et éventuellement U_c .

Chase (1987) Modèle basé sur l'équation de Poisson.

Dans le domaine spatial

Avantages : Représente les bas nombres d'onde plus précisément que la plupart des autres modèles.

Limites : *Paramètres à inférer* :

Représentation dans le domaine des nombres d'onde : L'interspectre de pression pariétale peut se représenter dans le domaine des nombres d'ondes.

1.3. Aspects expérimentaux

II. Questions/Remarques

Que tirer d'un modèle d'autospectre ?

Favoriser l'inférence de paramètres adimensionnels ?

A tester aussi : débruitage avec corrélation et paramètre du modèle de bruit connus (cf Amailland).

risque de limites : en pratique, les autospectres ne sont pas constants (on peut prendre en compte une corrélation par zone, mais il faut alors imposer une contrainte de continuité).

III. Inférence des paramètre de CLT pour le débruitage

3.1. Modèle de Corcos

Plusieurs stratégies sont possibles pour extraire les paramètres du modèle de Corcos :

- A l'aide d'une mesure de bruit de fond : inférer les paramètres U_c , α_x , α_y en exploitant les données à toutes les fréquences
- Sans mesure de bruit de fond : il faut inférer les sources simultanément avec les paramètres de Corcos. Il est alors trop lourd d'exploiter les données à toutes les fréquences, car il faudrait aussi mettre à jours les sources à chaque fréquence, sans parallélisation possible :

<pre> for nombre de fréquences for nombre de tirages màj des paramètres de champ acoustique màj de $\alpha_{x,y}(\omega)$, $S_p(\omega)$ et $U_c(\omega)$ end end </pre> <hr/> <p style="text-align: center;">Version parallélisable</p>	<pre> for nombre de tirages for nombre de fréquences màj des paramètres de champ acoustique màj de $S_p(\omega)$ end màj de $\alpha_{x,y}$ et U_c end </pre> <hr/> <p style="text-align: center;">Version non parallélisable</p>
---	---

A noter que dans la plupart des cas, le nombre de tirages est bien supérieur au nombre de fréquences.

Dans le modèle de Corcos, $\alpha_{x,y}$ et U_c ne dépendent pas de ω . La première version serait donc plus rapide mais moins fidèle au modèle.

•

3.1.1. Implémentation

Modèle :

$$\mathbf{S}_y = \mathbf{L} \mathbf{S}_c \mathbf{L}^H + \mathbf{S}_n^{\text{Corcos}} \quad (1)$$

Le bruit de mesure est considéré négligeable devant le bruit d'écoulement.

3.1.2 Test sur le benchmark WP1