

Écoulements hypersoniques et atmosphères exoplanétaires

Lyam Rolland Roignant¹, Solène Perot¹, Julien Lecomte¹, Nicolas Suas-David¹, Lucile Rutkowski¹, Michaël Rey², Eszter Dudás³, Robert Georges^{1*}

¹ Institut de physique de Rennes, UMR CNRS 6251, Université de Rennes, Rennes, France

² Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR CNRS 6303, Université de Bourgogne Europe, Dijon, France

³ Laboratoire Collisions Agrégats Réactivité, UMR CNRS 5589, Université de Toulouse, Toulouse, France

Les moyens d'observation modernes, tels que le télescope spatial James Webb, fournissent des spectres infrarouges haute résolution d'atmosphères d'exoplanètes d'une qualité inédite. Ils révèlent sans ambiguïté la présence d'espèces moléculaires - CO, CO₂, H₂O, CH₄ - dans l'atmosphère de « jupiters chauds » dont la température peut dépasser 1000 K. Les codes de transfert radiatif, utilisés pour extraire des profils de concentration et de température des atmosphères sondées, s'appuient sur des modèles théoriques simulant les signatures spectrales de ces molécules à haute température. Des données expérimentales infrarouges mesurées en laboratoire à haute température sont donc indispensables pour construire et valider en amont ces modèles théoriques.

Le dispositif SMAUG [1], développé à Rennes, produit des écoulements hypersoniques présentant une température rotationnelle très basse (inférieure à 40 K) et une température vibrationnelle très élevée (typiquement 1000 K). La grande sensibilité de la technique CRDS (cavity ringdown spectroscopy) s'avère idéale pour sonder ces écoulements et identifier les bandes vibrationnelles de molécules clés dans la gamme 1,5 – 1,7 μm . Ce dispositif a été intensivement employé pour produire les spectres infrarouges du méthane [2,3] et, plus récemment, de l'éthylène [4,5]. La basse température rotationnelle simplifie la structure des bandes et leur analyse, tandis que la température vibrationnelle élevée permet d'accéder à des états vibrationnels excités.

Parallèlement, une approche expérimentale complémentaire est en cours de développement : sonder, par CRDS, une couche de choc stationnaire où les degrés de liberté rotationnels et vibrationnels s'équilibrent, afin d'obtenir des spectres haute température cette fois à l'équilibre thermodynamique.

[1] E. Dudás, N. Suas-David, S. Brahmachary, V. Kulkarni, A. Benidar, S. Kassı, C. Charles, R. Georges, *J. Chem. Phys.*, **152**(13), 134201 (2020). <https://doi.org/10.1063/5.0003886>

[2] E. Dudás, B. Vispoel, R. R. Gamache, M. Rey, V. G. Tyuterev, A. V. Nikitin, S. Kassı, N. Suas-David, R. Georges, *Icarus*, **394**, 115421 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.115421>

[3] L. Rolland Roignant, E. Dudás, N. Suas-David, M. Rey, S. Kassı, A. V. Nikitin, R. Georges, *JQSRT*, **347**, 109656 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2025.109656>

[4] S. Perot, J. Lecomte, N. Suas-David, L. Rutkowski, M. Rey, S. Kassı, A. V. Nikitin, R. Georges, *JQSRT*, **324**, 109065 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2024.109065>

[5] S. Perot, J. Lecomte, N. Suas-David^a, L. Rutkowski, M. Rey, E. Dudás, R. Georges, *Analysis of a non-LTE hypersonic spectrum of ethylene between 5880 and 6200 cm⁻¹*, soumis à *J. Chem. Phys.*

* correspondant : robert.georges@univ-rennes.fr