

**PROPOSITION DE POST-DOCTORAT**

**Intitulé : Méthode de transfert radiatif rapide pour la prise en compte de mélanges de gaz atmosphériques et de situations hors équilibre thermodynamique local**

Référence : **PDOC-DOTA-2022-03**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début du contrat** : à partir de janvier 2022

**Date limite de candidature** : 1<sup>er</sup> décembre 2022

**Durée** : 18 mois - Salaire net : environ 25 k€ annuel

**Mots clés :**

Spectroscopie, transfert radiatif, propagation atmosphérique

**Profil et compétences recherchées :**

Compétences souhaitées :

Titulaire d'un doctorat, le candidat devra justifier de compétences dans au moins un des domaines suivant:

- physique atmosphérique,
- transfert radiatif et inversion,
- spectroscopie moléculaire.

Le sujet nécessite un goût prononcé pour le calcul numérique et des compétences en programmation sont requises.

**Présentation du projet post-doctoral, contexte et objectif :**

Une description précise de l'état de l'atmosphère terrestre est devenue indispensable dans un contexte d'évolution globale du climat. Elle repose sur l'utilisation de modèles de transfert radiatif couplés à des méthodes robustes d'inversion pour identifier les caractéristiques de l'atmosphère, comme les profils de température et de concentrations en espèces gazeuses, à partir de mesures produites par des systèmes de détection actifs ou passifs, embarqués sur des plateformes satellites ou aéroportées ou des ballons sondes. Cependant, le volume de données de télédétection croît de façon exponentielle depuis plusieurs années, au point que leur traitement devient délicat même au regard des moyens de calcul actuels. Le développement de nouvelles méthodes sont nécessaires pour convertir les mesures en paramètres géophysiques exploitables et fiables.

Pour répondre à cette problématique, le consortium constitué d'équipes du CETHIL, du LOA et de l'ONERA a obtenu un financement de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour développer des méthodes originales spécialement dédiées au traitement opérationnel de données de télédétection.

Les travaux s'appuieront sur une approche innovante, appelée approche en  $\ell$ -distributions [1], dont l'étude de faisabilité préalable a permis de démontrer l'apport significatif à la fois en temps de calcul (les temps de calculs sont 500 fois inférieurs à ceux obtenus en utilisant un code raie par raie) et en précision absolue (meilleure que 1%). L'objectif des travaux sera de coupler cette approche à une approche fondée sur une tabulation stochastique des  $\ell$ -distributions. Cette méthode de tabulation stochastique a été développée pour le code de transfert radiatif rapide MATISSE [2, 3]. Elle permettra de s'affranchir d'une pré-génération des  $\ell$ -distributions en s'appuyant sur un code raie par raie chronophage. Dans un premier temps, on considèrera une géométrie en visée au limbe et une atmosphère à l'équilibre thermodynamique local. Ce scénario permettra de comparer les résultats obtenus à ceux obtenus avec une approche en  $\ell$ -distributions (en termes de temps de calcul et de précision). Dans un second temps, le scénario choisi portera sur une situation de visée au limbe où l'équilibre thermodynamique local est rompu par l'occurrence d'un phénomène lumineux transitoire (Transient Luminous Event, TLE, en anglais).

Découverts au début des années 1990, les phénomènes lumineux transitoires sont des flashes lumineux visibles d'une durée inférieure à la seconde se produisant le plus souvent au-dessus des orages. En fonction de leur altitude, de leur durée et de leur forme, les TLEs prennent différentes appellations (Sprites, Halos, Blue Jets et Elves par exemple). Ces structures génèrent des électrons qui présentent des énergies suffisantes pour ioniser, dissocier et exciter les niveaux vibrationnels des molécules atmosphériques. Elles initient ainsi une chaîne de réactions moléculaires qui aboutit à une perturbation de la composition atmosphérique ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}^+$ ,  $\text{O}_3$ , ...).

Pour modéliser l'impact des Sprites sur les luminances atmosphériques, l'hypothèse d'une répartition des différents niveaux vibrationnels suivant une statistique de Maxwell-Boltzmann n'est plus réaliste. Il est nécessaire de considérer individuellement chaque population vibrationnelle : on parle de Non Equilibre Thermodynamique Local (Non-ETL ou NETL). Le ou la candidat(e) sélectionné(e) s'appuiera alors sur le modèle de cinétique vibrationnelle qui a été développé dans l'équipe afin de modéliser les luminances atmosphériques correspondant aux températures vibrationnelles des principales bandes des espèces excitées produites à la suite d'un TLE. Il utilisera pour cela l'approche en  $\ell$ -distributions développée lors de la première partie des travaux.

Le déroulement des travaux sera le suivant :

- Après une analyse bibliographique, et une prise en main des outils et modèles de génération stochastique de  $\ell$ -distributions disponibles à l'ONERA, et de l'algorithme de génération de  $\ell$ -distributions, il s'agira de réaliser une tabulation stochastique des  $\ell$ -distributions et de comparer les coefficients d'absorption (et transmissions en atmosphère inhomogène) calculés avec une approche raie par raie, une approche en  $\ell$ -distributions, en  $\ell$ -distributions fondée sur une tabulation stochastique, en  $\ell$ -distributions et en  $\ell$ -distributions fondées sur une tabulation stochastique.
- Dans un second temps, et après une seconde étape d'analyse bibliographique afin de bien comprendre la problématique du transfert radiatif hors équilibre vibrationnel et de la perturbation induite par les sprites sur les luminances atmosphériques, il s'agira d'adapter l'outil développé en première partie aux calculs de transmission NETL. On s'appuiera pour cela sur un modèle de cinétique vibrationnelle préexistant au DOTA.

Les travaux seront valorisés dans le cadre d'une conférence internationale et d'une publication dans une revue à comité de lecture de rang A.

- [1] André, F. The I-distribution method for modeling non-gray absorption in uniform and non-uniform gaseous media, *JQSRT* 2016;179:19-32.
- [2] Labarre, L., Caillault, K., Fauqueux, S., Malherbe, C., Roblin, A., Rosier, B., Simoneau, P. An overview of MATISSE-v2.0, Proc. SPIE 7828, Optics in Atmospheric Propagation and Adaptive Systems XIII, 782802 (11 October 2010); <https://doi.org/10.1117/12.868183>.
- [3] Croizé, L., Pierro, J., Huet, T., Labarre, L., 2016, Fast Correlated K-distributions Generation for the Acceleration of MATISSE Radiative Transfer, in: Light, Energy and the Environment, Paper HM3F.3. Presented at the Hyperspectral Imaging and Sounding of the Environment, Optical Society of America, p. HM3F.3, doi:10.1364/HISE.2016.HM3F.3.

### Collaborations extérieures

CETHIL, LOA

### Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Département d'Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

**Contact** : laurence.croize@onera.fr

Tél. 01 80 38 63 49

Email : [laurence.croize@onera.fr](mailto:laurence.croize@onera.fr)