

Arrêter des atomes

Un projet conjoint de chercheurs brésiliens et français développe des techniques pour refroidir et capturer des molécules ultrafroides

MARCOS PIVETTA

Montage des lasers utilisés à l'IFSC pour refroidir des molécules

En 1992, alors qu'il était doctorant en stage à l'Université nord-américaine de Maryland, le physicien brésilien Luis Marcassa a fait la connaissance d'Olivier Dulieu, un collègue français qui se trouvait pour un temps au National Institute of Standards and Technology (NIST) sur le campus de Gaithersburg, une ville voisine de l'université. Les deux hommes se sont liés d'amitié et sont devenus de proches collaborateurs. Dans les années 1990, ils ont publié ensemble quelques articles scientifiques sur les collisions de molécules et d'atomes ultrafroids, maintenus à des températures proches du zéro absolu ou zéro Kelvin (-273,15 °C).

Au fil du temps, la collaboration est devenue occasionnelle et les travaux communs plus rares. Marcassa a poursuivi sa carrière à l’Institut de physique de São Carlos de l’Université de São Paulo (IFSC-USP). Dulieu a continué ses recherches au Laboratoire Aimé Cotton (LAC) de l’Université Paris-Saclay, dont il est aujourd’hui le directeur. Mais au début de la dernière décennie, les deux chercheurs ont repris leur ancien partenariat, désormais de manière plus systématique.

La coopération repose sur une division du travail qui s’appuie sur le point fort des deux groupes. Les expérimentations sont faites à São Carlos et la partie théorique des études à Paris. Marcassa coordonne actuellement un projet en partenariat avec les membres du LAC : « Ils nous aident à concevoir les expériences et à interpréter les résultats. [...] C'est l'un des meilleurs groupes de physique théorique sur les molécules et les atomes froids au monde ».

Dans le cadre de cette coopération, la partie des études réalisée à l’IFSC est financée par la FAPESP et celle réalisée au laboratoire de Paris par l’Agence nationale de la recherche (ANR). La physicienne Nadia Bouloufa-Maafa, du LAC, coordonne la partie française du projet : « L’équipe de Marcassa a une longue tradition d’expériences dans le domaine des collisions froides. [...] Nos groupes ont des compétences complémentaires. »

L’objectif principal du projet commun est de créer de nouvelles techniques laser et perfectionner celles déjà connues pour refroidir et piéger des molécules composées de deux atomes de rubidium (Rb_2), un métal alcalin extrêmement réactif, dans ce que l’on appelle l’état fondamental. En mécanique quantique, la théorie qui décrit le comportement de la lumière et de la matière à l’échelle atomique et subatomique, cet état correspond à l’énergie la plus basse qu’un système puisse présenter.

Dans cette condition, les molécules et les atomes ne sont pas excités (activés). Ils n’ont pas d’excès d’énergie et réduisent au maximum deux types de mouvements : la vibration et la rotation. Pour atteindre cet état également appelé équilibre stationnaire, dans lequel le système n’a pas d’énergie supplémentaire à perdre sous forme de chaleur ou de lumière, la molécule de rubidium doit être refroidie à des températures d’environ 10 millionièmes de degrés au-dessus du zéro absolu.

Conserver des molécules dans leur état fondamental va stimuler les études sur la nature complexe des collisions entre atomes ultrafroids et révéler les propriétés des réactions chimiques au niveau quantique. « Nous pourrons voir comment les réactifs interagissent et génèrent le produit de ces réactions. C'est un domaine que nous appen-

lons la superchimie », explique Marcassa. En plus de gains potentiels en termes de connaissances fondamentales, ce stade de moindre énergie d'un système peut être une plate-forme utile pour le développement d'applications dans les champs de la communication et de l'informatique quantique.

Au cours des dix dernières années, les groupes de São Carlos et du LAC ont publié ensemble 14 articles, dont certains ont été écrits avant même la formalisation du projet actuel. En 2019, par exemple, ils ont publié dans *Physical Review Letters* un article sur le développement d'une stratégie plus simple pour refroidir les molécules de rubidium, qui n'utilise pas plusieurs faisceaux laser (mais un seul) ou des équipements coûteux.

Lors de l’expérience, qui a servi de test initial, les chercheurs ont réussi à abaisser la température de 74 % des 10 000 molécules de rubidium à des valeurs très proches du zéro absolu. En rapprochant les molécules de cet élément de leur état fondamental, la stratégie a pratiquement annulé la vibration des particules. En revanche, le résultat est moins significatif en ce qui concerne le mouvement de rotation.

La plupart des travaux des deux groupes visent à développer des techniques de piégeage et de refroidissement des molécules de rubidium, le système classique qui concentre la quasi-totalité des expériences du secteur. Actuellement, par exemple, les Brésiliens et les Français travaillent au développement d'une source capable de générer un laser puissant, mais avec un faisceau plus large que le laser standard. Ce type d'appareil pourrait produire des résultats plus significatifs dans des travaux avec des molécules de rubidium.

Parallèlement, le partenariat envisage de lancer des études et de tester des schémas de refroidissement avec d’autres composés diatomiques que le rubidium. Cette classe de molécules est formée par la liaison de deux atomes seulement, qui peuvent provenir du même élément chimique ou d’éléments différents. C'est le cas, respectivement, des molécules de césum (Cs_2) et du monofluorure de baryum (BaF), qui ont fait l'objet d'études récentes dans ce domaine. D'après Bouloufa-Maafa, « développer des techniques de refroidissement et de piégeage pouvant être appliquées à des molécules diatomiques ‘chaudes’ (qui sont à des températures plus élevées que le rubidium) pourrait être intéressant pour plusieurs domaines de la physique ». ●

Le projet et l'article scientifique consultés pour ce reportage figurent dans la version en ligne.