

## Source

**A non-Terrestrial <sup>16</sup>O-rich isotopic composition for the protosolar nebula**  
Ko Hashizume (1) & Marc Chaussidon (2) ;  
**Nature**; 2005;  
434 pp 619-621

## Note

**\*Nébuluse primitive** (ou protosolaire)  
Dans les modèles standards qui décrivent la formation du système solaire, les scientifiques estiment que la nébuluse est composée en masse à 98 % de gaz et à 2% de poussières minérales et de glaces.

**\*\*Planètes telluriques**  
Mercure, Venus, la Terre et Mars sont les 4 planètes telluriques du système solaire. Elles sont plus denses que les planètes géantes mais moins massives. Elles sont essentiellement composées de silicates et gravitent à moins de 400 millions de kilomètres du Soleil. Elles sont appelées telluriques parce qu'elles ont une surface compacte et rocheuse semblable à celle de la Terre.

## La composition isotopique de l'oxygène du vent solaire implanté dans les sols lunaires : l'origine des silicates dans le système solaire.

L'observation par les astrophysiciens des **nébuleuses\*** visibles dans la Voie Lactée, comme par exemple Orion, montre que les étoiles se forment à partir d'un mélange de gaz et de poussières. Certes la plus grande partie de ce gaz a constitué le Soleil mais une petite partie a subi des transformations physiques et chimiques particulières qui ont conduit à la formation des premiers minéraux dans le système solaire. Leur condensation a créé les embryons des premières **planètes telluriques\*\***. La nature des réactions dans le gaz initial est une des grandes énigmes de la formation du système solaire.

Pour essayer de reconstituer le détail des réactions qui conduisent du gaz de départ aux premiers minéraux, il faut connaître au mieux la composition de ce gaz pour pouvoir la comparer à la composition des planètes et à celle des météorites. Ces dernières représentent un stade d'évolution intermédiaire entre le gaz et les planètes. Les météorites primitives (chondrites) sont, pour la plupart, des fragments d'astéroïdes qui ne se sont jamais agglomérés pour former de grosses planètes. Ces météorites ont donc préservé en leur sein des composants primitifs. Ceux-ci sont en quelque sorte des "fossiles" des premiers minéraux formés dans le système solaire il y a environ 4,5 milliards d'années.

L'étude détaillée de ces météorites durant les trente dernières années a montré que la composition isotopique de l'oxygène qu'elles recèlent est très variable. L'oxygène est l'élément chimique qui constitue environ la moitié de la masse de la plupart des minéraux des météorites et des planètes telluriques. L'oxygène possède en effet trois **isotopes** stables. L'isotope <sup>16</sup>O est le plus abondant ; <sup>17</sup>O et <sup>18</sup>O représentent en moyenne sur Terre respectivement 0,04 % et 0,2 % de l'oxygène total. Dans les météorites, des variations relatives de plus de 5 % de la proportion de <sup>16</sup>O sont observées. Elles ne suivent pas la loi observée sur Terre ou déterminée expérimentalement pour toutes les réactions faisant intervenir des silicates. Les variations des compositions isotopiques de l'oxygène sont donc un des indices les plus probants de l'existence de réactions particulières, pour l'instant inconnues, qui se sont produites lors de la formation du système solaire.

## Affiliations

1) Department of Earth & Space Sciences, Osaka University, Toyonaka, Osaka  
560-0043, Japan

2) CRPG-CNRS, BP 20, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France

## Contact

M. Marc Chaussidon  
Téléphone  
+33 3 83 59 42 25  
Mèl

[chocho@crpg.cnrs-nancy.fr](mailto:chocho@crpg.cnrs-nancy.fr)

## Notes

### \*Vent solaire

Le vent solaire est constitué d'ions positifs et d'électrons. Les ions sont de l'hydrogène (95%), de l'hélium (4%) et des atomes plus lourds (1%) dont de l'oxygène. Le vent solaire est globalement neutre.

### \*\*Régolithe

Depuis sa formation et notamment au début de son existence, la lune a été bombardée par des météorites et des astéroïdes. La surface a été ainsi concassée. Il s'est formé en surface une couche de fine poussière d'environ 5 mètres d'épaisseur qui constitue le régolithe lunaire.

Pour comprendre l'origine des variations isotopiques de l'oxygène dans le système solaire en formation, il faudrait connaître la composition isotopique du gaz de départ. Selon les modèles actuels, le Soleil formé à partir de ce gaz, a préservé dans ses couches externes cette composition initiale. Les techniques spectroscopiques ne permettent pas de la mesurer très précisément. Pour effectuer de telles mesures les laboratoires doivent disposer d'«échantillons» de Soleil. La NASA a ainsi envoyé une mission spatiale ([Genesis](#)) pour collecter des atomes de **vent solaire**\*. Ces particules sont émises en permanence à partir des couches externes du Soleil. Les échantillons sont revenus sur Terre le 8 septembre 2004 et seront analysés dans les mois qui viennent.

Depuis plusieurs années, les auteurs ont suivi une approche différente en analysant des minéraux des sols lunaires exposés, eux aussi, au vent solaire. Sur la Lune, contrairement à ce qui se passe sur Terre, le vent solaire n'est pas stoppé par l'atmosphère ou dévié par le champ magnétique. La surface de la Lune est donc un collecteur naturel de vent solaire et elle peut y avoir été exposée pendant plusieurs milliards d'années. Les particules du vent solaire s'implantent selon leur énergie et leur masse dans les minéraux des sols lunaires sur des profondeurs allant de 50 nanomètres à environ 1 micromètre. Le CRPG (Centre de recherches pétrographiques et géochimiques) a développé une technique d'analyse en utilisant leur sonde ionique. Cet instrument permet de volatiliser les couches atomiques de surface des minéraux les unes après les autres. Les auteurs ont analysé précisément ainsi, pour la première fois, la composition isotopique de l'oxygène du vent solaire. L'oxygène s'est implanté à la surface de grains métalliques lunaires présents dans le **régolithe**\*\* rapporté par la mission Apollo 17. Ces grains métalliques sont rares, ont une taille de l'ordre d'une trentaine de micromètres et sont a priori dépourvus d'oxygène. Les atomes d'oxygène détectés par l'analyse proviennent donc d'atomes du vent solaire.

L'oxygène implanté dans ces grains possède une proportion plus forte de l'isotope  $^{16}\text{O}$  laissant supposer que le gaz qui a formé le système solaire aurait été riche en cet isotope. Ce résultat a de nombreuses implications : il permet notamment de retracer le chemin chimique des silicates lors de l'évolution du système solaire. En effet, seuls certains composants très rares des météorites primitives montrent une telle composition isotopique

## Note

### \*Isotopes et Isotopomères

Les noyaux des atomes sont composés de particules élémentaires, les protons (P) et les neutrons (N). Les atomes d'un élément sont caractérisés d'une part, par leur *nombre atomique* (nombre de protons) et d'autre part par leur *masse atomique* (somme du nombre de protons et du nombre de neutrons). Ainsi un élément (même nombre de proton) peut exister sous forme d'atomes qui diffèrent par le nombre de neutrons, formant ainsi une famille **d'isotopes**. Ces isotopes, existant à l'état naturel dans des proportions variables selon les éléments peuvent être parfaitement stables. C'est le cas des isotopes  $^{16}\text{O}$  ( $8\text{P}8\text{N}$ ),  $^{17}\text{O}$  ( $8\text{P}9\text{N}$ ) et  $^{18}\text{O}$  ( $8\text{P}10\text{N}$ ) de l'oxygène. Il existe des isotopes instables, qui se désintègrent en donnant lieu à une réaction nucléaire. Celle-ci se traduit par l'émission d'un rayonnement ou l'éjection de particules. L'isotope  $^{15}\text{O}$  ( $8\text{P}7\text{N}$ ) de l'oxygène par exemple se désintègre en émettant un **positon**. Les isotopes lorsqu'ils sont insérés dans des molécules, forment des **isotopomères**.

de l'oxygène : ce sont les inclusions réfractaires riches en calcium et en aluminium. Ces inclusions sont constituées de minéraux condensés à partir du gaz à très haute température. Ces minéraux, sans doute, les premiers silicates formés par condensation à partir du gaz de la nébuleuse sont donc les plus vieux du système solaire. Ils présentent la composition isotopique de l'oxygène du gaz de départ. Tous les autres silicates, que ce soient ceux des météorites primitives, de la Terre ou de Mars sont moins riches en  $^{16}\text{O}$  que les inclusions réfractaires et sont probablement d'origine plus récente.

Plusieurs processus, encore mal connus, peuvent expliquer cette observation. La photodissociation par les ultraviolets du monoxyde de carbone (CO) dans la nébuleuse primitive est une des hypothèses.

Dans cette nébuleuse, l'oxygène était présent sous forme de CO. Le rayonnement ultraviolet du Soleil de longueur d'onde comprise entre 90 et 110 nanomètres peut dissocier le monoxyde de carbone. Ce phénomène de photodissociation a produit ainsi des atomes d'oxygène libres qui ont alors participé à la formation des silicates. La dissociation est proportionnelle à l'intensité du rayonnement.

Les différents **isotopomères\*** du monoxyde de carbone ( $\text{C}^{16}\text{O}$ ,  $\text{C}^{17}\text{O}$  et  $\text{C}^{18}\text{O}$ ) se dissocient chacun en absorbant un rayonnement de longueur d'onde particulière. Le  $\text{C}^{16}\text{O}$  étant le plus abondant, dans les zones proches du soleil, le rayonnement particulier qui le dissocie est plus rapidement absorbé que celui qui dissocie les autres isotopomères. Ainsi en s'éloignant du Soleil, le rayonnement dissociant  $\text{C}^{16}\text{O}$  est donc moins intense puisqu'il est absorbé. Il y a donc proportionnellement moins de  $\text{C}^{16}\text{O}$  qui se dissocie et plus de  $^{17}\text{O}$  ou de  $^{18}\text{O}$  libérés. De ce fait les proportions en  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  et  $^{18}\text{O}$  dans le minéral varient en fonction de la distance du Soleil où ont été formés ces silicates. Cette hypothèse expliquerait les variations de composition isotopique observées dans les météorites. Des études expérimentales et des modèles futurs devraient déterminer la distance du Soleil où les conditions physiques ont été les plus favorables à leur formation.

**Cet article a été publié dans la revue multidisciplinaire « Nature », volume 434, du 31 mars 2005.**



## Partenaires

Le CNES a soutenu ces dernières années des développements instrumentaux autour de la [sonde ionique](#) à grande sensibilité du CRPG-CNRS de Nancy. Cet instrument d'analyse "vaporise" sélectivement la surface d'un minéral, couche atomique par couche atomique. Les ions ainsi formés sont envoyés dans un système d'analyse élémentaire capable de mesurer précisément la composition isotopique de chaque élément.

Ces travaux ont été également soutenus par le CNRS et la région Lorraine notamment par le financement du séjour du Pr. Ko Hashizume au [CRPG de Nancy](#).

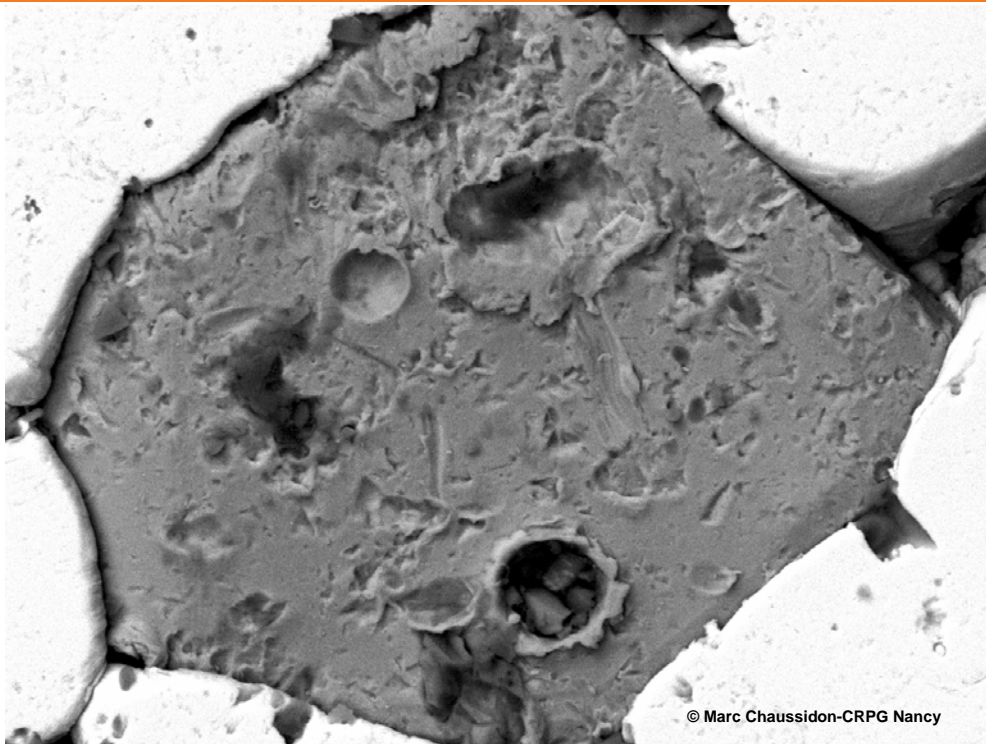
## + sur le CNES

<http://www.cnes.fr/>

© CNES 2005

Reproduction possible à des fins non commerciales, sous réserve d'autorisation de notre part

Conformément à la loi 78-17 "Informatique et Libertés" (art. 34 et art.36), vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données vous concernant, en ligne sur ce bulletin.



© Marc Chaussidon-CRPG Nancy

*Photo au microscope électronique à balayage d'un grain métallique du régolithe lunaire extrait de l'échantillon 79035 (Apollo 17).*

*Ces grains ont une taille de l'ordre de 30 micromètres. Sur Terre, les grains métalliques produits lors de la cristallisation des basaltes sont pauvres en nickel; ils sont composés de fer presque pur. Sur la Lune les grains métalliques proviennent du bombardement météoritique et sont plus riches en nickel comme les inclusions de fer retrouvées dans les météorites collectées sur Terre. Tous ces grains ont à leur surface des micro-cratères (taille de l'ordre du micromètre) prouvant qu'ils ont bien été exposés à la surface de la Lune. Leur analyse par sonde ionique montrent qu'en profondeur (vers 500 nanomètres ou plus profondément) ils contiennent un composant solaire implanté, riche en  $^{16}\text{O}$ .*

E-Space&Science vous informe des résultats des expériences scientifiques soutenues par le CNES

Directeur de la publication: **Yannick d'Escatha** ■ Directeur de la rédaction: **Arnaud Benedetti** ■ Rédacteur en chef : **Michel Viso** ■ Secrétaire de rédaction : **Myriana Lozach** ■ Diffusion du magazine: **INIST diffusion** ■

### Abonnement

Vous voulez vous abonner à la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Française](#)

Vous voulez vous abonner à la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Anglaise](#)

### Désabonnement

Vous voulez vous désabonner de la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Française](#)

Vous voulez vous désabonner de la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Anglaise](#)