

Visualisation des molécules extraterrestres avec une résolution atomique - un nouvel outil pour révéler des indices sur l'origine du système solaire et de la vie sur Terre

Par Leo Gross et Katharina Kaiser, Zurich, le 02 février 2022 : Les météorites sont des fragments d'astéroïdes (et, potentiellement, de comètes) qui atteignent la surface de la Terre intacts. Ce sont des vestiges de la formation du système solaire, qui fournissent des indices sur son histoire grâce aux molécules qu'ils contiennent. Grâce à nos dernières recherches, publiées aujourd'hui dans *Meteoritics and Planetary Science* [1], nous pouvons maintenant lire ces indices un peu mieux.

La plupart des météorites primitives sont restées pratiquement inchangées depuis leur formation, il y a des milliards d'années. Elles sont comme des machines à remonter le temps qui nous donnent accès à un passé très lointain, lorsque les planètes en orbite autour du Soleil ont vu le jour. Une partie de la cargaison que les météorites transportent avec elles est constituée de matière organique, qui pourrait avoir été livrée à la Terre primitive et avoir joué un rôle dans les origines de la vie.

Dans notre étude, nous avons utilisé la microscopie à force atomique (AFM) à ultra-haute résolution pour étudier pour la première fois la matière organique météoritique. Nous avons examiné des échantillons de la célèbre météorite Murchison, dont on a observé la chute dans une petite ville australienne en septembre 1969. Nous avons tiré parti d'un atout unique de l'AFM, sa sensibilité à une molécule unique, pour visualiser et identifier des molécules individuelles. Nos découvertes, obtenues par une équipe multinationale de chercheurs, dont notre équipe d'IBM Research à Zurich, constituent une preuve de concept (proof of concept) qui montre que l'AFM peut identifier des molécules uniques d'origine météoritique.

La capacité de l'AFM à identifier une seule molécule signifie qu'il est possible de détecter des quantités extrêmement faibles de substances qui pourraient passer inaperçues avec d'autres techniques. Cette force devient encore plus importante lorsque les échantillons de matériaux sont rares, comme c'est le cas pour les météorites, et encore plus pour les matériaux rapportés par les missions spatiales. Bien qu'aucune des molécules révélées aujourd'hui par l'AFM ne soit nouvelle - en fait, on savait déjà qu'elles étaient toutes présentes dans la météorite de Murchison grâce à des études antérieures - le fait de les voir directement avec l'AFM ajoute un nouvel outil précieux pour les analyses futures des corps extraterrestres.

Derrière les premières images de molécules extraterrestres

Il y a environ 12 ans, nous avons fait progresser l'AFM pour identifier les molécules uniques avec une résolution atomique [2]. En étudiant des échantillons liés au pétrole brut et à la suie, qui contiennent une très grande diversité de molécules, nous avons commencé à tirer parti de la sensibilité à une molécule unique.

L'un de nos rêves était d'identifier des molécules individuelles d'origine extraterrestre. Nous avons commencé à chercher des échantillons que nous pourrions étudier et des collaborateurs spécialisés dans la science météoritique qui pourraient nous aider à obtenir les bons échantillons. Nous avons besoin de personnes qui pourraient nous aider à interpréter nos résultats et à les comparer avec ce que l'on sait des molécules présentes dans les météorites grâce à d'autres techniques. Cela nous a conduits à Scott Sandford et Aaron Burton de la NASA, Henderson Cleaves du Tokyo Institute of Technology et Grégoire Danger d'Aix-Marseille Université. Scott a fourni un échantillon de la météorite Murchison.

Dans nos premières expériences, nous avons tenté d'étudier les molécules sublimées directement à partir de poudre de météorite non transformée. Ce fut un défi car les météorites contiennent une quantité relativement faible de matière organique que nous pouvons identifier par l'AFM. Néanmoins, nous avons réussi à identifier quelques molécules, ce qui nous a confortés dans l'idée que nous serions effectivement en mesure de visualiser des matières organiques extraterrestres par l'AFM.

Nos collaborateurs de longue date, Diego Peña et Iago Pozo, de l'université de Saint-Jacques-de-Compostelle, ont mis au point une méthode pour extraire les types de molécules qui, selon nous, pourraient être bien visualisées par l'AFM. Les extractions ont été développées pour cibler les composés aromatiques plats (planaires), ainsi que certaines molécules d'hydrocarbures à chaîne droite. En utilisant ce processus d'extraction optimisé, nous avons identifié beaucoup plus de molécules, et leurs structures étaient en accord avec les structures moléculaires déterminées par d'autres techniques. Nous avons également comparé nos résultats obtenus par l'AFM avec des données de spectrométrie de masse de pointe, pour lesquelles Julien Maillard de l'Université de Normandie et Carlos Afonso d'Aix-Marseille Université ont rejoint le projet. Nous avons déjà travaillé avec Julien sur un projet où nous avons examiné en laboratoire des analogues de molécules de l'atmosphère de Titan, la lune de Saturne [3]. Ses résultats de spectrométrie de masse ont indiqué que les molécules que nous avons identifiées par l'AFM sont représentatives de la météorite et de la fraction extraite.

Quelle est la prochaine étape ?

Notre étude des molécules organiques de la météorite de Murchison met en évidence les capacités de l'AFM à haute résolution. Elle peut être utilisée pour compléter les méthodes de référence bien établies pour l'élucidation de la structure moléculaire, à savoir la RMN et la spectrométrie de masse, dans l'identification

spécifique des isomères des molécules provenant d'échantillons extraterrestres. Jusqu'à présent, nous n'avons pas identifié de nouvelles molécules dans les météorites en utilisant l'AFM. Cependant, en raison de sa sensibilité à une molécule unique, l'AFM pourrait à l'avenir être utilisée pour révéler des molécules très rares qui n'ont pas encore été trouvées dans les échantillons de météorites. Il existe également des molécules qui ne peuvent être identifiées qu'à l'aide de l'AFM, là où les techniques conventionnelles seules ne suffisent pas [4].

Après cette preuve de concept (proof of concept), nous espérons obtenir de plus grands échantillons de différentes météorites pour comprendre les effets de l'augmentation de l'eau et de la température sur leurs astéroïdes parents, et potentiellement des échantillons provenant de missions. L'objectif est d'identifier des molécules uniques et, nous l'espérons, de faire progresser nos connaissances sur les molécules qu'elles transportent. Nous sommes ravis de contribuer à une meilleure compréhension de l'histoire que ces molécules peuvent nous raconter, ce qui pourrait finalement aider à brosser un tableau plus clair de l'origine même de notre système solaire et de la vie sur Terre.

[1] K. Kaiser, F. Schulz, J. F. Maillard, F. Hermann, I. Pozo, D. Peña, H. J. Cleaves, A. S. Burton, G. Danger, C. Afonso, S. Sandford, L. Gross, Visualization and identification of single meteoritic organic molecules by atomic force microscopy, *Meteoritics and Planetary Science* (2022).

[2] L. Gross, F. Mohn, N. Moll, P. Liljeroth, G. Meyer, The Chemical Structure of a Molecule Resolved by Atomic Force Microscopy. *Science*. 325, 1110-1114 (2009).

[3] F. Schulz, J. Maillard, K. Kaiser, I. Schmitz-Afonso, T. Gautier, C. Afonso, N. Carrasco, L. Gross, Imaging Titan's Organic Haze at Atomic Scale. *Astrophys. J. Lett.* 908, L13 (2021).

[4] K. O. Hanssen, B. Schuler, A. Williams, T. B. Demissie, E. Hansen, J. H. Andersen, J. Svenson, K. Blinov, M. Repisky, F. Mohn, G. Meyer, J.-S. Svendsen, R. Ruud, M. Elyashberg, L. Gross, M. Jaspars, J. Isaksson, A combined atomic force microscopy and computational approach for structural elucidation of breitfussin A and B, highly modified halogenated dipeptides from the Arctic hydrozoan *Thuiaria breitfussi*. *Angew. Chem. Int. Ed.* 51, 12238-12241 (2012).

Contacts presse :

Weber Shandwick pour IBM

Jennifer Tshidibi / Eric Chauvelot

IBM

Gaëlle Dussutour

Tél. : + 33 (0) 6 74 98 26 92

dusga@fr.ibm.com

Tél. : + 33 (0)6 13 94 26 58 / + 33 (0)6 21 64
28 68

ibmfrance@webershandwick.com
