

La composition chimique des astres (première partie)

Exposé de Nicolas Grevesse - Transinne - 27 avril 1996

On entend souvent que “peu importe la difficulté de la matière, c'est la qualité pédagogique de l'enseignant qui compte”. Nous avons eu l'occasion de vérifier, une fois de plus, cette évidence élémentaire le 27 avril dernier au cours du stage de Transinne avec Monsieur Nicolas Grevesse. Voilà un chercheur (de l'Université de Liège) qui nous a parlé pendant plus de trois heures, à l'issue desquelles nous ressentions tous une certaine frustration: “Oh ! C'est déjà fini?”

Car, comme feu d'artifice, on ne fait pas mieux. M. Grevesse, éblouissant dans l'espace et pressé dans le temps, a voulu tout nous dire en faisant défiler une moitié de ses transparents à une vitesse quasi relativiste et en nous en privant de l'autre. Ah, le temps, toujours le temps! Bref, on devrait vraiment reprendre, plus à l'aise, les différents chapitres abordés au cours de cette synthèse (nucléaire!) passionnante. C'est en tout cas la conclusion qui émergeait des commentaires recueillis parmi les “disciples”, au cours de l'apéritif qui suivit la prestation. C'est le cas de le dire, M. Grevesse nous avait mis le porto à la bouche...

J'ai tenté de prendre quelques notes. Comment vous raconter cela? Il eut été sans doute plus commode de recopier le cours, au risque d'être long, ennuyeux et d'écrire des bêtises. Essayons donc plutôt l'exercice du résumé.

Le spectre solaire

Observer le ciel, comprendre de quoi sont faites les étoiles, les galaxies... seule la lumière permet de le faire. Il y a bien, maintenant, l'étude des oscillations d'étoiles, l'étude du vent solaire, mais la lumière — par l'analyse de sa décomposition (son spectre) — reste toujours le principal fournisseur d'informations en provenance d'un astre pour l'astrophysicien. C'est elle qui lui permettra de déterminer sa température, sa densité, sa pression interne, ses abondances chimiques ...

La source de lumière la plus importante, pour nous, Terriens, est bien entendu, “notre” étoile, le Soleil. Pour être plus précis, disons plutôt la couche externe du Soleil, la photosphère, qui ne dépasse pas 700 km d'épaisseur, soit à peine 1/1000 de son rayon.

Depuis que Newton a mis le spectre solaire en évidence, celui-ci a été observé, étudié, scruté. C'est en 1802 que William Wollaston remarqua des raies sombres dans le spectre. On peut considérer cette date comme le dé but de la spectroscopie.

En 1859, Gustave Kirchhoff et Robert Bunsen découvrent le principe de la raie d'absorption : le continuum de la lumière est brisé par la présence d'éléments chimiques. Ces éléments et les longueurs d'onde qui les caractérisent seront identifiés en 1896 par Henry Rowland, ce qui permettra à Henry Russell, en 1929, d'affirmer que le Soleil est essentiellement constitué d'hydrogène et de 10% d'hélium (en nombre d'atomes).

Mais Russell révèle également les traces de 56 autres éléments chimiques dans le Soleil... Ce fut un choc et un tournant pour l'astronomie!

La connaissance des abondances solaires sera extrêmement importante pour l'astrophysique. Cette connaissance va, notamment, permettre l'élaboration d'un modèle d'étoile qui donnera accès à l'étude de l'atmosphère stellaire et de ses couches intérieures, la formation, l'âge, la “ métallicité ” et l'évolution finale de l'étoile. Autrement dit, le modèle solaire sera à la base de la théorie de la nucléosynthèse.

Les éléments du système et leur répartition

Et d'abord que découvre-t-on dans cette fameuse photosphère, à 5770 K? “Tout”, répond Nicolas Grevesse: les atomes des éléments chimiques en question, ionisés ou non, selon “le degré d'attachement” des électrons à leur noyau, à cette température. On y trouve également,

mais en traces infimes, des molécules H₂, CN, OH, CH, NH et bien sûr une molécule simple CO de spectre très caractéristique.

Le modèle solaire est conforté par l'étude des météorites, ces blocs de matière originelle qui circulent dans le Système solaire. Il existe plusieurs types de météorites, mais les chondrites carbonées sont les plus intéressantes, ayant le moins souffert du réchauffement lors de la formation du Système solaire.

A ce jour, on peut dire que la différence (apparente) entre la photosphère et les météorites est nulle. Il y a un accord absolu : le Soleil et les météorites font partie d'un même ensemble chimique et ont la même histoire.

Quant à la répartition des différents éléments entre eux, certains principes ont été mis en évidence:

- Les noyaux les plus stables sont constitués par un multiple entier de noyaux d'hélium (particule α comportant 4 nucléons) : ¹²C, ¹⁶O, ²⁰Ne, ²⁴Mg, ²⁸Si et autres noyaux de nombre de masse multiple de 4. Ces atomes sont les plus "abondants", en se rappelant que l'emploi de cet adjectif est très relatif, l'ensemble de tous les éléments chimiques ne représentant pas plus de 1 % environ de la matière présente dans l'Univers, si on exclut l'hydrogène et l'hélium (qui en composent les 99 %).
- L'abondance entre ces éléments 12, 16, 20... subit une décroissance exponentielle, à chaque ajout d'une particule α
- Les noyaux à nombre pair de nucléons (protons, neutrons) sont plus abondants que ceux à nombre impair.
- Le fer (⁵⁶Fe) est présent partout, pour une raison de physique nucléaire : il n'y a plus de gain d'énergie lors de la synthèse par fusion d'atomes plus lourds. C'est le résultat de l'ultime fusion 'rentable' énergétiquement. C'est le "pic du fer" (voir plus loin). Le fer est un bon indicateur de la métallicité et par-là un bon moyen pour déterminer la "génération" de l'étoile (de population I,II, ...).

Louis Willems

Article paru dans « l'escargot », la revue de l'asbl en avril 1996 (Escargot 96/2).