

L'ammonium : un réservoir important d'azote dans les chondrites CI

L. LAIZE-GÉNÉRAT¹, L. SOUSSAINTJEAN^{1,2}, O. POCH¹, L. BONAL¹, J. SAVARINO³, N. CAILLON³, P. GINOT³, A. VELLA³, L. FLANDINET¹, L. VACHER¹, M. GOUNELLE⁴, M. BIZZARRO⁵

¹ IPAG, Grenoble, lucie.laize-generat@univ-grenoble-alpes.fr

² now at DEEPICE, Bern

³ IGE, Grenoble

⁴ IMPMC, Paris

⁵ Centre for Star and Planet Formation, Copenhagen

Sur Terre, l'azote joue un rôle essentiel pour l'émergence et le maintien de la vie telle qu'on la connaît. Comment et sous quelles formes l'azote a-t-il évolué dans le système solaire jeune, et a-t-il été incorporé aux planètes telles que la Terre ? Ces questions restent non élucidées aujourd'hui.

L'azote dans les comètes et les chondrites carbonées est considéré comme étant principalement présent dans la matière organique réfractaire [1]. Néanmoins, de l'azote sous forme d'ammonium a récemment été détecté dans la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko [2]. Cet ammonium pourrait aussi être présent sur plusieurs astéroïdes [2, 3] et peut-être dans les échantillons de l'astéroïde Ryugu, rapportés par la mission Hayabusa-2 [4]. Suite à ces découvertes, il se pourrait alors que dans les astéroïdes et les comètes, et donc dans les chondrites carbonées, une part importante de l'azote soit sous forme d'ammonium.

En 1864, de l'ammonium a été détecté dans la météorite d'Orgueil juste après sa chute, mais n'a plus été signalé depuis [5-8]. Nous avons étudié trois échantillons d'Orgueil, dont deux présentant très peu de trace d'altération terrestre. Nous avons développé un protocole permettant l'extraction cryogénique et la quantification de l'ammonium soluble dans l'eau, ainsi que la mesure de la composition isotopique de son azote. Nous avons détecté avec succès de l'ammonium à une concentration moyenne de $0,068 \pm 0,008$ wt.%, correspondant à 27 ± 2 % de l'azote total d'Orgueil. La composition isotopique de l'azote de l'ammonium ($+202 \pm 57\%$) est significativement différente de celle de l'azote de la matière organique insoluble (IOM, $+33.4 \pm 0.2\%$), suggérant que ces phases azotées se sont formées à partir de réservoirs d'azote différents.

Nous avons effectué cette même étude sur deux autres chondrites CI, Ivuna et Alais, et également mesuré une part importante d'azote sous forme d'ammonium dans ces météorites (Ivuna : $20 \pm 4\%$, Alais : $24 \pm 5\%$). L'ammonium présent dans Ivuna et Alais présente une composition isotopique en azote similaire à Orgueil (Ivuna : $+159 \pm 57\%$, Alais : $+197 \pm 57\%$), suggérant une origine commune de l'ammonium contenu dans les chondrites CI.

Nos résultats confirment la présence d'une importante concentration d'ammonium extraterrestre dans les chondrites carbonées de type CI, et montrent qu'il y constitue une part importante de l'azote total. Il est donc possible qu'une partie de l'azote ait été présente dans le disque protoplanétaire et ait été livrée aux planétésimaux sous forme d'ammonium et que cet ammonium ait joué un rôle dans l'émergence de la vie sur Terre.

Références

- [1] C. Alexander, G. Cody, B. De Gregorio, L. Nittler and R. Stroud, *Geochemistry* 77 (2017)
- [2] O. Poch, et.al, *Science* 367 (2020)
- [3] M. C. De Sanctis et.al, *Nature* 528 (2015)
- [4] C. Pilorget et al., *Nature Astronomy* 6 (2022)
- [5] A. Daubrée, *Compte rendu de l'Académie des Sciences* 58 (1864)
- [6] F.S. Cloëz, *Compte rendu de l'Académie des Sciences* 58 (1864)
- [7] F.S. Cloëz, *Compte rendu de l'Académie des Sciences* 59 (1864)
- [8] F. Pisani, *Compte rendu de l'Académie des Sciences* 59 (1864)