

ASTRONOMIE - ET L'UNIVERS DANS TOUT ÇA !?

La création des atomes dans l'univers

Texte : **J.-L. Ricci**

Les atomes sont les plus petites particules de la matière et sont la base indispensable à toutes les molécules, les cellules, les matériaux, les végétaux et les organismes de tout ce qui nous entoure et nous constitue.

Il y en a une centaine de connus qui sont classés par ordre croissant de masse atomique dans le tableau périodique des éléments, dont l'idée et la première version a été publiée par le chimiste russe Dimitri Ivanovitch Mendeleïev en 1869 :

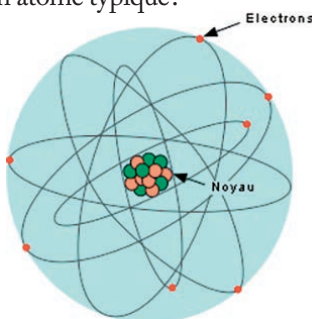
ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ.

ОСНОВАННОЙ НА ВЕЩ АТОМНОМ ВЕСЕ И ХИМИЧЕСКОМ СЛОЖЕНОСТИ.

		Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,
		Fe = 56	Rn = 104,4	Ir = 198.
		Ni = Co = 59	Pt = 106,4	O = 199.
		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.
		Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,4
				Cd = 112
		B = 11	Al = 27,1	? = 68
				U = 116
		C = 12	Si = 28	? = 70
				Sn = 118
		N = 14	P = 31	As = 75
				Sb = 122
		O = 16	S = 32	Se = 79,4
				Te = 128?
		F = 19	Cl = 35,5	Br = 80
				I = 127
		Li = 7	Na = 23	K = 39
				Rb = 85,4
				Cs = 133
				Tl = 204.
				Ba = 137
				Pb = 207.
				? = 45
				Ce = 92
				?Er = 56
				La = 94
				?Yt = 60
				Di = 95
				?Th = 75,4
				Th = 118?

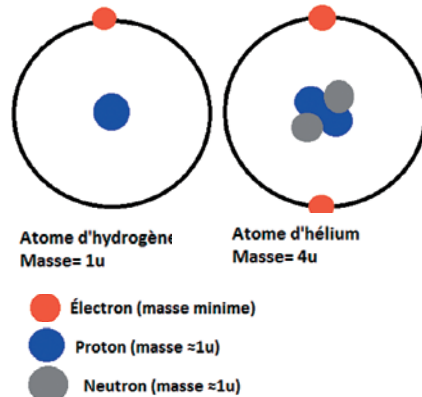
La masse atomique fait état du nombre de protons et de neutrons du noyau de l'atome considéré. Le noyau concentre pratiquement toute la masse ainsi que la charge électrique positive de ses protons. Autour du noyau gravitent les électrons qui ont une très faible masse et sont de charge électrique négative. Le diamètre extérieur des orbites électroniques est 40'000 fois plus grand que le diamètre du noyau. Si un noyau atomique faisait 1 mm de diamètre, son électron le plus éloigné graviterait autour à 20 m de distance. En clair cela signifie que la matière qui nous paraît si dense est paradoxalement constituée d'atomes pratiquement vides.

Voici, pour fixer les idées, un schéma d'un atome typique :



Mais la question du jour est: d'où viennent les atomes?

Il nous faut remonter au Big Bang pour en commencer l'histoire. Il y a 13,7 milliards d'années, l'espace, le temps et la matière n'existaient pas. L'univers n'était alors que concentration extrême d'énergie à une température estimée à 10^{75} degrés (10 suivi de 75 zéros). En 1 seconde seulement, la température de l'univers baisse à 10'000 milliards de degrés (10^{12}) et les particules élémentaires qu'il a déjà créées en puisant dans son énergie, peuvent s'amalgamer en protons, neutrons et électrons. Au bout de 380'000 ans, la température descend à 1000 degrés et l'univers subit une gigantesque dilatation par création des premiers noyaux atomiques et mise en orbite de leurs électrons. Ainsi naît la matière première de l'univers constituée de $\frac{3}{4}$ d'hydrogène et $\frac{1}{4}$ d'hélium. Ce sont les atomes les plus simples et les plus légers possibles : l'atome d'hydrogène comporte 1 proton et 1 électron et celui d'hélium, un noyau de 2 protons et 2 neutrons autour duquel gravitent 2 électrons. En voici les schémas :



Pour le moment, le gigantesque Univers n'a accouché que de deux petites souris... en très très grande quantité.

Comment l'Univers a-t-il évolué par la suite pour arriver à créer toute la panoplie des atomes du tableau périodique des éléments?

C'est l'entrée en scène des étoiles primordiales qui va tout changer:

400 millions d'années après le Big Bang, la gigantesque soupe atomique d'hydrogène et d'hélium est devenue grumeleuse (à très grande échelle), plus concentrée par endroits. La force d'attraction gravitationnelle commence à faire effet: les endroits plus concentrés deviennent plus massifs et attirent les atomes environnants. La concentration

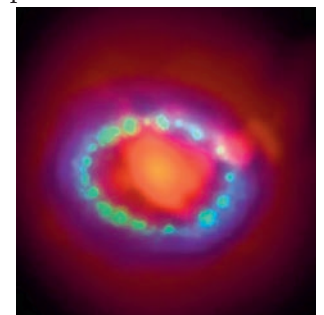
et l'attraction augmentent, créant en quelques millions d'années autant de zones bien concentrées qui atteignent plusieurs dizaines, voire une centaine de fois la masse du Soleil. À un moment donné, le nuage moléculaire s'effondre sur lui-même sous l'effet de la gravité. La compression qui en résulte provoque un échauffement du cœur d'une quinzaine de millions de degrés qui déclenche la fusion thermonucléaire de l'hydrogène en hélium. L'étoile s'allume et trouve son équilibre sphérique lorsque la surpression radiative due à la chaleur dégagée par la fusion de son cœur contrecarre la force de gravité.

Ces étoiles primordiales sont tellement massives que leur fusion très intense abrège leur durée de vie à seulement quelques millions d'années. Quand elles arrivent au bout de la fusion de leur hydrogène disponible, elles s'effondrent violemment sous l'effet de la gravité. Dès que la température atteint une centaine de millions de degrés, la fusion thermonucléaire de l'hélium commence. Il va se combiner 3 atomes par 3 atomes, générant ainsi le carbone. Une fois la réserve d'hélium disponible épuisée, le cœur de carbone va encore une fois s'effondrer. Quand la température atteint les 600 millions de degrés, les atomes de carbone peuvent se combiner à ceux d'hélium pour générer l'oxygène. Le phénomène d'effondrement, augmentation de température et combinaison thermonucléaire va générer successivement le néon, l'azote, le sodium, le magnésium, le silicium, le soufre, le calcium, puis les atomes de masse atomique toujours plus grande jusqu'à la combinaison du cobalt qui génère le fer. Alors que les combinaisons précédentes dégageaient énormément d'énergie permettant au cœur de l'étoile de compenser la compression gravitationnelle, la production du fer, elle, absorbe énormément d'énergie éteignant soudainement l'étoile.

Mais ce n'est pas fini... le cœur de fer va subir la gravitation, incapable cette fois de lui opposer un quelconque dégagement d'énergie. Il va s'effondrer brutalement en nucléosynthèse explosive. Une gigantesque onde de choc va impacter toutes les couches de l'étoile. C'est dans cette phase explosive que les niveaux d'énergie extrêmes atteints arrivent à synthétiser les atomes lourds tels que l'argent, l'or, le mercure, le

plomb, et pour finir l'uranium. Une supernova est née.

Un exemple relativement récent nous a été fourni par l'étoile « Sanduleak », une super géante bleue dans le Grand Nuage de Magellan, massive comme une vingtaine de fois le Soleil et de 16000 degrés de température de surface. Son explosion en supernova le 23 février 1987 a pu être observée et étudiée en direct avec les meilleurs télescopes et équipements disponibles. En voici une image composite de 2017 de la NASA – l'agence spatiale américaine – et de l'ESA l'agence spatiale européenne :



Toute cette machinerie infernale de fabrique de la panoplie des atomes dans les supernovæ, ne transforme pourtant que quelques pour cent de la masse totale en atomes divers, le reste continuant d'être composé de $\frac{3}{4}$ d'hydrogène et d' $\frac{1}{4}$ d'hélium.

Ce qui est génial dans cette histoire, c'est que l'explosion va également les disséminer dans les nuages moléculaires des alentours qui, à leur tour, vont donner naissance à des étoiles de 2ème puis 3ème génération. Cela n'a l'air de rien mais la présence de ces petits pourcentages d'atomes variés va permettre, lors de la création de ces nouvelles étoiles, de générer un cortège de planètes différenciées dans lesquelles ces atomes vont se concentrer, alors que presque toute la masse du nuage moléculaire d'hydrogène et d'hélium va générer l'étoile proprement dite.

Encore une prouesse de l'Univers: les étoiles de 2^e, 3^e génération et plus, de dimension modeste, telles que notre Soleil, vont ronronner pendant des milliards d'années. Temps qui va devenir suffisant pour que les molécules de leurs planètes puissent s'assembler en cellules, matériaux et organismes toujours plus complexes...

C'est cela qui a fait dire à l'un des astrophysiciens les plus célèbres, Hubert Reeves: « nous sommes des poussières d'étoiles »...

