

Sujet de Thèse

Analyse des simulations du changement climatique : la physique du forçage radiatif, son formalisme integral et son échantillonnage statistique.

April 17, 2019

Correspondants :

- Laboratoire Laplace CNRS UMR5213, UT3, INP Toulouse :
 - **stephane.blanco@laplace.univ-tlse.fr, tel : 0561556003**
 - **richard.fournier@laplace.univ-tlse.fr, tel : 0561556003**
- Laboratoire de Météorologie Dynamique CNRS UMR8539, UPMC, ENS, Ecole Polytechnique:
 - **jean-louis.dufresne@lmd.jussieu.fr, tel : 0144275014**
- Institut de Recherche en Informatique de Toulouse CNRS UMR5505, UT3, UT2J, UT1, INP Toulouse :
 - **nicolas.mallado@irit.fr, tel : 0561557390**
 - **mathias.paulin@irit.fr, tel : 0561558329**

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet national MCG-Rad (descriptif sur demande) qui implique six laboratoires de recherche et une entreprise autour d'une question issue de la communauté de recherche en science du climat : analyser le bilan d'énergie global (le rayonnement solaire absorbé moins le rayonnement thermique émis vers l'espace), intégré sur une période climatique de l'ordre de la centaine d'année, et enrichir notre compréhension de l'influence de la concentration des gaz à effet de serre sur la dynamique du changement climatique.

Les chercheurs impliqués sont physiciens, informaticiens, mathématiciens et climatologues et la thèse se situera résolument à l'interface de toutes ces disciplines.

Face à un tel objectif d'analyse, la difficulté principale est de combiner des informations à des échelles spatiales et temporelles aussi éloignées que celles de l'absorption/emission d'un photon par une molécule de CO₂, H₂O ou CH₄ (spectres de raies des gaz moléculaires) et celle de la planète entière dans sa dynamique climatique.

Le point de départ est donc une physique moléculaire (banques de données spectroscopiques) combinée à une donnée climatique (issue de modèles de prévision du changement climatique) et le coeur de la question est de penser l'ensemble, afin de concevoir de nouveaux outils d'analyse. Ces outils seront ensuite développés par l'entreprise partenaire (spécialiste de la physique du rayonnement et de l'informatique graphique) à destination de la communauté des climatologues.

Les outils dont il est ici question sont des outils de simulation numérique de type Monte Carlo, inspirés de ceux employés aujourd'hui par l'industrie du cinéma pour produire des images de synthèses de scènes réalistes (rendu physiquement réaliste). La thèse se situe en amont du développement de ces outils. La méthode de Monte Carlo demande en effet un travail approfondi de formulation intégrale et d'analyse des propriétés de l'espace géométrique correspondant, la combinaison de chacun des espaces d'intégration définissant un espace de

dimension infinie dont la représentation est difficile (intégration sur tout le globe, sur une centaine d'années, sur toutes les fréquences de l'infrarouge à l'ultraviolet, sur les chemins de diffusion multiple au sein des nuages, etc). Les idées défendues concerneront donc le choix d'une formulation intégrale particulière et seront construites sur la base des savoir-faire conjoints

- des physiciens du rayonnement (choix argumentés à partir des représentations disponibles dans la communauté du transfert radiatif),
- et des mathématiciens/informaticiens (choix argumentés à partir d'une analyse des propriétés de l'espace géométrique).

et cela se fera bien sûr en lien direct avec le besoin exprimé par les climatologues. L'étudiant en thèse sera donc en contact régulier avec ces trois communautés.

Ce travail s'inscrit en continuité des propositions issues de notre groupe de recherche depuis plus de quinze ans; ces travaux ont permis de lever des verrous importants, notamment sur le traitement par la méthode de Monte Carlo des questions associées à la difficulté calculatoire que représente la gestion des hétérogénéités spatiales des propriétés radiatives. Ces idées sont d'ores et déjà reprise par Disney Recherche pour le rendu des scènes nuageuses complexes. Dans cette filiation conceptuelle, les travaux de thèse de Mathieu Galtier ont permis de faire émerger une proposition originale pour aborder directement la question de la complexité des spectres de raies moléculaires dans le calcul du transfert radiatif par la méthode de Monte Carlo. Le présent travail s'appuiera dans toute une première phase sur ces idées théoriques mais également sur des codes de calcul existants qui en propose une première mise en oeuvre.

Selon le profil de l'étudiant, l'accent central de la thèse sera ajusté sur le coeur de sa compétence initiale et les éléments qui lui sont inconnus seront l'objet d'un accompagnement étroit et d'une formation intensive pendant les deux premières années de thèse. Le déroulé de la thèse sera donc construit à partir des besoins de l'étudiant et nous n'avons aucune préférence en ce qui concerne son profil. Qu'il s'agissent de physiciens, informaticiens ou mathématiciens, nous considèrerons toutes les candidatures affichant un intérêt pour une recherche au voisinage de ces trois disciplines.

References

Eymet, V., D. Poitou, M. Galtier, M. El Hafi, G. Terree, and R. Fournier. 2013. "Null-Collision Meshless Monte-Carlo-Application to the Validation of Fast Radiative Transfer Solvers Embedded in Combustion Simulators." *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 129: 145–57.

Galtier, M., S. Blanco, C. Caliot, C. Coustet, J. Dauchet, M. El Hafi, V. Eymet, et al. 2013. "Integral formulation of null-collision Monte Carlo algorithms." *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 125 (April): 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2013.04.001>.

Kutz, Peter, Ralf Habel, Li Yining Karl, and Jan Novák. 2017. "Spectral and Decomposition Tracking for Rendering Heterogeneous Volumes." *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2017)* 36 (4): 111:1–111:16. <https://doi.org/10.1145/3072959.3073665>.

Galtier, Mathieu. 2014. "Approche statistique du rayonnement dans les milieux gazeux hétérogènes : de l'échantillonnage des transitions moléculaires au calcul de grandeurs radiatives." Theses, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01165256>.

Villefranche, Najda, Fleur Couvreur, Richard Fournier, Stéphane Blanco, Céline Cornet, Vincent Eymet, Vincent Forest, and Jean-Marc Tregan. 2019. "Path-tracing Monte Carlo Libraries for 3D Radiative Transfer in Cloudy Atmospheres." *arXiv E-Prints*, February, arXiv:1902.01137. <http://arxiv.org/abs/1902.01137>.