

# Processus de surface et fluctuations de température des grains : formation et conversion ortho-para de H<sub>2</sub>

**Emeric Bron<sup>1,2</sup>, Jacques Le Bourlot<sup>1,2,3</sup> et Franck Le Petit<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *LERMA, Observatoire de Paris, PSL Research University, CNRS, UMR8112, F-75014, Paris, France*

<sup>2</sup> *Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, UMR8112, LERMA, F-75005, Paris, France*

<sup>3</sup> *Université Paris Diderot, Paris, France*

*e-mail : [emeric.bron@obspm.fr](mailto:emeric.bron@obspm.fr)*

Les grains de poussière interstellaire jouent un rôle majeur dans l'évolution chimique des nuages denses, en hébergeant à leur surface un grand nombre de processus chimiques. C'est en particulier à leur surface que se forme H<sub>2</sub>, permettant ainsi la transition d'un gaz atomique à un gaz moléculaire dans lequel des étoiles peuvent se former. H<sub>2</sub> constitue de plus, par ses raies d'émission, un important outil de diagnostic de la région de transition atomique/moléculaire au bord des nuages denses (PDR, *photo-dissociation region*). La compréhension de l'état d'excitation de H<sub>2</sub> requiert en particulier un traitement détaillé des mécanismes de conversion entre les isomères de spin ortho et para du dihydrogène, dont l'un des plus importants a également lieu par interaction avec la surface des grains.

Malgré de nombreux travaux pour mieux comprendre les mécanismes de formation et d'excitation de H<sub>2</sub>, les modèles actuels restent en désaccord avec les observations de H<sub>2</sub> par ISO et SPITZER dans les PDRs. Les observations montrent en effet une formation de H<sub>2</sub> très efficace dans les PDRs [1] malgré des grains chauds, en contradiction avec les travaux expérimentaux qui trouvent une formation inefficace dès que la température des grains excède ~20K [2]. L'introduction dans les modèles de processus de formation basés sur la chimisorption a permis d'obtenir un meilleur accord avec les observations [3], mais des désaccords importants subsistent, en particulier dans les PDRs à flux UV faibles ou modérés, et qui semblent liés aux processus de conversion ortho-para.

Un aspect important a jusqu'à présent été négligé dans la modélisation de ces processus de surface : les plus petits grains, qui représentent la majeure partie de la surface de poussière disponible, voient leur température fluctuer sous l'effet de l'absorption de photons UV individuels. Ces fluctuations ne sont prises en compte ni dans les expériences en laboratoire, où les variations de température sont lentes, ni dans les modèles actuels d'astrochimie. Or ces fluctuations peuvent maintenir hors d'équilibre les processus de surface et modifier fortement leur efficacité.

J'ai donc développé un modèle statistique de ces processus, décrivant l'évolution de la PDF de l'état de la surface par une équation maîtresse. Je présenterai ici l'application de cette méthode à la formation de H<sub>2</sub> à la surface des grains [4] ainsi qu'à la conversion ortho-para. Je montrerai en particulier comment ces fluctuations de température rendent ces processus efficaces dans les régions exposées aux UV, où les grains sont en moyenne chauds mais passent une grande fraction de leur temps à basse température. Cet effet rend l'efficacité des processus beaucoup moins sensibles aux paramètres microphysiques (énergie de liaison, etc.) mal connus. Enfin, le couplage de ce calcul au code PDR de Meudon permet de confronter ces résultats aux observations de H<sub>2</sub> dans les PDRs.

[1] E. Habart, A. Abergel, F. Boulanger, C. Joblin, L. Verstraete, M. Compiègne, G. Pineau Des Forêts, J. Le Bourlot, *Excitation of H<sub>2</sub> in photodissociation regions as seen by Spitzer*, 2011, A&A, **527**, A122

[2] N. Katz, I. Furman, O. Biham, V. Pirronello, G. Vidali, *Molecular Hydrogen Formation on Astrophysically Relevant Surfaces*, 1999, *ApJ.*, **522**, 1, p305

[3] J. Le Bourlot, F. Le Petit, C. Pinto, E. Roueff, F. Roy, *Surface chemistry in the interstellar medium. I. H<sub>2</sub> formation by Langmuir-Hinshelwood and Eley-Rideal mechanisms*, 2012, *A&A*, **541**, A76

[4] E. Bron, J. Le Bourlot, F. Le Petit, *Surface chemistry in the interstellar medium. II. H<sub>2</sub> formation on dust with random temperature fluctuations*, 2014, *A&A*, **569**, A100