

L'azote lunaire

Au cours des âges, le Soleil, les météorites et les comètes ont apporté leur azote sur la Lune et à la Terre.

Le sol lunaire est une accumulation de débris provenant de météorites et probablement de comètes, tombés sur notre satellite depuis sa création voici 4,4 milliards d'années. À cela s'ajoutent les poussières fines et les gaz venus de l'espace interstellaire et surtout, du vent solaire. Tous ces fragments sont d'âges et de compositions différentes, selon leur provenance. La Lune a donc enregistré les apports de matière cosmique depuis sa création. En revanche, sur Terre, l'atmosphère empêche, depuis qu'elle existe, cet enregistrement dans le sol. Les apports de matière extraterrestre inscrits dans le sol terrestre avant la formation de l'atmosphère ont, quant à eux, été détruits par l'érosion et la tectonique des plaques. Parmi les éléments d'origine cosmique, l'azote est l'un des plus importants pour la vie, car il entre dans la composition de nombreuses molécules organiques. Le diazote représente en outre quelque 80 pour cent de notre atmosphère ! En étudiant des grains de sol lunaire, nous venons de prouver que l'azote terrestre, qui a la même origine que l'azote lunaire, a deux provenances majeures : le Soleil et les météorites.

Les 17 missions Apollo ont récupéré un échantillonnage représentatif du sol lunaire qui fut exposé au bombardement cosmique à différentes époques géologiques. Au cours des trois dernières décennies, les cosmochimistes ont analysé la composition de ces échantillons et tenté d'en comprendre la provenance. Ils ont découvert que les gaz rares contenus dans les sols lunaires y sont implantés par le vent solaire. Leur composition chimique et isotopique est constante et similaire à celle que l'on mesure lors d'expériences d'irradiation par le rayonnement solaire. Si les gaz rares du sol lunaire proviennent du vent solaire,

est-ce le cas de l'azote ? Les chercheurs ont constaté que la composition isotopique de l'azote du sol lunaire variait beaucoup. D'une mesure à l'autre, le rapport de la concentration d'azote 14 sur celle d'azote 15 pouvait changer de 30 pour cent.

La première hypothèse lancée pour expliquer cette variabilité fut que la composition isotopique du Soleil avait varié au cours du temps, modifiant celle du rayonnement solaire. Si c'est le cas, les concentrations en isotopes de gaz rares auraient dû changer elles aussi, puisque ces éléments sont présents dans le Soleil. Les astrophysiciens ne connaissaient en outre aucun mécanisme physique susceptible d'engendrer des variations isotopiques aussi grandes. L'idée que ces écarts dans la composition en azote du sol lunaire résultent des contributions successives de plusieurs sources cosmiques s'est alors imposée. Il restait à en apporter une preuve expérimentale.

C'est ce que nous avons fait grâce à la sonde ionique du Centre de recherche en pétrochimie et géochimie de Nancy. Dans cette installation, des ions sont projetés sur une zone précise de l'échantillon, et en arrachent les atomes. Les « ions secondaires » ainsi produits sont analysés à l'aide d'un champ magnétique qui les dévie différemment selon leur nature, ce qui permet de les séparer. Cette technique livre les concentrations et les compositions isotopiques de tous les éléments présents dans la zone analysée, dont la position est connue à 10 nano-

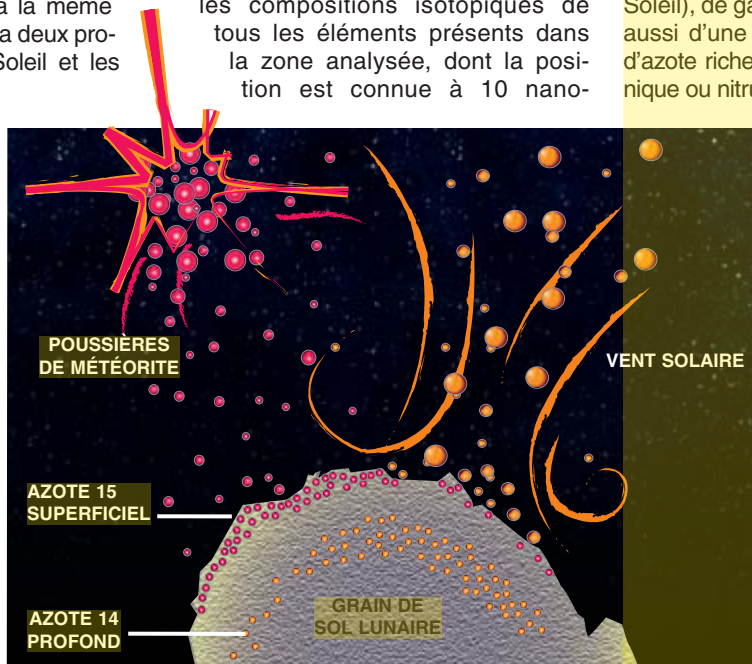
mètres près. Grâce à cette résolution spatiale, nous avons mesuré de quelle façon les concentrations d'azote 14, d'azote 15 et d'autres isotopes varient à partir de la surface du grain de sol lunaire étudié.

Qu'avons-nous constaté ? Nous savions que l'énergie cinétique des ions apportés par le vent solaire les fait pénétrer jusqu'à quelque 50 nanomètres à l'intérieur des grains. Or l'azote trouvé à cette profondeur est pauvre en azote 15, mais riche en azote 14. Comme il n'est pas associé à du deutérium (un atome d'hydrogène alourdi par un neutron qui est décomposé par le Soleil), on en déduit que cet « azote profond » est d'origine solaire.

En revanche, l'azote trouvé dans les premiers nanomètres contient 24 pour cent de plus d'azote 15 et est associé à des atomes de deutérium : il provient de météorites ou de comètes, qui contiennent du deutérium. L'impact sur le sol lunaire vaporise certains éléments, tel l'azote, qui, ensuite, se dépose en surface.

Ainsi, nous avons mis en évidence la grande hétérogénéité des isotopes de l'azote dans le Système solaire. La majorité de cet élément contenu dans le Soleil est pauvre en azote 15. En revanche, l'azote contenu dans les planètes et les météorites est enrichi en azote 15. Cette dichotomie ne peut s'expliquer que par la présence, dans la nébuleuse protosolaire (qui a formé le Soleil), de gaz pauvre en azote 15, mais aussi d'une forme probablement solide d'azote riche en azote 15 (matière organique ou nitrures, par exemple). Il y aurait eu un transport de matière à l'échelle du Système solaire : les matières organiques azotées présentes dans les régions externes seraient parvenues dans la région centrale, où s'est formée la Terre. Nous espérons pouvoir appliquer bientôt notre méthode à tous les échantillons de sol lunaire du programme Apollo. Grâce à ces témoins du bombardement cosmique à plusieurs époques, nous pourrions quantifier le flux de matière reçu par la Lune au cours du temps, c'est-à-dire aussi celui qu'a reçu la Terre.

Bernard MARTY et Marc CHAUSSIDON, Centre de recherches pétrographiques et géochimiques, Nancy



Les constituants du vent solaire (les sphères jaunes) contiennent surtout de l'azote 14. Les particules pénètrent dans les grains de sol lunaire à environ 50 nanomètres de profondeur. Au contraire, en surface des grains, la proportion d'azote 15 (les sphères rouges) est supérieure : cet azote provient des retombées météoritiques. Ces compositions isotopiques renseignent les astronomes sur les flux de matière reçus par la Lune au cours du temps.