

La matière : atomique, naturellement !

Jacques PEULVÉ

1. INTRODUCTION

A l'origine du monde les **quarks** :

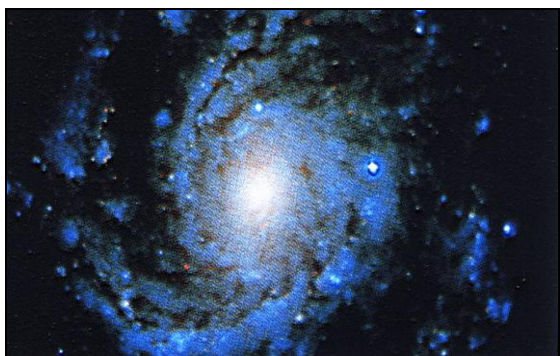
- ➔ forment les **neutrons** ($\sim 10^{-15}$ m) et les **protons** (charge électrique unitaire positive +) qui s'agglutinent en **noyaux** ($\sim 10^{-14}$ m),
- ➔ ceux-ci s'entourent d'**électrons** (charge électrique unitaire négative -) pour constituer les **atomes** ($\sim 10^{-10}$ m),
 - ➔ qui en se réunissant créent les **molécules**, donnant naissance à la **matière** :
 - à l'**état** solide, liquide ou gazeux,
 - sous sa forme **minérale** elle constitue la terre,
 - sous sa forme **organique** elle crée la **VIE**, végétale, animale et enfin l'**HOMME**.

Tout dans l'univers est nucléaire et atomique

2. NOYAU

La matière, telle qu'elle est connue de nos jours, prend sa source à l'origine de l'univers. Que ce soit lors du "big bang" ou par la volonté d'un Dieu, l'univers débute par un nuage de **plasma**, c'est-à-dire un nuage d'infimes **particules** : les **quarks** vaporisés à plusieurs millions de degrés.

Ce nuage commence son expansion il y a 15 milliards d'années (qui se poursuit encore actuellement) et se fragmente en des myriades de nuages plus ou moins grands et qui s'éloignent plus ou moins vite les uns des autres.



Les plus petits et les plus éloignés se refroidissent le plus vite. Les infimes particules se condensent pour former les **nucléons** (du latin "nucleus") : les **protons**, (du grec "le premier"), ayant une charge électrique unitaire **positive**, les **neutrons** sans charge électrique, ainsi que les **électrons** ayant une charge électrique unitaire **négative** et de **masse** près de 2.000 fois plus faible.

Une galaxie.

Source : CEA.

En continuant leur refroidissement les nucléons entrent en collision, poussés par la **force nucléaire** ils s'agglutinent pour former le **noyau** des éléments les plus légers (hélium, hydrogène, etc.). La dimension des nucléons est de l'ordre de 10^{-12} cm (0,0...suivi de 11 zéros et le chiffre 1, en centimètre).

Sous les forces de l'attraction électrique, les électrons sont attirés par les noyaux ainsi constitués (protons positifs attirent électrons négatifs). Mais, dans le même temps, les électrons se repoussent les uns les autres (même charge électrique négative), le tout sous l'influence des forces de la **gravitation**.

La combinaison de ces forces les fait tourner autour des noyaux à très grande vitesse, créant ainsi les **atomes**.

Un électron effectue 7 000 000 000 000 000 de révolutions par seconde autour de l'atome (7 millions de milliards).

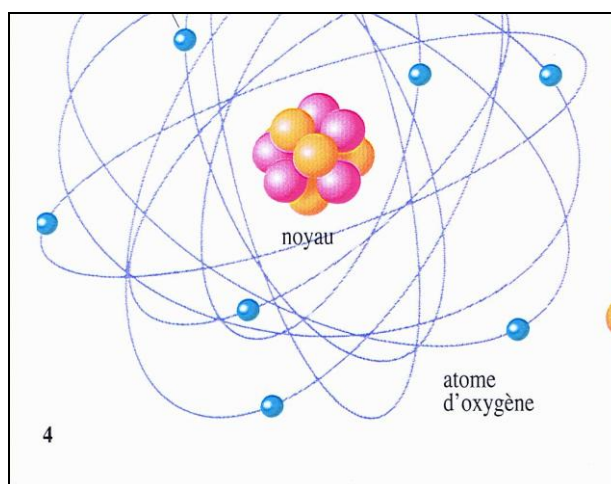
3. LES DÉCOUVERTES

La masse de l'atome est essentiellement constituée par le nombre de nucléons (protons plus neutrons, car nous avons vu que les électrons sont environ 2 000 fois plus légers).

L'atome mesure de l'ordre de 10^{-8} cm, il est essentiellement constitué de vide, si on le grossissait pour lui donner un diamètre de 100 mètres, le noyau ne mesurerait qu'un millimètre.

Les températures et les forces qui règnent dans les nuages du cosmos sont encore telles que les atomes les plus petits s'agglutinent à leur tour pour former des éléments plus lourds. C'est la **fusion** qui va créer, en plusieurs étapes, la totalité des atomes présents dans la nature.

Les plus gros nuages se refroidissent beaucoup moins vite. Ils sont encore aujourd'hui sous forme de plasma et constituent les **étoiles**, dont le **soleil**.

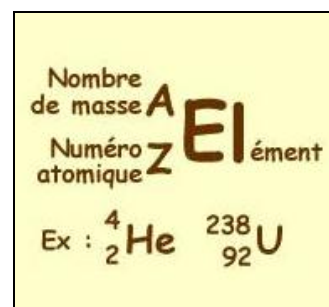


Tous les atomes dont les noyaux ont le même nombre de protons forment un **élément chimique**, car ayant le même nombre de protons, ils ont le même nombre d'électrons, donc les mêmes propriétés chimiques.

C'est par l'intuition des philosophes de la Grèce ancienne que le concept d'atome a été imaginé : Démocrite, Leucippe puis Epicure et propagé par Lucrèce au 1^{er} siècle avant J. - C. Il a fallu attendre le XIX^e siècle pour que s'imposent les notions d'atomes et de molécules selon une théorie basée sur plusieurs lois expérimentales : Dalton, Lavoisier, Gay-Lussac, etc.

Pour identifier les atomes, les physiciens ont adopté la convention suivante :

- une ou deux lettres par exemple : H pour l'hydrogène ou C pour le carbone, He pour l'hélium ou Pb pour le plomb, etc.
- Z : le numéro atomique qui correspond au nombre de protons donc d'électrons, ${}_1\text{H}$ à ${}_{92}\text{U}$ qui caractérise l'élément chimique, c'est-à-dire son comportement vis-à-vis des autres atomes,
- N : le nombre de neutrons.
- A : le nombre de masse : somme des protons et des neutrons, du plus léger, l'hydrogène ${}^1\text{H}$ au plus lourd dans la nature ${}^{238}\text{U}$ (souvent noté U238 pour des raisons de facilité typographique), avec la relation : $A = Z + N$ qui caractérise chacun des nucléides.



4. ISOTOPES

Lorsqu'ils ont des nombres de neutrons différents, on appelle ces atomes des "isotopes".

On désigne chaque isotope d'un élément donné par le nombre total de ses nucléons : protons plus neutrons. Par exemple, l'uranium 238 et l'uranium 235 ont tous deux 92 électrons et 92 protons, mais :

- ➔ le premier isotope a 146 neutrons ($238 - 92 = 146$)
- ➔ tandis que le second isotope en possède 143 ($235 - 92 = 143$)

L'hydrogène H possède trois isotopes :

| | | |
|--------------------------|---|---------------------------------------|
| Hydrogène ¹ H | Hydrogène ² H (deutérium) | Hydrogène ³ H (tritium) |
| 1 électron 1 proton | 1 électron 1 proton 1 neutron | 1 électron 1 proton 2 neutrons |

Le chimiste russe Dimitri I. Mendeleïev établit un classement des éléments en fonction d'une périodicité dépendant de leurs propriétés chimiques.

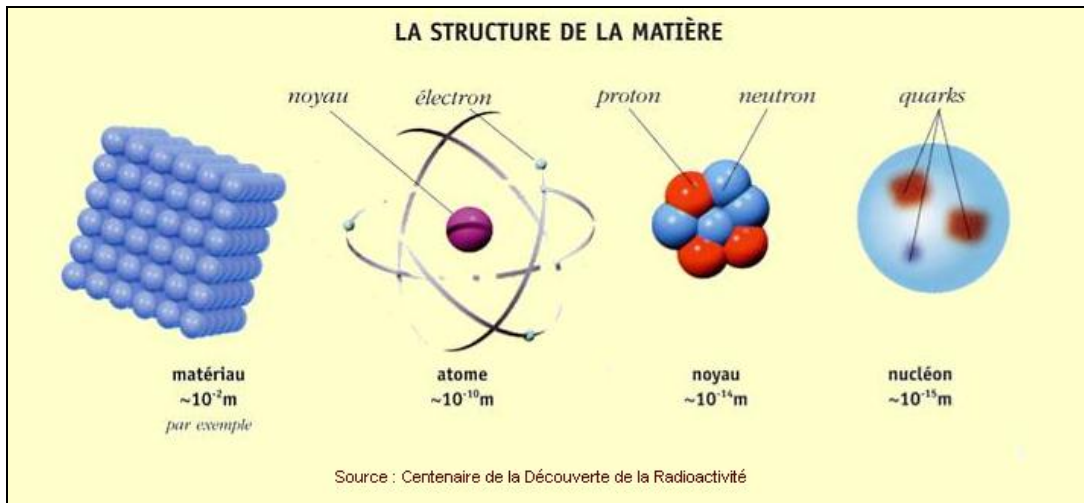
26 — NUMÉRO ATOMIQUE
Fe — SYMBOLE
Fe — NOM
56 — MASSE ATOMIQUE (ISOTOPE LE PLUS ABONDANT)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 H Hydrogène 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He Hélium 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 Li Lithium 7 | 4 Be Béryllium 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 B Bore 11 | 6 C Carbone 12 | 7 N Azote 14 | 8 O Oxygène 16 | 9 F Fluor 19 | 10 Ne Néon 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 Na Sodium 23 | 12 Mg Magnésium 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | 13 Al Aluminium 27 | 14 Si Silicium 28 | 15 P Phosphore 31 | 16 S Soufre 32 | 17 Cl Chlore 35 | 18 Ar Argon 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 K Potassium 39 | 20 Ca Calcium 40 | 21 Sc Scandium 45 | 22 Ti Titane 48 | 23 V Vanadium 51 | 24 Cr Chrome 52 | 25 Mn Manganèse 55 | 26 Fe Fer 56 | 27 Co Cobalt 59 | 28 Ni Nickel 58 | 29 Cu Cuivre 63 | 30 Zn Zinc 64 | 31 Ga Gallium 69 | 32 Ge Germanium 74 | 33 As Arsenic 75 | 34 Se Sélénium 79 | 35 Br Brome 80 | 36 Kr Krypton 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 Rb Rubidium 85 | 38 Sr Strontium 88 | 39 Y Yttrium 89 | 40 Zr Zirconium 90 | 41 Nb Niobium 93 | 42 Mo Molybdène 98 | 43 Tc Technétium 99 | 44 Ru Ruthénium 102 | 45 Rh Rhodium 103 | 46 Pd Palladium 106 | 47 Ag Argent 107 | 48 Cd Cadmium 114 | 49 In Indium 115 | 50 Sn Étain 120 | 51 Sb Antimoine 121 | 52 Te Tellure 130 | 53 I Iode 127 | 54 Xe Xénon 132 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55 Cs Césium 133 | 56 Ba Baryum 138 | 57 La Lanthane 139 | 58 Ce Cérium 140 | 59 Pr Praséodyme 141 | 60 Nd Néodyme 142 | 61 Pm Prométhium 145 | 62 Sm Samarium 152 | 63 Eu Europium 153 | 64 Gd Gadolinium 158 | 65 Tb Terbium 159 | 66 Dy Dysprosium 164 | 67 Ho Holmium 165 | 68 Er Erbium 166 | 69 Tm Thulium 169 | 70 Yb Ytterbium 174 | 71 Lu Lutétiun 175 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 87 Fr Francium 223 | 88 Ra Radium 226 | 89 Ac Actinium 227 | 261 | 262 | 263 | 262 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>58 Ce Cérium 140</td> <td>59 Pr Praséodyme 141</td> <td>60 Nd Néodyme 142</td> <td>61 Pm Prométhium 145</td> <td>62 Sm Samarium 152</td> <td>63 Eu Europium 153</td> <td>64 Gd Gadolinium 158</td> <td>65 Tb Terbium 159</td> <td>66 Dy Dysprosium 164</td> <td>67 Ho Holmium 165</td> <td>68 Er Erbium 166</td> <td>69 Tm Thulium 169</td> <td>70 Yb Ytterbium 174</td> <td>71 Lu Lutétiun 175</td> </tr> <tr> <td>90 Th Thorium 232</td> <td>91 Pa Protactinium 231</td> <td>92 U Uranium 238</td> <td>93 Np Neptunium 237</td> <td>94 Pu Plutonium 242</td> <td>95 Am Américium 243</td> <td>96 Cm Curium 247</td> <td>97 Bk Berkélium 249</td> <td>98 Cf Californium 251</td> <td>99 Es Einsteinium 254</td> <td>100 Fm Fermium 253</td> <td>101 Md Mendélévium 256</td> <td>102 No Nobélium 254</td> <td>103 Lr Lawrencium 257</td> </tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | 58 Ce Cérium 140 | 59 Pr Praséodyme 141 | 60 Nd Néodyme 142 | 61 Pm Prométhium 145 | 62 Sm Samarium 152 | 63 Eu Europium 153 | 64 Gd Gadolinium 158 | 65 Tb Terbium 159 | 66 Dy Dysprosium 164 | 67 Ho Holmium 165 | 68 Er Erbium 166 | 69 Tm Thulium 169 | 70 Yb Ytterbium 174 | 71 Lu Lutétiun 175 | 90 Th Thorium 232 | 91 Pa Protactinium 231 | 92 U Uranium 238 | 93 Np Neptunium 237 | 94 Pu Plutonium 242 | 95 Am Américium 243 | 96 Cm Curium 247 | 97 Bk Berkélium 249 | 98 Cf Californium 251 | 99 Es Einsteinium 254 | 100 Fm Fermium 253 | 101 Md Mendélévium 256 | 102 No Nobélium 254 | 103 Lr Lawrencium 257 |
| 58 Ce Cérium 140 | 59 Pr Praséodyme 141 | 60 Nd Néodyme 142 | 61 Pm Prométhium 145 | 62 Sm Samarium 152 | 63 Eu Europium 153 | 64 Gd Gadolinium 158 | 65 Tb Terbium 159 | 66 Dy Dysprosium 164 | 67 Ho Holmium 165 | 68 Er Erbium 166 | 69 Tm Thulium 169 | 70 Yb Ytterbium 174 | 71 Lu Lutétiun 175 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 Th Thorium 232 | 91 Pa Protactinium 231 | 92 U Uranium 238 | 93 Np Neptunium 237 | 94 Pu Plutonium 242 | 95 Am Américium 243 | 96 Cm Curium 247 | 97 Bk Berkélium 249 | 98 Cf Californium 251 | 99 Es Einsteinium 254 | 100 Fm Fermium 253 | 101 Md Mendélévium 256 | 102 No Nobélium 254 | 103 Lr Lawrencium 257 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5. MOLÉCULE

Par nature, les atomes sont électriquement neutres. Cependant, à la périphérie du nuage d'électrons de la plupart des atomes il reste quelques forces disponibles qui conduisent des électrons des couches les plus externes à "cohabiter" avec leurs semblables d'autres atomes.

Deux ou plusieurs atomes en se rapprochant ainsi les uns des autres vont former des **molécules**, constituant, dans une infinité de combinaisons tous les corps de la matière.



Notre système stellaire continue de se refroidir, la "rave party" se termine ! Les atomes se stabilisent chacun dans sa molécule en réduisant considérablement les échanges. Le **plasma** original cède la place à un matériau pâteux en fusion : le **magma**. Au centre de la boule la température, autour de quelques milliers de degrés de nos jours, continue de décroître.

6. LA MATIÈRE DANS TOUS SES ÉTATS

C'est au cours de ce refroidissement qu'apparaissent les corps qui vont constituer toute la structure du globe terrestre. Ce sont encore les grecs qui fondèrent la classification des états de la matière dans laquelle ils identifiaient les états solide, liquide et gazeux ainsi que certaines de leurs propriétés. Mais c'est au cours du XIX^e siècle que les études approfondies débutent sur l'état gazeux, car le plus simple. Il devient le fondement de la science thermodynamique qui décrit les échanges énergétiques au sein de la matière.



Pour un corps pur, le passage d'un état à l'autre se produit pour une température et une pression donnée. Seul le gaz est compressible.

On dit pour les liquides et les solides qu'il s'agit des états de la matière condensée.

La notion d'ordre est le fil conducteur de l'exploration de la matière qui s'ensuit. Certains états ne présentent pas d'organisation régulière au-delà de l'échelle microscopique, se sont les fluides (gaz et liquides) ainsi que les solides appelés amorphes (ou solides désordonnés).

La plupart des corps purs adoptent un état cristallin à basse température. Les atomes sont disposés dans le cristal en un motif qui est répété périodiquement. Cette disposition, parfaitement régulière, détermine des propriétés électroniques, optiques et mécaniques bien particulières. Les théories sur la Physique des Solides, dès le début des années 1930, ont permis d'étudier et de prévoir les propriétés des corps cristallins.

De nombreuses applications en électronique, notamment, sont issues de ces travaux. Une nouvelle page de notre histoire est tournée lors de la publication du principe du transistor à pointes par John Bardeen et Walter H. Brattan en 1948 (Prix Nobel de Physique en 1956).

7. MINÉRALE, LA PLANÈTE BLEUE

Mais revenons quelques milliards d'années plus tôt. En prenant forme, le **globe terrestre** voit apparaître différents phénomènes qui vont être fondamentaux pour la suite :

- le refroidissement crée la **croûte terrestre** constituée de roches solides,
- entre ces **roches** l'eau couvre environ 71 % de la surface,

- les gaz libérés constituent une **atmosphère** qui va servir de réflecteur à une grande partie des **rayonnements solaires** et **cosmiques** en maintenant ainsi une température et une **radioactivité** modérées, c'est l'air qui donne à la terre, vue du cosmos, cet aspect bleuté,
- **l'attraction terrestre** (gravitation) va maintenir la cohésion des matériaux sur la croûte terrestre,
- un **champ magnétique** s'établit entre les pôles,
- la radioactivité des matériaux entretient la chaleur au centre du globe.



Mais tout cela ne se passe pas très bien, que de cataclysmes : chutes d'astéroïdes, gigantesques séismes, périodes glaciaires, d'inondations ou désertiques. Tous les éléments s'affrontent ou se confondent pour modeler le paysage de notre planète.

Tous ces phénomènes modifient profondément les éléments de la croûte terrestres : broyage, dissolution, dispersion (par le vent, et l'eau), sédimentation, agglomération, etc. Cependant, malgré tous ces chambardements, une bande de joyeux drilles continue à faire la fête : l'hydrogène en tête entraîne l'azote 14 qui aime beaucoup se déguiser en carbone 14 puis 12 pour jouer au jeu de la chaise musicale avec l'oxygène 15, à la grande surprise du potassium 39 et du soufre 32, etc. Que ceux que nous n'avons pas cités ne nous en veuillent pas !

Un beau jour, il y a 3,5 milliards d'années, lassé de faire la fête, l'un d'eux a lancé : "et si l'on donnait un sens à notre **vie** ?"..... Voilà ! Le gros mot était lâché, ils vont se mêler de tout, après cela plus rien ne sera comme avant.

8. ORGANIQUE LA VIE

Créée par un Dieu, projetée de l'espace inter-stellaire ou bien apparaissant spontanément dans une mer, toujours est-il que voilà la première **bactérie unicellulaire** sur terre. Aussitôt, notre bande de joyeux lurons se met à multiplier les doubles hélices d'acide désoxyribonucléique (**ADN**) pour aider la bactérie à se multiplier.

Avec l'apport constant des substances organiques (hydrogène, carbone et oxygène essentiellement) la bactérie va grossir, s'étirer et se scinder, donnant naissance à deux bactéries qui vont s'étirer, se scinder, et donner naissance à quatre bactéries ...et ainsi de suite. C'est la plus extraordinaire réaction en chaîne que l'on connaisse. Elle se poursuit encore !

Mais la nature est pleine d'imprévus, elle rajoute par-ci par-là un tour d'hélice à l'ADN et les codes génétiques sont changés. On passe de l'algue à la plante aquatique, puis à la plante terrestre, et enfin, du monde végétal au monde animal. La matière est ramenée au rang de matériaux de construction.