

Proposition de sujet de thèse de doctorat :

Modélisation avancée de l'atmosphère pour la propagation de signaux basses fréquences

- Encadrement ECL : Didier Dragna, Olivier Marsden & Christophe Bailly
Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR CNRS 5509
- Encadrement CEA/DAM/DIF : Olaf Gainville
- Cofinancement envisagé : DGA, CEA (accord de principe)

L'observation des ondes acoustiques basses fréquences se propageant dans l'atmosphère terrestre (depuis les infrasons jusqu'à des fréquences de quelques hertz) à l'aide de réseaux de capteurs permet détecter des événements naturels tels que les éruptions volcaniques, les entrées de météorites et les tsunamis, ou artificielles tels que le bang sonique des avions supersoniques ou des explosions, à des fins de surveillance. L'exploitation de ces signaux permet de fournir une estimation de la position de la source, et l'analyse de la signature devrait permettre d'obtenir des caractéristiques intrinsèques de la source. C'est un des objectifs des travaux de recherche menés ici.

Les développements de la simulation numérique pour le calcul direct de la propagation acoustique, c'est-à-dire par résolution des équations de Navier-Stokes sans hypothèse *ad-hoc* pour la modélisation, ont permis de montrer d'une part, que de telles simulations sont faisables en 2-D^{1,3} et plus récemment en 3-D⁵ et d'autre part, l'intérêt de disposer de signaux où toute la physique est correctement représentée.^{2,3} Ces travaux récents sont réalisés dans le cadre du LETMA, laboratoire conventionné qui regroupe le Centre Acoustique du Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA, UMR CNRS 5509), l'institut Jean le Rond d'Alembert (UMR CNRS 7190) et le Département Analyse Surveillance Environnement du CEA.^{4,7}

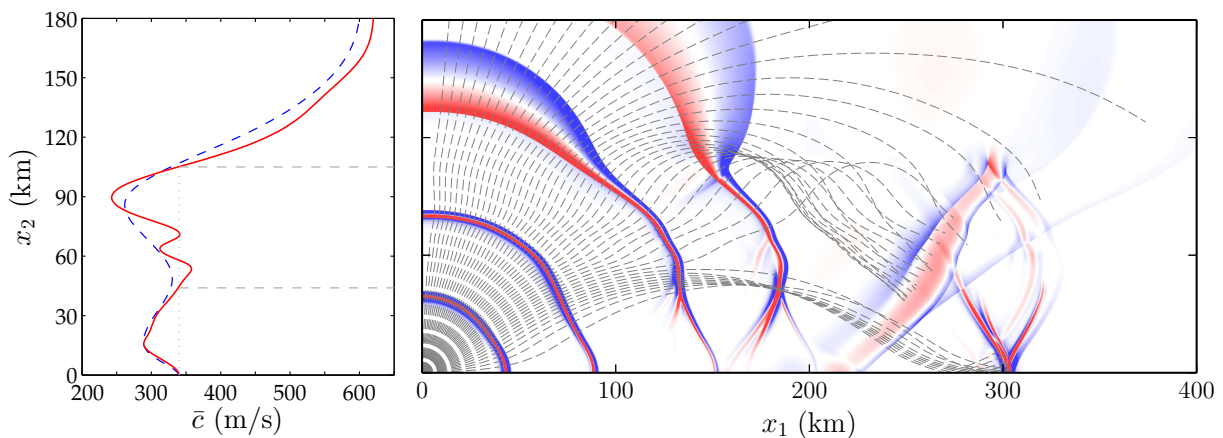


FIGURE 1 – A gauche, profil caractéristique pour la vitesse du son en bleu, et vitesse du son effective avec la prise en compte d'une composante de vent. A droite, champ de pression pour plusieurs temps illustrant la propagation d'un signal infrasonore impulsif avec la prise en compte des effets non linéaires et de l'absorption thermovisqueuse, qui très importante à haute altitude.

Les dernières simulations numériques sont 3-D, avec un schéma de capture de choc amélioré pour la propagation en haute atmosphère,^{4,5} et une boîte de calcul glissante permettant de simuler la propagation sur de grandes distances, de plusieurs centaines de kilomètres, ce qui représente l'état de l'art au niveau international.⁶ Les comparaisons avec les signaux expérimentaux montrent les progrès accomplis, mais aussi les améliorations nécessaires pour obtenir des signatures temporelles fidèles,

en considérant des fréquences allant jusqu'à quelques hertz. Deux avancées sont nécessaires, et font l'objet de ce nouveau travail de recherche. Il est nécessaire de pouvoir inclure une topologie plus complexe (montagnes à l'échelle de la longueur d'onde de l'ordre du km, ou impédance au sol) : cela ne pose aucune difficulté particulière pour le numérique, mais par contre, il sera nécessaire d'établir un écoulement de couche limite suffisamment réaliste. La présence d'une turbulence d'ondes de gravité, toujours à l'échelle de la longueur d'onde acoustique considérée, est également indispensable pour l'amélioration des prédictions. L'enjeu porte ici à la fois sur la modélisation, mais aussi sur la simulation numérique. Il faut cependant souligner que la stratégie choisie pour la propagation, à savoir la résolution directe des équations de Navier-Stokes, est plutôt favorable pour permettre de prendre en compte de telles inhomogénéités.

Références

- [1] MARSDEN, O., BOGEY, C. & BAILLY, C., 2014, « A study of infrasound propagation based on high-order finite difference solutions of the Navier-Stokes equations », *J. Acoust. Soc. Am.*, **135** (3), 1083-1095.
- [2] SABATINI, R., MARSDEN, O., BAILLY, C. & GAINVILLE, O., 2015, « Numerical simulation of infrasound propagation in the Earth's atmosphere : study of a stratospherical arrival pair », AIP Conference Proceedings, Recent developments in nonlinear acoustics, ed. by Blanc-Benon, P., Sparrow, V.W. & Dragna, D., 1685, ISBN 978-0-7354-1332-0, 090002, 1-4.
- [3] SABATINI, R., MARSDEN, O., BAILLY, C. & BOGEY, C., 2016, « A numerical study of nonlinear infrasound propagation in a windy atmosphere », *J. Acoust. Soc. Am.*, **140**(1), 641-656.
- [4] SABATINI, R., BAILLY, C., MARSDEN, O. & GAINVILLE, O., 2016, « Characterization of absorption and nonlinear effects in infrasound propagation using an augmented Burgers' equation », *Geophysical Journal International*, **207**, 1432-1445.
- [5] SABATINI, R., MARSDEN, O., BAILLY, C. & GAINVILLE, O., 2016, « Long-range infrasound propagation based on the 3-D Navier-Stokes equations », *22nd AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, Lyon, 30 May - 1st June.
- [6] SABATINI, R., MARSDEN, O., BAILLY, C. & GAINVILLE, O., 2016, « Assessment of numerical accuracy for the direct computation of sound propagation » (invited paper) *171st Meeting of the Acoustical Society of America*, Salt Lake City, Utah 23-27 May.
- [7] SABATINI, R., 2017, « Modélisation numérique de la propagation des infrasons dans l'atmosphère terrestre », thèse de doctorat DGA/CEA, ECL - No. 2017LYSEC04.