

Les outils de simulation de dynamique des fluides sont de plus en plus utilisés dans l'étude des phénomènes acoustiques. L'analyse détaillée des écoulements fluides constitue un moyen efficace de localiser les sources de bruit et de découvrir les mécanismes de la production des sons.

L'aéroacoustique selon Fluent

Source Daimler Chrysler

Contours de pression autour d'une vitre conducteur ouverte lors d'une simulation CAA.

Fluent propose quatre approches pour la simulation aéroacoustique : l'approche du calcul direct dite « CAA » pour Computational AeroAcoustics, le couplage entre un solveur de dynamique des fluides et un solveur d'équations d'ondes, la méthode intégrale basée sur l'analogie acoustique (Integral Acoustic Models), et enfin les modèles de source de bruits large bande (Broadband Noise Source Models).

Computational AeroAcoustics

Cette approche est la plus gourmande en termes de ressources informatiques. Elle ne se base sur aucun modèle et s'apparente à une simulation numérique directe d'écoulement turbulent. Il s'agit d'une simulation transitoire portant sur l'intégralité de la région du fluide, englobant les sources, les récepteurs, ainsi que les chemins de transmission sonores. Les régions sources peuvent être suivies grâce à un calcul rigoureux des variations de pression et des structures fluides au cours du temps. La transmission du son est simulée en résolvant les équations de propagation

d'onde de pression dans le fluide. Mais bien que l'approche CAA soit en théorie la plus générale et précise, elle présente un certain nombre de limitations qui en font une approche quasi inutilisable en pratique. Parmi ces limitations on citera principalement les différences d'échelles caractéristiques de temps et de longueur entre les phénomènes dynamiques liés à l'écoulement turbulent et acoustique. Néanmoins, il existe un domaine d'applications restreint pour lequel l'approche CAA peut être utilisée avec succès. Celle-ci est en effet valable lorsque la bande de fréquences d'intérêt est suffisamment étroite, les sources et récepteurs sont suffisamment proches, et le son à capturer est suffisamment fort. Un exemple classique de ce type de situation est celui d'un véhicule roulant avec une fenêtre ouverte, produisant un bruit de haute intensité (>100 dB) et de faible fréquence (15 à 25 Hz). L'approche CAA a été utilisée pour simuler une voiture en déplacement avec la fenêtre conducteur et/ou passager arrière ouverte, afin de déterminer le spectre de fréquence du son perçu par le conducteur ou le passager. Le spectre simulé s'est trouvé en parfaite adéquation avec les résultats expérimentaux

correspondants. Le son produit par l'écoulement de l'air autour d'un modèle de rétroviseur extérieur a également pu être calculé grâce à la méthode CAA, et ce avec une excellente précision par rapport aux valeurs mesurées expérimentalement. Plus récemment, toujours dans le monde automobile, l'approche CAA a été utilisée pour prédire les sifflements observés à l'intérieur des systèmes d'admission d'air. Le son est produit par le passage d'un jet d'air sous le papillon des gaz du carburateur. Lorsque le jet passe au-dessus d'une cavité du carter, une couche de cisaillement est créée. Si une résonance se produit entre la couche de cisaillement et les ondes sonores remontant du carter, un sifflement se produit. Le spectre du sifflement prédit par la simulation CAA fut une fois de plus en parfait accord avec les résultats expérimentaux.

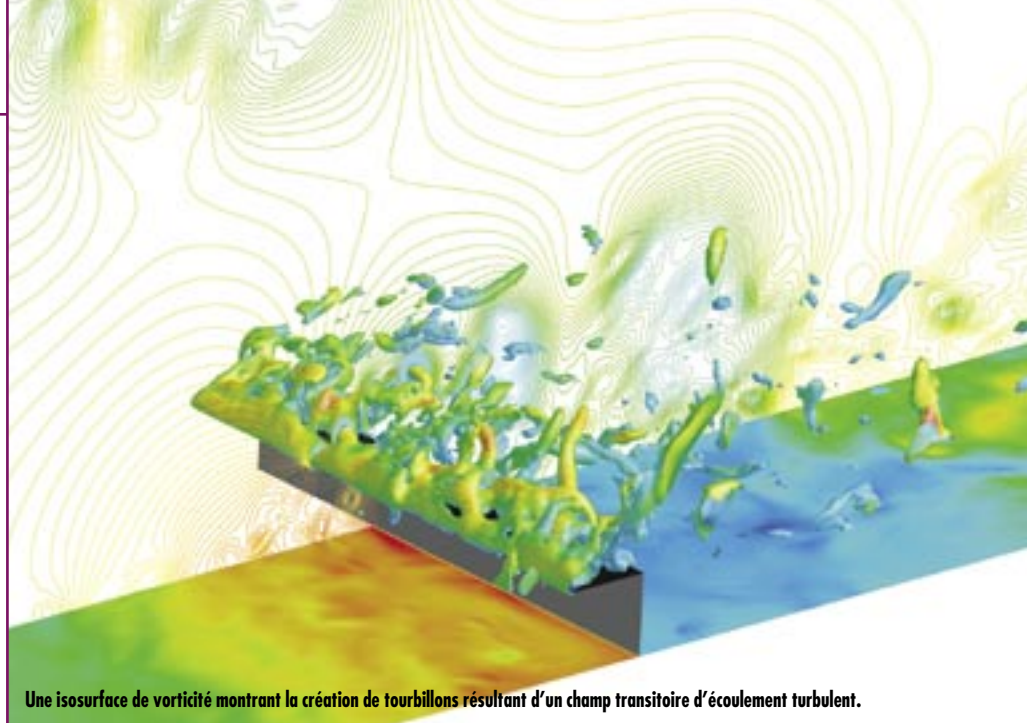
Couplage CFD- Solveur d'équations d'ondes

L'approche CAA est inapplicable dans la plupart des cas en raison des fortes variations observées sur les échelles

de temps, de longueur et de pression impliquées dans les phénomènes de génération et de transmission des sons. Ces limitations peuvent être contournées en découpant le problème en deux parties : (1) la génération du son, et (2) la transmission du son. Dans cette approche, la génération des sons est modélisée grâce à une analyse CFD, un solveur d'équation d'onde étant utilisé par la suite pour étudier la transmission. Récemment, FLUENT 6.1 a été utilisé pour simuler le champ d'écoulement transitoire autour du même rétroviseur externe que celui cité précédemment. Les résultats de cette simulation ont ensuite été exportés et utilisés dans le logiciel commercial Sysnoise de LMS International, qui résout les équations d'onde grâce à la méthode BEM (Boundary Element Method). Les résultats de Sysnoise ont permis de représenter la distribution spatiale du son en fonction de la fréquence.

Méthodes Acoustiques Intégrales

L'approche consistant à traiter séparément les champs acoustiques et fluidiques peut encore être simplifiée si le récepteur possède une vue directe et non obstruée sur chacun des points constituant une source de bruit. La transmission du son peut alors être calculée par simple formulation analytique. L'analogie acoustique de Lighthill fournit les fondements mathématiques d'une telle approche intégrale. La méthode de Ffowcs-Williams et Hawkins (FW-H) constitue quant à elle la formulation la plus complète de l'analogie acoustique connue à ce jour. Les deux méthodes sont implémentées dans Fluent. A titre d'exemple, la méthode FW-H a été appliquée à la prédiction de la radiation sonore sur une représentation simplifiée de gouttière équipant les pièces situées de part et d'autre du pare-brise supportant le toit d'un véhicule (A-pillar rain



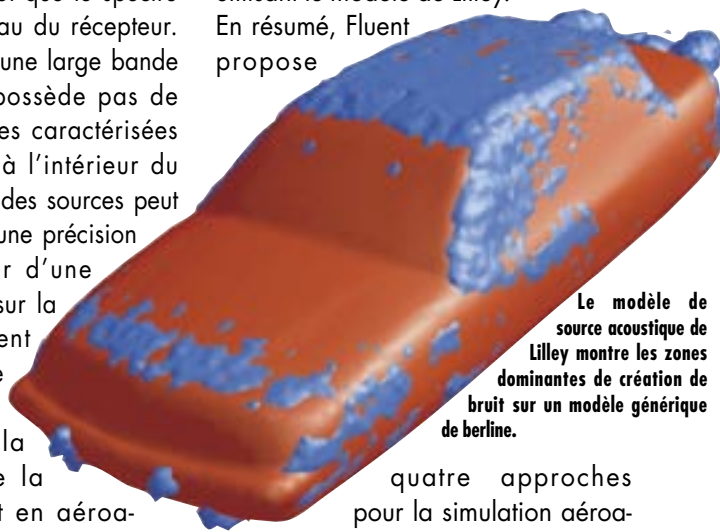
Une isosurface de vorticité montrant la création de tourbillons résultant d'un champ transitoire d'écoulement turbulent.

gutter). L'utilisation du modèle de turbulence les a mené à d'excellents résultats, en parfait accord avec les valeurs expérimentales trouvées dans la littérature.

Modèles de sources large bande

Les trois méthodes décrites précédemment impliquent des calculs transitoires de dynamique des fluides pour déterminer les variations du signal son-pression, et de là le spectre sonore perçu par le récepteur. Cependant, dans certaines applications, ce sont uniquement les positions ainsi que les puissances relatives des différentes sources qui doivent être déterminées, plutôt que le spectre sonore perçu au niveau du récepteur. Si le bruit s'étend sur une large bande (c'est-à-dire s'il ne possède pas de fréquences dominantes caractérisées par des pics étroits à l'intérieur du spectre), la puissance des sources peut être déterminée avec une précision raisonnable à partir d'une moyenne temporelle sur la structure d'écoulement turbulent dans chacune des régions sources. La turbulence est la cause première de la génération de bruit en aéroacoustique, c'est pourquoi de façon générale, on peut dire que les régions les plus turbulentes du champ d'écoulement correspondent aux sources sonores les plus puissantes. FLUENT 6.2 intègre un certain nombre de

modèles analytiques dits « modèles de sources large bande », qui réalisent la synthèse du son en différents points à partir des données locales d'écoulement et de turbulence, dans le but de déterminer la puissance des sources locales. L'avantage de cette approche est qu'elle ne requiert que très peu de puissance de calcul en comparaison des autres méthodes décrites précédemment. Les modèles de bruits large bande ne nécessitent en effet qu'une résolution stationnaire. Un exemple récent d'étude utilisant cette approche est la prédiction des sources principales de sons autour d'un modèle simplifié de berline, en utilisant le modèle de Lilley. En résumé, Fluent propose



Le modèle de source acoustique de Lilley montre les zones dominantes de création de bruit sur un modèle générique de berline.

quatre approches pour la simulation aéroacoustique, des plus précises et consommatrices aux plus rapides et approximatives. Toutes ces méthodes sont incluses en standard dans le logiciel Fluent ; aucun module supplémentaire n'est nécessaire. ■