

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Climatologie de la variabilité physique dans la très haute atmosphère : apport des observations nightglow aux forçages dynamiques

Référence : **PHY-DOTA-2026-10**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2026 à Janvier 2027
selon le type de financement

Date limite de candidature : 01/06/2026

Mots clés :

Airglow, climatologie, observation, modélisation, mésosphère, dynamique, ondes de gravité

Profil et compétences recherchées :

École d'ingénieur ou licence physique, master recherche & professionnel. Physique atmosphérique, transfert radiatif, mécanique des fluides, développement informatique (Python).

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

La très haute atmosphère (THA), et plus précisément la région appelée MLT (Mesosphere Lower Thermosphere) qui se situe entre 60 et 150 km d'altitude, est le siège de processus divers (chimiques, radiatifs, dynamiques) dont l'étude est cruciale pour la compréhension du climat et la caractérisation du milieu de cette nouvelle zone de conflictualité.

Le rayonnement nightglow, qui se produit au niveau de la mésopause (vers 80 km d'altitude), permet de tracer les phénomènes atmosphériques dynamiques se propageant dans cette couche. Ce rayonnement est observable depuis le sol à l'aide de caméras et spectromètres adaptés (principalement visible et proche-infrarouge).

L'ONERA a effectué de nombreuses recherches sur ce phénomène [Derelle et al., 2012, Bellisario, 2015, Le Dû, 2020], avec pour objectif de caractériser la couche d'émission. En particulier, l'impact des phénomènes dynamiques, dont les ondes de gravité, sur le rayonnement nightglow observé depuis le sol a été mis en évidence. Il faut maintenant caractériser et quantifier ces variabilités (densité, température, chimie et luminance) du milieu de la THA.

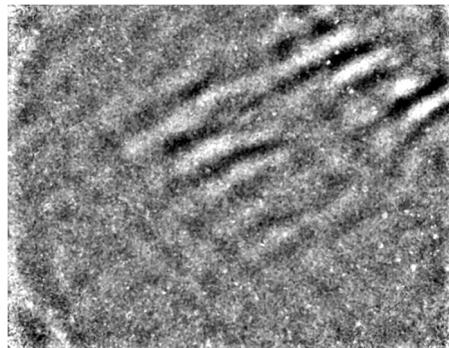


Figure 1 : Observations d'ondes de gravité sur la couche d'émission OH, Observatoire du Maïdo, 01/06/2016.

Début 2024, un caisson composé de différents instruments optiques a été installé sur le site de l'Observatoire de Haute Provence permettant l'observation du rayonnement nightglow de manière continue. Une caméra supplémentaire a également été installée à l'observatoire du Maïdo et un exemple d'ondes de gravité sur la couche d'émission nightglow est visible sur la figure 1. L'ONERA dispose donc d'un volume conséquent de données qui nécessitent une étude approfondie. **L'objectif de la thèse est d'utiliser ces deux années de données afin d'extraire une climatologie de la variabilité atmosphérique extraite du rayonnement nightglow, en particulier sur ses différentes origines, chimiques ou dynamiques.**

Plusieurs défis scientifiques sont associés à cet objectif. Le premier sera de fournir des expressions analytiques rendant compte des variabilités locales des paramètres atmosphériques (pression, température, densité) et ayant un impact sur la variabilité en luminance observée. Le second sera de trouver le(s) chaînon(s) manquant(s) entre les observations produites par l'ONERA (à partir de caméra et spectromètres) et les données utilisées par la communauté de la dynamique atmosphérique. En particulier, il faudra prêter attention aux caractéristiques induites par la physique de la mesure (absence d'information verticale, résolution spatiale et temporelle). Le cas des effets non-linéaires, comme le déferlement, sera à aborder. Une estimation de l'impact et de sa possible représentativité dans les résultats est un défi auquel la thèse

pourra répondre. Enfin, des intercomparaisons de modèles récentes ont montré que les paramétrisations actuelles des ondes de gravités ne représentent pas suffisamment les processus physiques [Achatz et al., 2024]. Il faudra donc évaluer l'apport des mesures produites pour contraindre ces paramétrisations et/ou proposer des modifications pour compléter ces mesures.

Le ou la candidate pourra se baser sur les outils développés lors des thèses et des stages précédents. Des premiers résultats ont été extraits à partir d'images en température et en luminance [Jaffré, 2025] et des travaux sur les méthodes d'analyse permettent d'extraire les principales caractéristiques de ces ondes [Froissart, 2025]. Devant le volume important de données, des traitements automatiques par IA ont permis d'estimer la qualité d'une nuit [Segondat, 2025].

La première étape de la thèse sera de se familiariser avec les caractéristiques du domaine étudié, à savoir le rayonnement nightglow, la haute atmosphère et la dynamique associée (les ondes de gravité en particulier). Un travail de bibliographie conséquent accompagnera cette première étape.

Le ou la candidate aura ensuite pour tâche l'utilisation des différents outils à sa disposition, sur les traitements automatiques de correction des images [Froissart, 2025], et aussi sur les outils de simulations du rayonnement (NEMO pour la partie chimie [Bellisario, 2015] et DOWRI pour la partie dynamique [Jaffré, 2025]). Ces outils ont été développés pour répondre principalement à des études de cas ponctuelles. Une généralisation des outils est donc nécessaire, en prenant en compte les hétérogénéités de ces mesures. Le ou la doctorant(e) pourra ensuite déduire une climatologie de l'évolution du rayonnement nightglow à partir des mesures disponibles et traitées. Cette climatologie sera à confronter avec des données externes, soit observées *in situ* (données LIDAR), soit issues d'observations spatiales (instruments SABER, AWE), soit issues de modèles globaux (ICON pour la petite échelle, MSIS pour les variables climatologiques), et de la littérature scientifique.

Des méthodes de traitements permettant l'extraction automatique des paramètres caractéristiques des phénomènes dynamiques (période, longueur d'onde, vitesses de phase/groupe) seront à établir en accord avec les spécificités des observations. En particulier, la mise en relation des variations de luminance observées dans la climatologie avec les ondes de gravité qui en sont à l'origine permettra d'en extraire des spectres de densité atmosphérique. L'analyse de ces résultats permettra de dériver des formulations analytiques reliant les mesures du rayonnement nightglow à l'estimation de l'impact des ondes de gravité dans la haute atmosphère.

La dernière étape consistera à relier la climatologie produite aux paramétrisations utilisées dans les modèles climatiques et à regarder si les modèles récents (ICON, WACCM, RACCORD) contribuent à améliorer la représentativité des observations [Toghraei et al., 2025].

Cette thèse rejoint le cadre du Projet de Recherche VALHALLA qui s'intéresse entre autres à la variabilité locale des proxys atmosphériques (luminance, température, ...) induits par la dynamique. Les perturbations engendrées se répercutent sur l'intensité du rayonnement airglow propagée au niveau du sol qui permet la vision nocturne à l'aide de caméras proche infrarouge.

Références :

- Achatz, U., and Coauthors, 2024: Atmospheric Gravity Waves: Processes and Parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 81, 237–262, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-23-0210.1>.
- Bellisario C., Modélisation du rayonnement proche infrarouge émis par la haute atmosphère : étude théorique et observationnelle, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Saclay - <http://www.theses.fr/s141977> -
- Derelle, S., Simoneau, P., Deschamps, J., Rommeluère, S., Hersé, M., Moreels, G., De Borniol, E., Pacaud, O., "Development of low-flux SWIR radio-imaging systems to study nightglow emission," *Proc. SPIE* 8353, *Infrared Technology and Applications XXXVIII*, 83533P (1 May 2012); <https://doi.org/10.1117/12.919995>
- Froissart, P.-Y., Imagerie Airglow et modélisation associée des tsunamis et des ondes de Rayleigh, Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Cité - <https://theses.fr/s348915> -
- Jaffré, E., Impact des perturbations atmosphériques et de leur propagation dans la Mésosphère-Basse Thermosphère, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Saclay - <https://theses.fr/s356079> -
- Le Dû, T., Observations multi-instrumentales pour l'étude de la dynamique atmosphérique dans la haute atmosphère, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Saclay - <https://theses.fr/2020UPASJ003> -
- Segondat, P., Caractérisation des ondes atmosphériques induites par des phénomènes météorologiques extrêmes à partir d'imagerie proche infrarouge de la mésosphère, Stage de fin d'étude.
- Toghraei, I., Lott, F., Köhler, L., Stephan, C. C., & Alexander, M. J. (2025). Can parameterizations reproduce the gravity wave momentum fluxes and drag simulated by a global high-resolution model? *Geophysical Research Letters*, 52, e2025GL115499. <https://doi.org/10.1029/2025GL115499>

Collaborations envisagées :

LATMOS, IPSL

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Christophe Bellisario

Tél. : 01 80 38 63 64 Email : christophe.bellisario@onera.fr

Directeur de thèse :

Nom : Philippe Keckhut

Laboratoire : LATMOS/UVSQ

Tél. : 01 80 28 52 50

Email : philippe.keckhut@latmos.ipsl.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>