

**ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT D'ILE DE  
France N° 129**

**Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020**

Nom du Laboratoire d'accueil: **Laboratoire de Météorologie Dynamique**

N° UMR : **8539**

Nom du Directeur du laboratoire : **Philippe Drobinski**

Adresse complète du laboratoire : **Ecole Normale Supérieure, 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cédex 5**

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire :

**DPAO: Dynamique et Physique de l'Atmosphère et de l'Océan**

Nom du Directeur de thèse **HDR:**

**François Lott**

Téléphone: 0144322223

Mail: flott@lmd.ens.fr

Nom du co-directeur de thèse **HDR :**

**Christophe Millet**

Téléphone: 0169266561

Mail: christophe.millet@cea.fr

- Titre de la thèse en Français :

**Couche limite atmosphérique et ondes orographiques : impact sur le climat  
et sur la propagation des infrasons**

- Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :

Dans le domaine du climat, le rôle du relief a été étudié par deux communautés distinctes. La première communauté s'est essentiellement attachée à décrire la manière dont les montagnes modifient la couche limite turbulente de l'atmosphère (Jackson & Hunt, 1975), qui est une problématique centrale dans le domaine des énergies éoliennes (Ayotte, 2008), notamment lorsqu'on s'intéresse aux infrasons émis par les éoliennes (Pilger & Ceranna, 2018). La deuxième communauté s'est plus intéressée à la météorologie de la montagne, en essayant de décrire le déclenchement de bourrasques ou de Foehn en aval des montagnes et l'apparition d'ondes de gravité (Durran, 1990). Or dans les modèles de climat, les différents effets sont paramétrés dans des modules différents (Beljaars et al., 2004, Lott and Miller, 1997) de sorte que l'accès à des résolutions de plus en plus grandes pose la question de la cohérence des paramétrisations aux différentes échelles. Le premier objectif de cette thèse est précisément de réunifier les différentes approches de façon à produire un modèle consistant pour quantifier l'impact du relief sur le climat.

L'interaction de la couche limite et du relief affecte également la propagation des infrasons, soit en perturbant les guides d'ondes acoustiques (Damiens *et al.*, 2017), soit en émettant des ondes de gravité qui interagissent avec les infrasons. En se propageant au-delà de la troposphère, les ondes de gravité se combinent à celles qui sont émises par d'autres processus physiques (Cugnet *et al.*, 2019) pour former un champ d'ondes de gravité complexe, dont les caractéristiques ne peuvent être décrites qu'en termes probabilistes. Actuellement l'effet des ondes non-orographiques sur la propagation des infrasons est estimé en exploitant une paramétrisation stochastique adaptée du code LMDz (Ribstein *et al.*, 2020). Ce modèle doit être complété de manière à tenir compte de l'effet des montagnes et ce, afin de savoir si la dispersion observée dans les enregistrements infrasonores peut être liée aux ondes de gravité (montagnes, fronts/jets, etc.) ou si elle est la trace d'une caractéristique de l'évènement à l'origine des infrasons. Ce type de problématique illustre la forte dualité entre l'amélioration de la qualité des simulations numériques du climat et l'analyse quantitative des évènements infrasonores.

Dans un premier temps, il s'agira de prolonger les études théoriques réalisées sur les interactions entre les ondes de montagne et la couche limite (Damiens *et al.*, 2018, Soufflet *et al.*, 2019, Lott *et al.*, 2020), et cela afin d'établir dans quels domaines d'échelles horizontales une approche convient plutôt qu'une autre. Nous introduirons dans la théorie des ondes des fermetures turbulentes plus élaborées qu'auparavant, de type longueur de mélange et k-epsilon. Cette approche permettra d'une part, d'estimer la production d'énergie turbulente par les ondes de montagnes et donc, de quantifier les sources de dissipation et, d'autre part, d'estimer l'impact de la turbulence de couche limite sur les infrasons qui s'y propagent. Une attention particulière sera portée à l'épaisseur sur laquelle les montagnes d'échelles sous maille affectent l'écoulement de grande échelle dans les basses couches. Un résultat préliminaire suggère que les plus petites échelles peuvent induire un déplacement vers le haut de la couche limite sans freiner considérablement l'écoulement dans les basses couches. Nous analyserons dans le modèle LMDz, comment ces différents effets peuvent-être paramétrés et quel est leur impact à la fois sur la circulation de grande échelle de l'atmosphère (onde planétaire stationnaire, dépressions synoptiques, blocages, circulations méridiennes) et sur la propagation des infrasons à l'échelle globale. Ces recherches seront menées conjointement avec les équipes de développement du modèles de l'IPSL (Gastineau *et al.*, 2020) et du CEPMMT (Kanemaha *et al.* 2019).

• **Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis :**  
**Financement CEA demandé**

. **Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1<sup>er</sup> janvier 2020**  
(Clément Soufflet, UPMC, bourse Ministère, Soutenance Automne 2020)

• Titre Sujet en Anglais:

**Atmospheric boundary layer and mountain waves, impacts on climate and on infrasound propagation**

• **Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum):**

The impact of mountains on atmospheric circulation and climate has been studied by two relatively distinct communities. The first studied how mountains modify the turbulent atmospheric boundary layer (ABL) of the atmosphere (Jackson and Hunt, 1975), a central problem if one is interested in wind energy (Ayotte, 2008) or wind turbine-generated infrasound (Pilger & Ceranna, 2019). The second community was more interested in mountain meteorology itself, trying to describe the triggering of downslope windstorms and Foehn downstream of the mountains, the appearance of gravity waves propagating at least until the tropopause or propagating downstream from the mountains over fairly large distances (Durrán, 1990). In climate models, these different effects are parameterized in different modules (Beljaars et al. 2004, Lott and Miller 1997), but as the models have increasingly fine grids, these approaches should be brought together and we should study again and with more details the interactions between the ABL and mountain waves.

The interaction between the ABL and the mountains also affects the propagation of infrasound, through perturbing the acoustical waveguides (Damiens *et al.*, 2017) and because the gravity waves generated by the interaction can interact with infrasound. In fact, gravity waves propagate upward and combine with gravity waves generated by other physical processes (Cugnet *et al.*, 2019) to produce a complex gravity wave field, for which only a statistical picture is available. Recent works have shown that the role orographic gravity waves have on infrasound can be described using a stochastic off-line parameterization, obtained from that implemented in LMDz (Ribstein *et al.*, 2020). Such parameterization should be completed so as to account for the effect of mountains, in order to know if the statistical dispersion observed in infrasound records can be related to gravity waves (orographic and non-orographic gravity waves) or if it is simply a consequence of the infrasound event. This problem illustrates the strong duality between improving the reliability of numerical modeling of climate and quantitative analysis of infrasound events.

First, we will extend our recent theoretical studies on the interactions between mountain waves and boundary layer (Damiens *et al.*, 2017, Soufflet *et al.*, 2019, Lott *et al.*, 2020), and this in order to establish in which horizontal scale domains one approach is better than another. We will also introduce into the wave theory turbulent closures more elaborate than before, of the mixing length and k-epsilon type, which will allow to estimate the production of turbulent energy by mountain waves and therefore, to quantify the dissipations. We will also analyze theoretically the thickness over which the subgrid scale mountains affect the large-scale flow in the lower layers. A preliminary result also indicates that the smallest scales can induce an upward displacement of the boundary layer without considerably decelerating the flow in the lower layers. Finally, we will analyze in the LMD GCM, LMDz, how these different effects can be parameterized and how they impact the large-scale circulation of the atmosphere (stationary planetary wave, synoptic depressions, blockings, meridional circulations) and infrasound propagation at a global scale. This research will be carried out jointly with the model development teams of IPSL (Gastineau *et al.*, 2020) and ECMWF (Kanemaha *et al.*, 2019).

## **References récentes de l'équipe associées au projet :**

- Gastineau G., F. Lott, J. Mignot, and F. Hourdin, 2020: Alleviation of an arctic sea ice bias in a coupled model through modifications in the subgrid-scale orographic parameterization, *Journal of Advances in Modelling Earth Systems*, submitted.
- Lott, F., B. Deremble, and C. Soufflet, 2019: Mountain waves produced by a stratified boundary layer flow. Part I: Hydrostatic case. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Submitted.
- Kanehama, T, I. Sandu, A. Beljaars, A. van Niekerk, and F. Lott, 2019 : Which orographic scales matter most for medium-range forecast skill in the Northern Hemisphere winter? *Journal of Advances in Modelling Earth Systems*, Early online: <https://doi.org/10.1029/2019MS001894>
- Soufflet, C., F. Lott, and F. Damiens, 2019: Trapped lee waves with a critical level just below the surface, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*; DOI: 10.1002/qj.3507
- Damiens, F., F. Lott, C. Millet, and R. Plougonven, 2018: An adiabatic foehn mechanism, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*;144:1369–1381. <https://doi.org/10.1002/qj.3272>.

- Pilger, C., and L. Ceranna, 2018: The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements, *J. of Sound and Vibration*, 388.
- Damiens, F., C. Millet, and F. Lott, 2018: An investigation of infrasound propagation over mountain ranges, *J. of the Acoust. Soc. of Am.*, 143, 563.
- Cugnet, D., A. de la Camara, F. Lott, C. Millet, B. Ribstein, 2019: Non-orographic gravity waves: representation in climate models and effects on infrasound propagation, *Springer book: Infrasound and middle-atmosphere monitoring: Challenges and New Perspectives*.
- Ribstein, B., C. Millet, F. Lott, A. de la Camara, 2020: Can we improve gravity wave parameterizations by imposing sources at all altitudes in the atmosphere? *Journal of Advances in Modelling Earth Systems*, submitted.