

Proposition de sujet de stage M2/ingénieur au CEA

Utilisation d'un modèle d'émission infrason de la houle océanique pour la caractérisation de l'atmosphère

Contexte général : Le Département Analyse, Surveillance, Environnement (DASE) du CEA/DAM est spécialisé dans la mesure des phénomènes atmosphériques, le suivi d'événements sismiques, la détection de radionucléides, et la conception des capteurs et réseaux associés. Fort de cette expertise, le CEA/DAM participe à la lutte contre la prolifération nucléaire en mettant son expertise au service de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) et de l'Organisation du traité d'interdiction complète des essais nucléaires (OTICE). Dans ce contexte, le DASE exploite en routine les données infrason du Système de Surveillance International (SSI) mis en place dans le cadre de la vérification du TICE. L'expertise du DASE en la matière repose sur une connaissance fine de la moyenne atmosphère (MA) et de sa dynamique, les infrasons se propageant sur de longues distances dans des guides d'onde formés par la MA. Exploité dans un mode de fonctionnement continu, le réseau du SSI constitue un système particulièrement novateur pour la mesure de la dynamique de la MA.

Objectifs du stage : La houle océanique émet des infrasons (appelés microbaroms) avec des périodes de l'ordre de 5 s (0.2 Hz) qui sont détectés sur l'ensemble du réseau du SSI (Figure 1). La propagation des infrasons est fortement impactée par les états de la moyenne atmosphère. Ainsi, une bonne connaissance du terme source permet de déterminer la bonne représentation de ces états au sein des modèles atmosphériques utilisés dans les simulations de propagation infrason. Les microbaroms se présentent donc comme un moyen de sondage de l'atmosphère et de diagnostic des modèles atmosphériques à l'échelle du globe. Un modèle de houle a récemment été développé au CEA¹ et permet d'envisager un tel exercice. Il est maintenant nécessaire de mener des études de sensibilité pour évaluer la capacité du modèle de houle à nous renseigner sur certains paramètres atmosphériques permettant de caractériser la moyenne atmosphère (orientation des courants jets, intensité, hauteur du maximum de vitesse de vent) au travers de simulations de propagation.

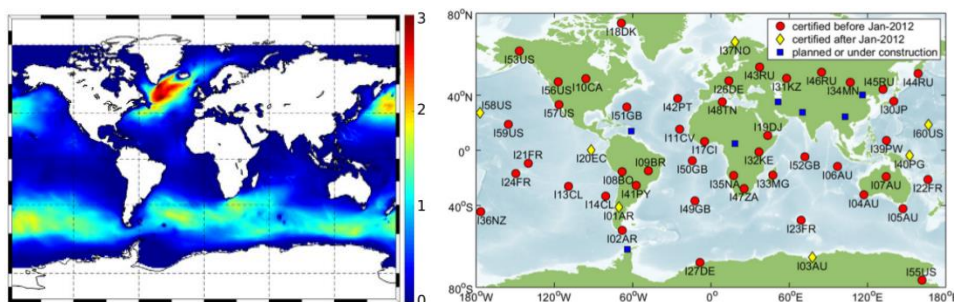


Figure 1 (Gauche) Carte d'émission de l'énergie acoustique (10^{-4} W.m^{-2}) par la houle pour des angles d'émission compris entre 80° et 85° (extrait de De Carlo et al. 2020) (Droite) réseau de stations infrason du SSI (extrait de De Carlo et al. 2021).

¹ De Carlo, M., Arduin, F., & Le Pichon, A. (2020). Atmospheric infrasound generation by ocean waves in finite depth: unified theory and application to radiation patterns. *Geophysical Journal International*, 221(1), 569-585.



L'objectif de ce stage est d'utiliser le modèle de source développée par De Carlo et al. (2020) afin de simuler des détections infrason en station pour les comparer aux observations du réseau du SSI et des réseaux nationaux. Il s'agit de démontrer la possibilité d'utiliser les écarts entre, d'un côté, les paramètres mesurés en station infrason et, de l'autre, leur simulation, pour diagnostiquer l'état de l'atmosphère sans être biaisé par les choix de paramètres du modèle utilisé (source/propagation). En particulier il s'agira d'évaluer l'apport de la mise à jour d'un modèle d'atténuation tabulé² pour la détermination de l'état de l'atmosphère à partir des signaux reçus. Des cas d'études pourront être privilégiés sur la base de précédents résultats³. Les observables infrason à simuler pourront être discutées (détection avérée ou non dans la direction attendue, distribution d'azimuts des détections, amplitude du signal en station, ...) afin de proposer une approche viable permettant d'évaluer la performance du modèle d'atmosphère. L'objectif du stage est d'ouvrir la voie à un exercice inédit d'assimilation de données infrason de la houle océanique, dans le cadre d'une thèse CEA/CEREA (Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique; École des Ponts ParisTech-EDF R&D), pour l'amélioration des modèles de prévision numérique du temps.

Compétences requises : Le candidat doit avoir un intérêt pour la géophysique et le travail à la frontière de plusieurs disciplines (physique de l'atmosphère, acoustique, mathématiques appliquées, traitement de données). Il doit être capable de se confronter à un large jeu de données à des fins de traitement et d'analyse. Il devra faire preuve de rigueur, être capable de proposer des pistes d'étude et d'interagir avec différents interlocuteurs. Expérience requise en programmation (Python, Matlab,...). Niveau d'anglais (lu/écrit) correct souhaité.

Mots-clés : dynamique de l'atmosphère, propagation infrason, modèle atmosphérique, traitement de données, traitement du signal, analyse de larges jeux de données, analyse statistique, assimilation de données.

Poursuite en thèse : oui (selon la prise en main du sujet et les compétences en mathématiques attendues dans le cadre de la thèse proposée)

Lieu de travail : CEA, Département Analyse Surveillance Environnement, Bruyères-le-Châtel (91). Prévoir un délai d'un mois pour les procédures d'habilitation du CEA.

Contact : constantino.listowski@cea.fr

² Le Pichon, A., Ceranna, L., & Vergoz, J. (2012). Incorporating numerical modeling into estimates of the detection capability of the IMS infrasound network. *Journal of Geophysical Research*, 117, D05121. <https://doi.org/10.1029/2011JD016670>

³ De Carlo, M., Hupe, P., Le Pichon, A., Ceranna, L., & Arduin, F. (2021). Global Microbarom Patterns: A First Confirmation of the Theory for Source and Propagation. *Geophysical Research Letters*, 48(3), e2020GL090163.