

**STAGE DE RECHERCHE de MASTER 2<sup>ème</sup> ANNEE**  
**MasterMOCIS / WAPE**  
Année Universitaire 2021-2022

**LABORATOIRE :**

**Centre National de Recherches Météorologiques, Météo-France, Toulouse**

**SUJET DU STAGE :**

Impact des propriétés radiatives des nuages de glace dans l'infrarouge lointain sur la modélisation du climat

**COORDONNEES DU RESPONSABLE :**

Romain Roehrig,	Chercheur à Météo-France,	<a href="mailto:romain.roehrig@meteo.fr">romain.roehrig@meteo.fr</a> ,	05 61 07 97 62
Jean-Louis Dufresne,	Chercheur CNRS,	<a href="mailto:jean-louis.dufresne@lmd.ipsl.fr">jean-louis.dufresne@lmd.ipsl.fr</a> ,	01 44 27 50 14
Quention Libois,	Chercheur à Météo-France,	<a href="mailto:quentin.libois@meteo.fr">quentin.libois@meteo.fr</a> ,	05 61 07 96 91

**NATURE DU SUJET :**

Théorie	<del>Pas du tout</del>	Un peu	Beaucoup
Modélisation num.	<del>Pas du tout</del>	Un peu	Beaucoup
Expérimentation	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Analyse de données	<del>Pas du tout</del>	Un peu	Beaucoup
Instrumentation	Pas du tout	Un peu	Beaucoup

**POURSUITE :**

Ce stage peut-il donner lieu à un sujet de thèse ? Oui

*Noter que le stage de M2 peut être totalement indépendant du sujet de thèse.*

**SUJET :**

Le bilan radiatif de l'atmosphère, sa structure spatiale et sa variabilité temporelle sont des moteurs essentiels du climat, de sa variabilité, et de sa réponse à différents forçages externes (comme l'augmentation des gaz à effet de serre due aux activités humaines). Ce bilan radiatif est de fait un élément central dans la modélisation du climat. Il est la plupart du temps décomposé selon deux gammes de longueurs d'onde, correspondant respectivement au spectre solaire (UV, visible, proche infrarouge) et au spectre tellurique (essentiellement infrarouge). Les modèles de transfert radiatif utilisés dans les modèles de climat décomposent à nouveau chacun de ces deux spectres en plusieurs bandes plus petites qui sont alors traitées de manière séparée. Le nombre de bandes est un compromis entre efficacité et précision des calculs radiatifs associés. Pourtant, l'évaluation des composantes du bilan radiatif du système climatique dans un modèle de climat se fait généralement à l'aide de produits dérivés d'observations spatiales dits à bande large (e.g., CERES-EBAF, Loeb et al. 2018), c'est-à-dire

que ces produits quantifient les flux radiatifs intégrés sur l'ensemble soit du spectre solaire, soit du spectre tellurique. En conséquence l'évaluation de la distribution spectrale des flux radiatifs simulés par un modèle de climat est rarement réalisée, alors qu'elle peut révéler des compensations d'erreurs importantes (e.g., Huang et al. 2008). Par ailleurs le rôle de cette distribution spectrale et de son impact sur le climat reste peu étudié (e.g., Yi et al. 2013). C'est particulièrement le cas pour l'infrarouge lointain (longueurs d'onde au-delà de 15  $\mu\text{m}$ ), région du spectre pour laquelle on ne dispose pas à l'heure actuelle de mesures spectralement résolues, et qui est fortement impactée par les nuages de glace et la spectroscopie de la vapeur d'eau et du  $\text{CO}_2$ . C'est dans ce contexte que la mission spatiale FORUM a été sélectionnée par l'ESA pour être le 9<sup>ème</sup> Earth Explorer (lancement prévu en 2026). FORUM couvrira l'ensemble du spectre infrarouge à haute résolution spectrale. Ce stage contribue à la préparation de cette mission, et au projet scientifique du même nom soutenu par le CNES. Son objectif est d'analyser comment les propriétés optiques des nuages de glace dans l'infrarouge lointain impactent le système climatique, en s'appuyant pour cela sur des simulations climatiques dans lesquelles les processus radiatifs interagissent avec l'ensemble des autres processus atmosphériques.

Pour cela, le candidat utilisera la composante atmosphérique du modèle de climat du CNRM (ARPEGE - Roehrig et al. 2020) pour :

1. Quantifier la contribution de l'infrarouge lointain au bilan radiatif terrestre en analysant les sorties par bandes du code radiatif ;
2. Caractériser sa sensibilité aux propriétés radiatives des nuages de glace, à l'aide d'expériences numériques dans lesquelles différentes paramétrisations de ces propriétés seront utilisées : celles actuellement disponibles dans le modèle ARPEGE et celles associées à des travaux plus récents (e.g., Yang et al. 2013, Baran et al. 2014) qui seront implémentées ;
3. Étudier les rétroactions de cette partie du spectre infrarouge sur le climat, son état moyen et sa variabilité.

Le candidat réalisera et exploitera des simulations climatiques pluriannuelles réalisées à l'aide d'ARPEGE. Il aura aussi à sa disposition des simulations réalisées avec le modèle de climat de l'IPSL (Hourdin et al. 2020). La comparaison des deux modèles permettra ainsi d'analyser la robustesse des résultats obtenus.

#### Bibliographie :

Baran et al., 2014: A coupled cloud physics-radiation parameterization of the bulk optical properties of cirrus and its impact on the Met Office Unified Model Global Atmosphere 5.0 configuration. *Journal of Climate*, **27**(20), 7725-7752.

Hourdin et al. 2020: LMDZ6A: The atmospheric component of the IPSL climate model with improved and better tuned physics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, **12**(7), e2019MS001892,

Huang et al., 2008: Spectrally resolved fluxes derived from collocated AIRS and CERES measurements and their application in model evaluation: Clear sky over the tropical oceans. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **113**, D09110.

Loeb et al. 2018: Clouds and the earth's radiant energy system (CERES) energy balanced and filled (EBAF) top-of-atmosphere (TOA) edition-4.0 data product. *Journal of Climate*, **31**(2), 895-918.

Roehrig et al., 2020: The CNRM Global Atmosphere Model ARPEGE-Climat 6.3: Description and Evaluation. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, **12**(7), e2020MS00207.

Yang et al., 2013: Spectrally consistent scattering, absorption, and polarization properties of atmospheric ice crystals at wavelengths from 0.2 to 100  $\mu\text{m}$ . *Journal of Atmospheric Sciences*, **70**(1), 330-347.

Yi et al., 2013: Influence of ice particle surface roughening on the global cloud radiative effect. *Journal of Atmospheric Sciences*, **70**(9), 2794-2807.