

## Proposition de stage M2/ingénieur au CEA

### Analyse de données atmosphériques pour la calibration d'un modèle ingénieur d'ondes de gravité, étude d'impact sur la propagation des infrasons

**Contexte général :** Le Département Analyse, Surveillance, Environnement (DASE) de la Direction des Applications Militaires du CEA (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 SSI (Système de Surveillance International) mis en place dans le cadre de la vérification du TICE. L'expertise du DASE repose sur une connaissance fine de la moyenne atmosphère (MA) et de sa dynamique car les infrasons se propagent sur de longues distances dans des guides d'onde formés par la MA.

**Objectifs du stage :** L'objectif de ce stage est de mener une analyse saisonnière et annuelle des profils verticaux et spectres associés des ondes de gravité atmosphériques observées à l'Observatoire de Haute Provence (OHP). Celles-ci occasionnent des fluctuations de vent et de température pouvant significativement impacter la propagation des infrasons. Le laboratoire LATMOS (Laboratoire Atmosphères Terre Milieux Observations Spatiales), associé à l'étude, fournit des données d'observation haute résolution de l'atmosphère (lidar et radiosondages). Ces analyses permettront d'aider à calibrer les paramètres d'un modèle empirique « ingénieur ». Celui-ci permet d'estimer l'amplitude des perturbations (ou oscillations) de vent et de températures. Ces perturbations peuvent être ensuite ajoutées à des champs de vent et de température de grand échelle afin d'obtenir un profil complet de l'atmosphère décrivant les différentes échelles de variabilité.

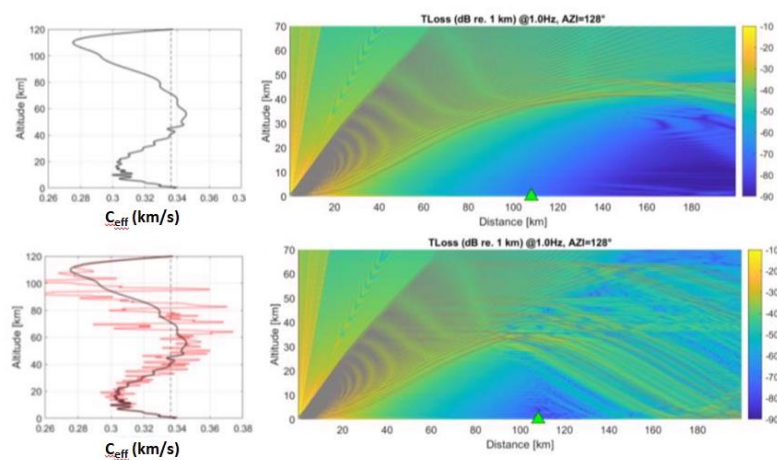


Figure 1 (Gauche) Profils verticaux de célérité effective des infrasons sans (haut) et avec (bas) inclusion de perturbations de type onde de gravité (en rouge). (Droite) Simulation de propagation infrason rendant compte de l'atténuation (en décibels) de l'énergie émise par une source placée en (0,0). Figure adaptée de Vallage et al. (2021).



La prise en compte de ces perturbations est nécessaire pour fournir une analyse aussi pertinente que possible des événements d'intérêt pour le CEA/DAM dans le cadre de ses activités de surveillance (Figure 1, et voir par exemple Vallage et al. 2021<sup>1</sup>). Le CEA dispose d'une station infrason expérimentale à l'OHP, permettant de comparer les résultats de simulation à des observations infrasons d'événements préalablement identifiés. Ainsi différentes étapes sont identifiées :

- 1/ l'analyse de la variabilité saisonnière et annuelle des spectres d'ondes de gravité à l'OHP
- 2/ la calibration de paramètres d'un modèle « ingénieur » d'ondes de gravité permettant de retrouver des profils types de perturbation en vent et en température, et la comparaison à d'autres descriptions disponibles.
- 3/ la prise en main et l'utilisation d'un outil de simulation de propagation infrason, afin de quantifier l'impact des perturbations sur la propagation et de comparer ces résultats à des observations infrasonores en station.

Des comparaisons pourront par ailleurs être effectuées avec une autre région du globe, La Réunion, où le LATMOS est également responsable de lidars permettant d'obtenir des profils de températures et de vents (en collaboration avec le Lacy – Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones). Les analyses spectrales et les résultats de calibration du modèle ingénieur pourront être comparés à ceux de l'OHP afin d'étudier la dépendance de la calibration du modèle à la région du globe considérée.

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

**Mots-clefs :** analyse de données, analyse spectrale, étude statistique, observations haute résolution, radiosondage, lidar, modèle empirique, calibration, propagation infrason, simulations

**Poursuite en thèse :** non

**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](mailto:constantino.listowski@cea.fr)

---

<sup>1</sup> Vallage et al. (2021) Multitechnology characterization of an unusual surface rupturing intraplate earthquake: the ML 5.4 2019 Le Teil event in France, *Geophysical Journal International*, Volume 226, Issue 2, August 2021, Pages 803–813