

## Proposition de Stage de M2 / Thèse

Ecole Doctorale : Science de la matière (SDM) – Université Toulouse 3 - Paul Sabatier

Spécialité : Physique

Unité de Recherche : LCAR – Laboratoire Collisions Agrégats et Réactivité

Equipe : Interactions Ions – Matière

Stage : entre Mai et Juillet, Thèse possible à l'issue (bourse de l'école doctorale).

Début possible de thèse : 01 / 10 / 2025

Directeur de Stage / Thèse : Jean-Philippe CHAMPEAUX (05 61 55 64 10 / [jpc@irsamc.ups-tlse.fr](mailto:jpc@irsamc.ups-tlse.fr))

### Titre :

« Étude expérimentale des interactions entre vents stellaires et molécules carbonées dans les environnements circumstellaires »

### Contexte scientifique :

L'étude de la composition des nuages interstellaires et circumstellaires, menée grâce à des télescopes spatiaux tels que le nouveau télescope James Webb, a révélé la présence de matière organique complexe. Les signatures spectrales infrarouges observées semblent compatibles avec des espèces moléculaires de type hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH). D'autres espèces cationiques, comme les fullerènes  $C_{60}^+$  ou  $CH_3^+$  [2,3], ont également été récemment identifiées dans ces environnements.

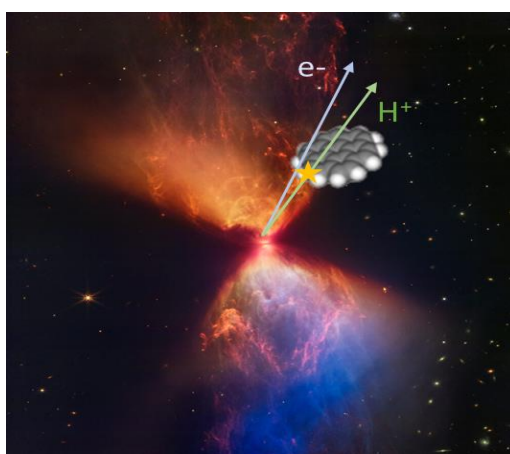


Figure 1 : Crédit © James Webb Telescope NIRCам, protoétoile L1527 dans la constellation du Taureau

Cependant, la physico-chimie de ces molécules dans les environnements spatiaux reste mal comprise. Comment ces molécules ou cations sont-ils produits ? Quel rôle joue le rayonnement stellaire, au sens large, dans leur cycle de vie ? Existe-t-il une corrélation entre certaines grandes espèces carbonées éloignées des étoiles et de plus petites espèces localisées à proximité de ces mêmes étoiles ?

Bien que des mécanismes de photochimie X-UV [4] aient été proposés pour expliquer la formation de certaines de ces espèces moléculaires, la physico-chimie des milieux circumstellaires sous l'influence des vents stellaires dans des systèmes compacts est encore très peu explorée. Pourtant, ces vents stellaires constituent une source intense de rayonnement énergétique, capable d'induire

des processus [5] tels que des changements de conformation moléculaire, l'ionisation, la dissociation [6], la production de sous-espèces, voire des réactions chimiques induites.

### Cadre du stage / thèse :

Cette thèse se déroulera au LCAR, au sein de l'équipe Interaction Ion-Matière(1 EC, 1C CNRS, 1 post doc), sous la direction de J.-P. Champeaux,. Elle aura pour objectif développement et l'exploitation du dispositif expérimental SWEET, destiné à une étude quantitative des processus de relaxation moléculaire consécutifs à une interaction unique entre une molécule isolée (par exemple un PAH) et une particule chargée, comme un proton (keV) ou un électron (eV), représentatifs des vents stellaires.

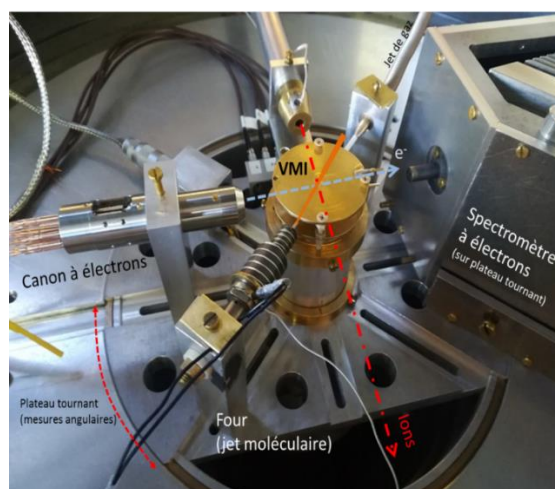


Figure 2 : « Expérience SWEET développée au LCAR par l'équipe I<sup>2</sup>M »

Ce dispositif (figure 2) permettra notamment des mesures précises des sections efficaces absolues [1] associées à ces processus. Outre leur impact potentiel pour la compréhension des environnements astrophysiques, les travaux de cette thèse revêtent également un intérêt fondamental. Ils visent en effet à étudier de manière inédite une interaction entre un système quantique neutre isolé et une particule chargée, en utilisant des techniques avancées de spectroscopie en corrélation.

### Références :

- [1] MC Ji et al., Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics 53 (22), 225207
- [2] Campbell, E.K. et al., Nature vol. 523, 322-323 (2015)
- [3] O. Berné et al., Nature, vol. 618, 134–138 (2023).
- [4] Féraud, G., et al., Physical Review Letters vol. 131, no. 23, 238001 (2023).
- [5] JP Champeaux et al. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society vol. 441 (2), 1479-1487 (2015)
- [6] JP Champeaux et al. Physical Chemistry Chemical Physics 25 (22), 15497-15507 (2023)

### Compétences souhaitées :

Solides connaissances en physique fondamentale et physique atomique et moléculaire, gout pour l'instrumentation et le développement instrumentale. De bonnes notions en astrophysique sont un plus.

Niveau d'anglais : B2

## Proposition of M2 Internship / Thesis

Ecole Doctorale : Science de la matière (SDM) – Université Toulouse 3 - Paul Sabatier

Spécialité : Physique

Unité de Recherche : LCAR – Laboratoire Collisions Agrégats et Réactivité

Equipe : Interactions Ions – Matière

Stage : entre Mai et Juillet, Thèse possible à l'issue bourse de l'école doctorale.

Début possible de thèse : 01 / 10 /2025

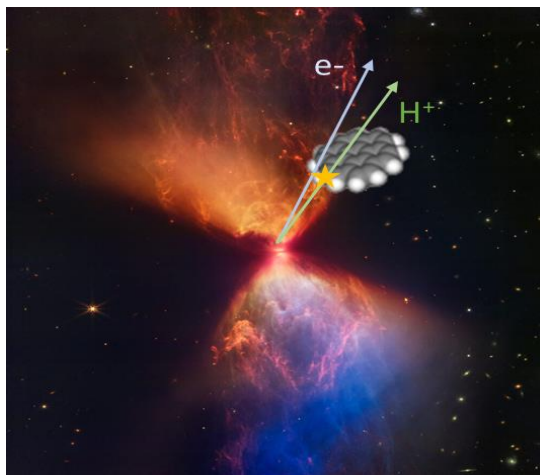
Directeur de Stage / Thèse : Jean-Philippe CHAMPEAUX (05 61 55 64 10 / [jpc@irsamc.ups-tlse.fr](mailto:jpc@irsamc.ups-tlse.fr))

### Title :

Experimental study of interactions between stellar winds and carbon molecules in circumstellar environments.

### Scientific context:

The study of the composition of interstellar and circumstellar clouds, conducted using space telescopes such as the new James Webb Space Telescope, has revealed the presence of complex organic matter. The observed infrared spectral signatures appear consistent with molecular species like polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Other cationic species, such as  $C_{60}^+$  fullerenes and  $CH_3^+$  [2,3], have also been recently identified in these environments.



**Figure 1:** « Credit © James Webb Space Telescope: NIRCam – Image of the protostar L1527 in the Taurus constellation »

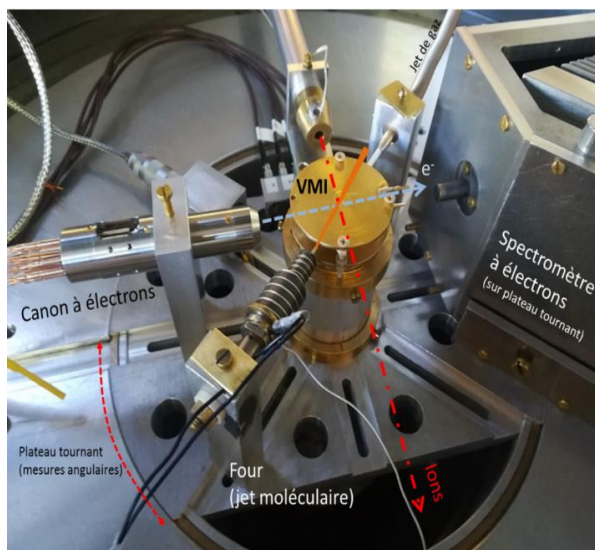
However, the physicochemical behavior of these molecules in space remains poorly understood. How are these molecules or cations produced? What role does stellar radiation, in its broadest sense, play in their life cycle? Is there a correlation between certain large carbon species located far from stars and smaller species closer to these stars?

Although X-UV photochemistry mechanisms [4] have been proposed to explain the formation of some of these molecular species, the physicochemical processes in circumstellar environments under the influence of stellar winds in compact systems remain largely unexplored. Yet, stellar winds are an intense source of energetic radiation capable of inducing processes [5] such as

molecular conformational changes, ionization, dissociation [6], the production of sub-species, and even induced chemical reactions.

### Framework of the internship / thesis :

This thesis will take place at LCAR, within the Ion-Matter Interaction team, under the supervision of J.-P. C and with the support of all team members. Its objective will be the development of the SWEET experimental setup, designed for a quantitative study of molecular relaxation processes following a single interaction between an isolated molecule (such as a PAH) and a charged particle, like a proton (keV) or an electron (eV), representative of stellar winds.



**Figure 2 :** Part of SWEET experiment developed at LCAR by the I<sup>2</sup>M team.

This setup will enable precise measurements of absolute cross sections [1] induced by ion or electron -molecule interaction processes. Beyond its potential impact on the understanding of astrophysical environments, the proposed studies in this thesis also have a fundamental aspect. They aim to investigate the interaction between an isolated neutral quantum system and a charged particle in a unique way, using advanced correlation spectroscopy techniques.

### Références :

- [1] MC Ji et al., Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics 53 (22), 225207
- [2] Campbell, E.K. et al., Nature vol. 523, 322-323 (2015)
- [3] O. Berné et al., Nature, vol. 618, 134–138 (2023).
- [4] Féraud, G., et al., Physical Review Letters vol. 131, no. 23, 238001 (2023).
- [5] JP Champeaux et al. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society vol. 441 (2), 1479-1487 (2015)
- [6] JP Champeaux et al. Physical Chemistry Chemical Physics 25 (22), 15497-15507 (2023)

### Desired skills:

Solid knowledge of fundamental physics and atomic and molecular physics, with a strong interest in instrumentation. Basic knowledge of astrophysics is a plus

English level : B2