



Institut de physique  
Actualité scientifique

## Quand des collisions ralentissent la dissipation

**En excitant un gaz avec des impulsions laser ultra-courtes, les physiciens ont montré que, même si habituellement les collisions au sein du gaz sont la cause principale de la dissipation, certaines d'entre elles peuvent la ralentir. Ce résultat a été obtenu en observant la dissipation aux temps très courts, grâce à un phénomène d'écho d'alignement moléculaire.**

Les molécules en rotation au sein d'un gaz peuvent s'aligner sous l'effet d'un champ électrique intense comme celui d'un laser à impulsions ultracourtes. Lors de l'interaction avec le laser, des états de rotation moléculaire d'énergie élevée sont excités simultanément et de façon cohérente. Des couplages existent alors entre ces états, qui conduisent à des oscillations d'un état à un autre et qui sont décrits par des termes appelés cohérences. Après extinction du laser, l'alignement moléculaire disparaît du fait des différentes vitesses de rotation des molécules, avant qu'une série de transitoires d'alignement apparaisse, produite par la remise en phase périodique des oscillations (battement). L'amortissement des transitoires renseigne sur les phénomènes de dissipation. L'approche théorique dite séculaire modélise cet amortissement en ne prenant en compte que les phénomènes efficaces à des temps beaucoup plus grands que la période des oscillations des cohérences. Si par ailleurs de nombreux travaux théoriques traitent du comportement non séculaire, aucune observation expérimentale ni simulation numérique des effets aux temps courts des collisions au sein d'un gaz n'avaient encore été réalisées.

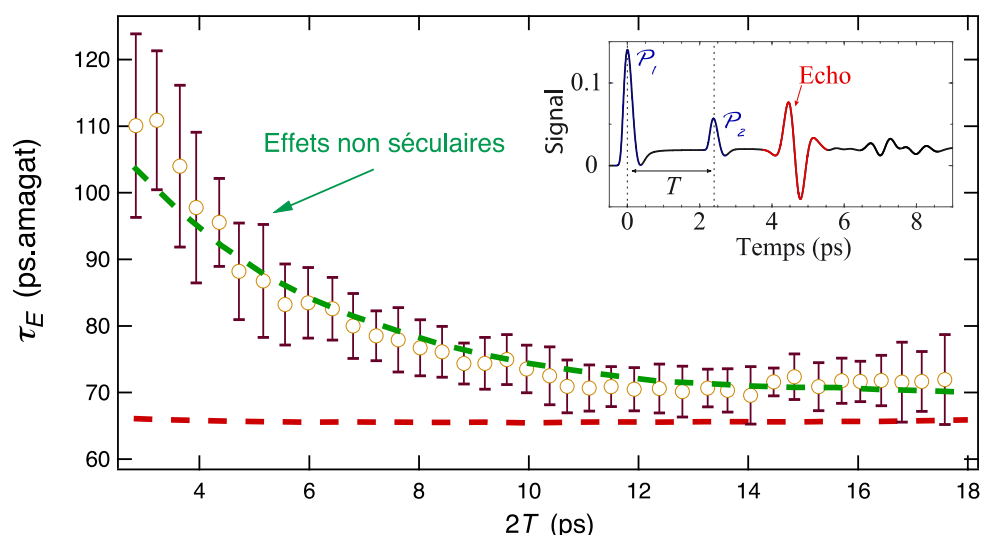
Dans ce travail, des physiciens du Laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB, CNRS/UTBM/Univ. de Bourgogne), du Laboratoire de météorologie dynamique (LMD, CNRS/X/ENS/Sorbonne Université) et de l'Institut des sciences moléculaires d'Orsay (ISMO, CNRS/Univ. Paris-Saclay), en collaboration avec des chercheurs de l'East China Normal University à Shanghai, ont utilisé un phénomène découvert dans le laboratoire dijonnais, appelé écho d'alignement<sup>1</sup>, qui a l'avantage de permettre de sonder la dissipation aux temps très courts<sup>2</sup>. Ils ont montré que, alors qu'aux temps longs les collisions ne contribuent qu'à un amortissement des cohérences, aux temps courts, certaines d'entre elles conduisent à des transferts entre cohérences qui s'opposent à la dissipation. Ces résultats ont été publiés dans la revue *Nature Communications*.

Dans l'expérience, une première impulsion laser ultra-courte (100 femtosecondes) est utilisée afin d'aligner des molécules de N<sub>2</sub>O diluées au sein un gaz d'hélium. Une deuxième décalée d'une durée  $T$  de quelques picosecondes, compense la dispersion des vitesses de rotation de telle sorte que les molécules sont à nouveau en phase, et donc à nouveau alignées, au temps  $2T$ . L'écho qui apparaît à cet instant est lu par une troisième impulsion (figure). L'amplitude de cet écho reflète la dissipation liée à la décohérence des couplages entre les états de rotation qui intervient après le passage de la première impulsion. Les chercheurs ont mesuré l'amplitude de l'écho en fonction de  $T$  et de la densité du gaz, c'est-à-dire de la fréquence des collisions. Ils ont montré que ces dernières sont d'autant moins efficaces pour amortir l'écho, et donc les cohérences, que  $T$  est court. Ce résultat a été confronté avec succès à des calculs de dynamique quantique (figure) qui ont mis en évidence des effets constructifs de transferts non séculaires entre les cohérences rotationnelles induits par les collisions.

<sup>1</sup> **Orientation and alignment echoes.** G. Karras, E. Hertz, F. Billard, B. Lavorel, J.M. Hartmann, O. Faucher, E. Gershnel, Y. Prior, I.S. Averbukh, *Physical Review Letters* **114**, 153601, 2015. DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.153601  
Article disponible sur les bases d'archives ouvertes arXiv:1502.00019 et hal-02398543, v1

<sup>2</sup> **Rotational echoes as a tool for investigating ultrafast collisional dynamics of molecules.** H. Zhang, B. Lavorel, F. Billard, J.M. Hartmann, E. Hertz, O. Faucher, J. Ma, J. Wu, E. Gershnel et Y. Prior, I.S. Averbukh, *Physical Review Letters* **122**, 193401, 2019.  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.193401  
Article disponible sur les bases d'archives ouvertes ArXiv et hal-02398543

Plus généralement, ces effets non séculaires sont attendus lors de l'interaction de tout système quantique avec un environnement. Ils interviennent par exemple dans les mécanismes réactifs liés à la vision ou à la photosynthèse. Les résultats obtenus ici mettent à mal l'idée répandue que les interactions avec l'environnement sont purement dissipatives et procurent un support expérimental qui devrait stimuler l'exploration des modèles théoriques traitant des effets non séculaires tels que les équations maîtresses quantiques.



Comparaison entre les constantes de temps  $\tau_E$  d'amortissement collisionnel de l'écho d'alignement mesurés (cercles) à différents instants et les simulations numériques du modèle séculaire (tirets rouges) et non séculaire (tirets verts). Un mélange  $N_2O$ -He comportant 96 % d'hélium et à une pression de l'ordre de 20 fois la pression atmosphérique est utilisé. Les effets non séculaires, clairement visibles en deçà de 10 ps, se moyennent à zéro aux temps plus longs ( $1 \text{ amagat} = 2,68 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$ ).

En haut à droite, écho d'alignement observé après les deux pics d'alignement  $P_1$  et  $P_2$  créés par deux impulsions laser décalées d'une durée  $T$ . Celles-ci, de durée 100 fs et d'éclairement compris dans la gamme 20-40  $\text{TW cm}^{-2}$ , sont délivrées par un laser titane saphir amplifié émettant un rayonnement à 800 nm à une cadence de 1 kHz.

## Bibliographie

### Observing collisions beyond the secular approximation limit.

Junyang Ma, H. Zhang, B. Lavorel, F. Billard, E. Hertz, J. Wu, C. Boulet, J.-M. Hartmann et O. Faucher, *Nature Communications*, le 18 décembre 2019.

DOI: 10.1038/s41467-019-13706-0

Article disponible sur la base d'archives ouvertes [arXiv](https://arxiv.org/abs/1912.08111).

## Contacts

**Olivier Faucher** | Professeur à l'Université de Bourgogne, Laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne | [olivier.faucher@u-bourgogne.fr](mailto:olivier.faucher@u-bourgogne.fr)

**Jean-Michel Hartmann** | Directeur de recherche au CNRS, Laboratoire de météorologie dynamique | [jean-michel.hartmann@lmd.polytechnique.fr](mailto:jean-michel.hartmann@lmd.polytechnique.fr)

**Communication CNRS-INP** | [inp.com@cnrs.fr](mailto:inp.com@cnrs.fr)